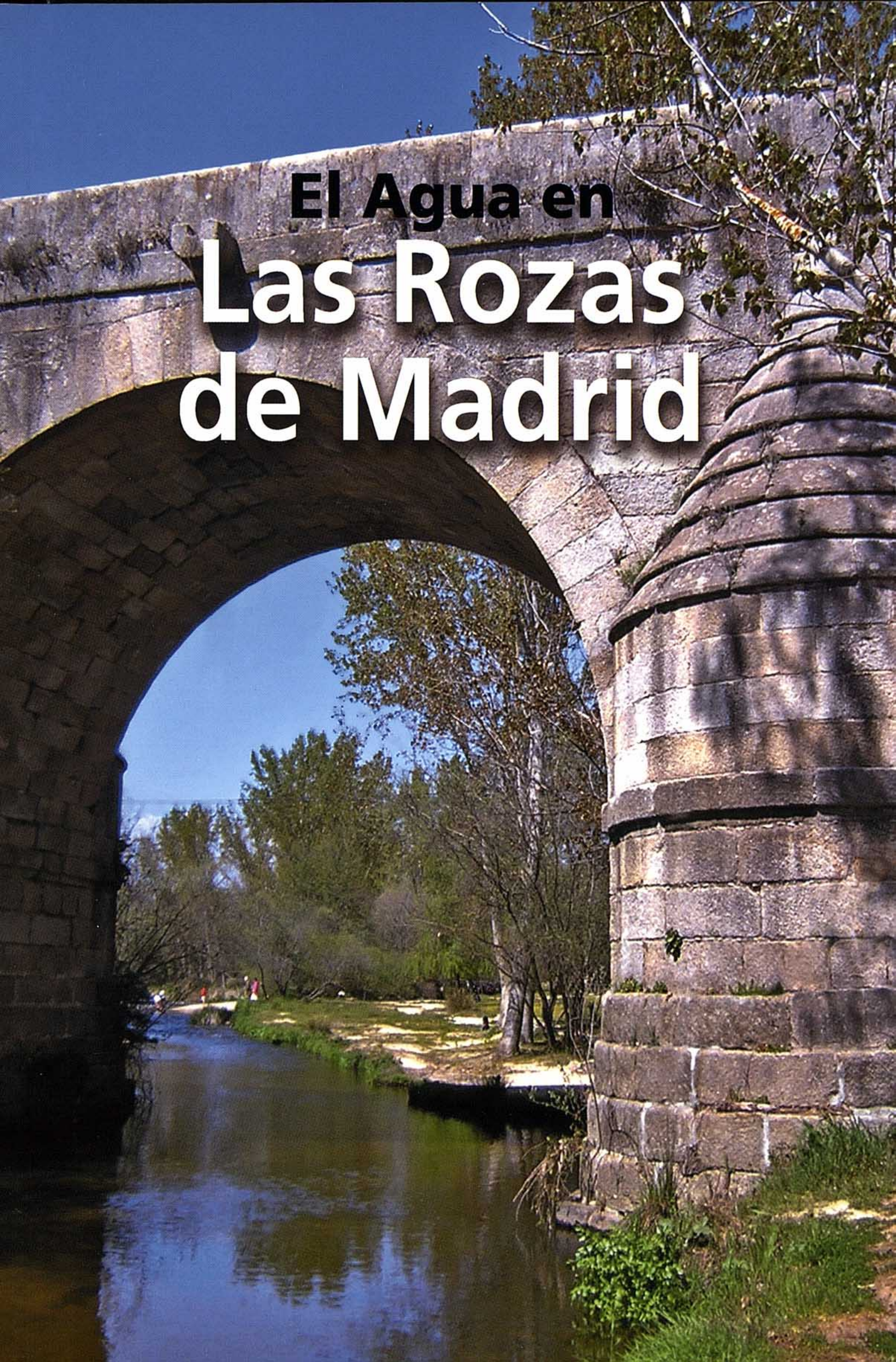


El Agua en Las Rozas de Madrid

El Agua en Las Rozas de Madrid

EL AGUA EN LAS ROZAS DE MADRID

Autores:
Jose Manuel Martín Fernández. E-mail: jmanuel.martin@ccma.csic.es
Miriam Moreno Pérez. E-mail: mirmorper@orange.es
Santos Cirujano Bracamonte. E-mail: santos@rjb.csic.es
Miguel Álvarez Cobelas. E-mail: malvarez@ccma.csic.es

Editores:
Santos Cirujano Bracamonte & Miguel Álvarez Cobelas

Fotografías:
Miriam Moreno Pérez, Jose Manuel Martín Fernández, Santos Cirujano Bracamonte (salvo que se indique lo contrario en el pie)

Mapas:
Miriam Moreno Pérez

Ilustraciones:
Jose Manuel Martín Fernández

Portada:
Marta Chirino

Diseño e Infografía
Carlos González-Amezúa

Imprime:
Masgraf

Depósito legal: M-19587-2010
ISBN: 978-84-693-0357-3

© 2010 Excmo. Ayuntamiento de Las Rozas de Madrid

El Agua en Las Rozas de Madrid

Jose Manuel Martín Fernández
Miriam Moreno Pérez
Santos Cirujano Bracamonte
Miguel Álvarez Cobelas

Ayuntamiento de
Las Rozas

CSIC
Real Jardín Botánico de Madrid
Instituto de Recursos Naturales

ÍNDICE

PRÓLOGO 8
AGRADECIMIENTOS 10
INTRODUCCIÓN 11

EL AGUA EN LAS ROZAS. UN POCO DE HISTORIA 15
El Molino de la Hoz, la Gavia, el puente del Retamar y el Marqués de la Ensenada 16
El Canal de Guadarrama 20
El pozo de San Roque, el de las Nieves y la fuente del Caño 24
Lavaderos, fuentes y traída de aguas 28
Posguerra, urbanizaciones y piscinas 33
El Canal de Isabel II 37

EL CICLO HIDROLÓGICO 43
Fases del ciclo hidrológico 44
El paisaje del agua en la Comunidad de Madrid 49
El ciclo hidrológico en Las Rozas 51
Red hidrográfica y aguas subterráneas de Las Rozas 61
Los ríos y arroyos de Las Rozas 63
Las aguas subterráneas de Las Rozas 65

CICLO INTEGRAL DEL AGUA 73
Abastecimiento: Historia y orígenes 74
El abastecimiento en el siglo XXI 82
Captación 84
Aguas superficiales. Presas y embalses 85
Aguas subterráneas 89
Aducción 92
Tratamiento. Estaciones de tratamiento de agua potable (E.T.A.P.) 94
Almacenamiento 96
Distribución 97
Saneamiento 97

Aguas residuales 97
Aguas residuales urbanas 98
Aguas residuales industriales.....104
Red de alcantarillado 106
Tratamiento de aguas residuales 110
La depuración en la Comunidad de Madrid 128
Reutilización de aguas depuradas 129
El precio del agua 135
Ciclo Integral del Agua en Las Rozas.....138
Red de aducción 138
Red de saneamiento.....139
Líneas principales de colectores 139
Depuradoras de Las Rozas 142
Aliviaderos existentes 142
El consumo de agua en Las Rozas 147
Vivienda y consumo de agua 147
El desarrollo urbanístico en Las Rozas 148
Tipología de la vivienda en Las Rozas 151
Piscinas 156
Consumo por sectores 158
Espacios Verdes Urbanos 161
Campos de golf 163
La gestión ambiental del agua en el Ayuntamiento de Las Rozas 165
Programa de calidad de aguas naturales 166
Programa de gestión de aguas residuales 168
Programa de optimización de recursos.....169
Control de la calidad del agua. El laboratorio municipal de Las Rozas....172

CONSEJOS PARA AHORRAR AGUA 181
REFRANES Y DICHOS POPULARES EN TORNO AL AGUA 183
BIBLIOGRAFÍA 187

PRÓLOGO

AL LEER ESTE LIBRO ME VIENEN A LA MEMORIA RECUERDOS DE CUANDO ÉRAMOS NIÑOS Y SALÍAMOS AL campo en primavera y en verano. Nos gustaba el calor, el calor del verano, las vacaciones. El campo, buscar, mirar, explorar, y por último, acercarnos a alguna de las fuentes o manantiales que surgían dispersos en puntos concretos. Entonces, todos hacíamos el mismo gesto, ahuecábamos la mano y dejábamos que el agua, el agua limpia y fresca, escurriera por ella refrescándonos el brazo. Después, repitiendo el movimiento, sorbíamos el agua que no dejaba de caer, para finalmente refrescarnos la cara y humedecernos el pelo.

EL AGUA FLUYE HACIA EL TRAMO DEL CANAL DE GUADARRAMA SITUADO EN LA DEHESA DE NAVALCARBÓN.

No hace tanto tiempo de esto. Ahora, cuando nos acercamos a alguna de estas fuentes o manantiales, o están secas, o nos da reparo beber su agua. Quizá, si pudieran hablar nos preguntarían: ¿Por qué habéis dejado que me seque? ¿Por qué no habéis cuidado mi agua fresca?

Y es verdad. Somos responsables de lo que ocurre con el agua. Tenemos que tomar conciencia de la importancia que tiene mantenerla limpia. Pero no sólo eso, tenemos que aprender a utilizarla, a respetarla y a quererla, al fin y al cabo la mayor parte de nuestro cuerpo es agua.

Este libro nos da una visión global del agua en nuestro municipio. También nos abre los ojos ante algunas realidades, a veces incómodas, que hay que solventar. Mucho hemos avanzado en el tema del agua, quien lea este librito lo deducirá fácilmente. Pero han aparecido nuevos problemas que tendremos que resolver: la contaminación del agua; el deterioro de los ecosistemas acuáticos asociados a ella, ríos, arroyos, fuentes, humedales y pozos; o la disponibilidad de este recurso indispensable y limitado. Tenemos que saber que poco a poco, cambiando alguno de nuestros hábitos, sin perder la calidad de vida que afortunadamente disfrutamos, podemos contribuir a hacer un mejor uso de nuestra amiga el agua.

La amistad, la verdadera amistad, es un don preciado que hay que cuidar.

José Ignacio Fernández Rubio

ALCALDE DE LAS ROZAS DE MADRID

AGRADECIMIENTOS

Este es un libro de divulgación realizado en el marco de los Convenios de Colaboración suscritos entre el Ayuntamiento de Las Rozas de Madrid y la Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas, representada por el Real Jardín Botánico y el Museo Nacional de Ciencias Naturales.

Queremos agradecer al Ayuntamiento de las Rozas de Madrid el apoyo, ayuda y facilidades que nos han prestado en estos años de colaboración, que han sido imprescindibles para elaborar este y otros libros de esta misma serie dedicados al medio ambiente de Las Rozas de Madrid.

Muchos de los análisis hidrológicos y físico-químicos citados aquí se deben a Ángel Rubio Olmo y al personal del Laboratorio Municipal de Las Rozas de Madrid.

Asimismo, queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a Estrella Palacios Gándara, responsable de la Biblioteca Municipal de Las Rozas, y a los vecinos roceños Miguel Vicente Sánchez, Teresa San Juan Martín, Nemesio Garrido Turrilllo, Jesús San Juan y Francisco Herranz Álvaro. Gracias a la memoria y documentación facilitada por estos amables vecinos, pudimos reconstruir y conservar la memoria histórica del agua en Las Rozas.

Finalmente, queremos dar las gracias también a Gregorio Ballesteros, de la consultora GEA21, quien nos proporcionó interesantísimas informaciones sobre la gestión del agua en distintas ciudades españolas.

INTRODUCCIÓN

Se dice que Yuri Gagarin, el primer hombre que vio la Tierra desde el espacio, preguntó por qué se denomina planeta Tierra y no planeta Agua, ya que lo que llama realmente la atención de la visión desde el espacio de nuestro planeta es su intenso color azul, adornado con borrones blanquecinos de vapor de agua. No en vano más de dos terceras partes de la superficie del planeta están cubiertas por las aguas de los océanos, además de las nubes que pueblan la troposfera y que no son más que ese vapor de agua. Quizá desde aquella visión, el Planeta Tierra va cediendo paso a un Planeta Azul, el Planeta del Agua.

Aunque el mar cubra gran parte de la Tierra, el hombre depende del agua dulce. Con el agua como centro de vida y actividad, las más tempranas culturas han ido asentándose en torno a grandes ríos como el Tigris y el Éufrates, el Nilo, el Indo o el Yangtsé, valorando a éstos como fuente de agua fiable. Primero, asumiendo el consumo de agua como una pura necesidad orgánica y más tarde, haciendo uso de las posibilidades que ofrece. Desde épocas tempranas el aporte de agua para actividades agrícolas y ganaderas supuso el asentamiento estable y el origen de lo que serían las primeras sociedades civilizadas, al actuar como elemento fundamental en la alimentación de los pueblos. A su vez, los cursos fluviales se establecen como vías de comunicación y, según se avanza hacia sociedades más sedentarias e industriales, el agua entra a formar parte de multitud de elementos manufacturados, así como auxiliar en diversos procesos de fabricación como refrigerante, productor de calor... De la misma manera, la fuerza mecánica que puede derivarse de las corrientes de agua en ciertas condiciones hace que el ser humano haya modificado los cursos de los ríos para la producción de energía eléctrica.

Queda clara la importancia que el agua ha tenido y tiene sobre el desarrollo de las sociedades y sus intereses económicos. Esto ha hecho que se contemple como un recurso y, como tal, ha sido susceptible de gestiones parciales e interesadas. Simplemente nos aprovechamos del agua, extraemos su utilidad y valor productivo, lo que nos lleva a maltratar y despreciar un bien tan preciado. Porque eso es el agua, un bien excepcional e indispensable, más que un recurso. Se trata de entender que el agua está íntimamente ligada al territorio y a sus gentes, de acercarse a los valores naturales que el agua desempeña, así como a los valores sentimentales, culturales e históricos.

Es fundamental saber apreciar el privilegio que supone disponer del agua en nuestras casas, en cualquier momento. Para ello, debemos conocer y entender los procesos que concurren para que esto sea posible, así como las consecuencias que ello acarrea.

En El Comentario General sobre el Derecho al Agua, adoptado en noviembre de 2002 por el Pacto sobre Derechos Económicos, Sociales y Culturales (CESCR en inglés), el agua es reconocida de forma explícita como un derecho humano fundamental. El Comentario General señala que: *El derecho humano al agua otorga derecho a todos a contar con agua suficiente, a precio asequible, físicamente accesible, segura y de calidad aceptable para usos personales y domésticos*. Solicita a los gobiernos que adopten estrategias y planes de acción a nivel nacional que les permita *moverse de forma más expeditiva y eficaz para hacer realidad el derecho al agua*. Igualmente, la ONU, a través de su Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales, reconoce que *el derecho al agua es indispensable para vivir dignamente y es condición previa para la realización de otros derechos humanos.*

A pesar de ser un derecho humano, estimaciones del Banco Mundial sitúan por encima de los 1.000 millones el número de personas sin acceso a suministros de agua para el consumo y en 1.700 millones las que carecen de saneamiento adecuado. Y es que esa facilidad en la obtención del recurso en nuestras sociedades occidentales desarrolladas hace que un ciudadano de los Estados Unidos consuma unas 70 veces lo que un ciudadano de Ghana. Así, dejamos de ver al agua como un bien para convertirlo en un objeto de consumo de fácil alcance, sacamos al preciado elemento de su entorno natural para introducirlo en nuestras vidas, usarlo y tirarlo olvidando esos valores naturales, sentimentales, culturales e históricos de los que hablábamos.

El agua, a través de sus ambientes naturales como ríos o lagos, ha dotado siempre de identidad y ha vertebrado las ciudades y pueblos en torno a ellos. Pero en la época actual, desde el advenimiento de la revolución industrial, estos ríos han sido objeto de intereses económicos e industriales, convirtiendo muchos de ellos en auténticas cloacas en superficie. Al atravesar cualquier núcleo industrial o urbano, son delimitados, modificados, encauzados, dominados y maltratada la calidad de sus aguas, dejándolos tullidos y maltrechos. Incluso este camino natural llega a antojarse para algunos como un gesto caprichoso de una naturaleza malcriada, que permite que el agua que circula por ellos se pierda en el mar, en lugar de ser aprovechada para más altos logros productivos.

Pocos son ya los territorios o ciudades en nuestro país que puedan identificarse orgullosos a través de sus cursos de agua. La degradación de la calidad del agua y la pérdida de los valores biológicos de río Segura a su paso por Murcia, el desnaturalizado y

multicanalizado Turia en Valencia, o el río Manzanares a su paso por Madrid, carente de cualquier esbozo de un componente esencial de los ríos como es su ribera, son una mínima muestra del estado actual de nuestros ríos.

Y llegamos a nuestro municipio de Las Rozas de Madrid, definido hidrográficamente por las cuencas del Manzanares y, sobre todo, del Guadarrama, ahora también maltratado. Pero no siempre fue así, y en el querido y bello Guadarrama, en el límite municipal con Villanueva del Pardillo y Galapagar se bañaron, lavaron sus ropas y disfrutaron de sus aguas y orillas los roceños no hace demasiados años.

En el presente libro, navegaremos por la historia del agua en Las Rozas, del abastecimiento a través de las fuentes y las primeras conducciones hacia las viviendas hasta la actualidad, en que podemos disponer de tan preciado bien a golpe de grifo o, más modernamente, monomando.

Este libro tratará de explicar cuáles son los procesos que hacen que el agua llegue desde los pantanos hasta nuestras casas, siendo perfectamente apta para el consumo y también, donde va y qué ocurre con esa agua, una vez que es usada y la perdemos de vista por nuestros desagües. Asimismo, intentaremos comprender cómo interfiere e influye la presencia del ser humano sobre el ciclo natural del agua, lo que le sustraemos a ese ciclo, lo que le devolvemos y cómo lo devolvemos, cuánto se consume y cuánto se necesita.

TRAMO RECUPERADO DEL CANAL DE GUADARRAMA EN LA DEHESA DE NAVALCARBÓN.

EL AGUA EN LAS ROZAS. Un poco de historia

Si bien la primera aparición en escrito alguno podría situar el origen de Las Rozas en el siglo XIII, aún con la incertidumbre de si sería o no el *Miacum* romano del que habla el historiador y arqueólogo Ceán Bermúdez en el *Sumario de las antigüedades romanas de España*, nuestra historia del agua comienza en las *Relaciones Histórico-Geográfico-Estadísticas de los pueblos de España*, ordenadas por Felipe II en 1575 y cuyos manuscritos originales se encuentran en la biblioteca de El Escorial, donde en su tomo V describen la situación, los recursos y también la convivencia con el agua de nuestros medievales abuelos roceños.

Se describe allí el río Guadarrama como de poco caudal, cuyo estiaje apenas deja discurrir algo de agua por su cauce, lo que no impide abrigar en su ribera huertas, sotos y viñas e incluso molinos y un batán, aprovechando para su funcionamiento la fuerza de la corriente del agua:

20- Iten cuanto al capitulo veinte dixeron que el rio que pasa mas cerca de este dicho lugar de las Rozas es el rio que llaman de Guadarrama, que esta una legua vulgar del dicho lugar hacia la parte del ponientem e que no es rio caudaloso, porque en tiempos de agosto se suele secar el dicho rio.

21- Iten cuanto el capitulo veinte y uno dixeron que en el dicho rio de Guadarrama una legua de este dicho lugar hay unas huertas y un soto y una viña, que es de la ilustre señora doña Maria de Vargas, vecina de la villa de Madrid, e que en los frutos que en la dicha guerta hay es melocon y durazno y manzana, e se riega con el agua del dicho rio, e que lo que le vale de renta de dichas guertas no lo saben.

22- Iten cuanto al capitulo veinte y dos dixeron que en el dicho rio Guadarrama hay unos molinos que son de la dicha doña Maria de Vargas, y un batan que esta en termino de Madrid, e que no tienen noticia ni saben lo que le renta cada un año.

Ya se advierte en este siglo XVI de la escasez de agua en el municipio de Las Rozas, disponiendo para el abastecimiento de un caño y un pozo, quedando incluso el molino antes citado sin uso durante el verano por la falta de caudal

del Guadarrama, haciendo que las labores de molienda se desplazaran a Guadarrama y Manzanares. En contraste con esta declarada escasez, se describe a la vez la ubicación del pueblo como valle por el que corren las aguas a todas partes, hecho que define la fisonomía del núcleo original de Las Rozas, como veremos más adelante.

23- Iten cuanto al capitulo veinte y tres dixeron que este dicho lugar es falto de agua, e que no hay en el sino solamente un caño y un pozo, de donde se proveen para beber en el dicho lugar, y son de poco agua, que aun para el ganado de labor no hay agua, e que suelen ir a moler a los molinos que son de la dicha doña Maria fasta el mes de mayo, y que llegado mayo se acorta el agua, porque en el lugar de Cercedilla y los Molinos y Guadarrama y Monasterio y en Roman..., quitan el agua del dicho rio para regar sus prados y guertas, a esta causa no muelen los dichos molinos hasta el mes de mayo, y de alli para delante van a moler a Guadarrama y a Manzanares, que estan cinco o seis leguas de este dicho lugar.

32- Iten cuanto al capitulo treinta y dos dixeron que el dicho lugar de las Rozas esta en una ladera e cuesta asentado y edificado, y en un valle corren las aguas a todas partes.

EL MOLINO DE LA HOZ, LA GAVIA, EL PUENTE DEL RETAMAR Y EL MARQUÉS DE LA ENSENADA

Con toda probabilidad los molinos anteriormente relacionados se ubicarían en lo que ahora denominamos El Molino de la Hoz, pues así se le nombra en el Catastro realizado por el Marqués de la Ensenada en 1751, siendo secretario de Estado del Rey Fernando VI. Las nuevas ideas ilustradas traídas de Francia por la dinastía de los Borbones llevan a interesarse por la situación de los pueblos de España, de los que no se había vuelto a tener registro desde las *Relaciones* de Felipe II. Para ello, se diseña un cuestionario o interrogatorio de cuarenta preguntas que se envía a todos los pueblos, debiendo responder bajo juramento autoridades y vecinos.

Y es en la pregunta diecisiete cuando se responde...

Diecisiete: Que hay un molino harinero llamado de la Hoz, distante una legua con solo una muela y cubo propio de dicho Manuel Ther de los Rios, el que no está corriente pero ha estado arrendado en dos mil quinientos reales.

Aspecto actual de la zona donde se situaba el antiguo molino de la Hoz.

Para matizar en una segunda relación de respuestas concretadas...

Diecisiete: La utilidad del molino consiste en mil quinientos reales anuales.

A pesar del cambio de dueño, se puede pensar que tanto las *Relaciones* como el Marqués de la Ensenada hablan del mismo molino.

Con este aire de regeneración en el país, comienza a establecerse un servicio de caminos generales del Estado, acometiendo en 1749 la construcción del nuevo trazado que cruzaría la sierra de Guadarrama por el Puerto del León (posteriormente de los Leones). En 1750 comienza a realizarse el nuevo camino que uniría Madrid con Galapagar, y de ahí a El Escorial y Guadarrama, para abandonar el que atravesando Las Rozas se dirigía a Colmenarejo. Este camino pasaría por la parte sur del pueblo para continuar hasta el río Guadarrama.

¿Y por qué hablar de las redes de caminos en un libro sobre el agua?

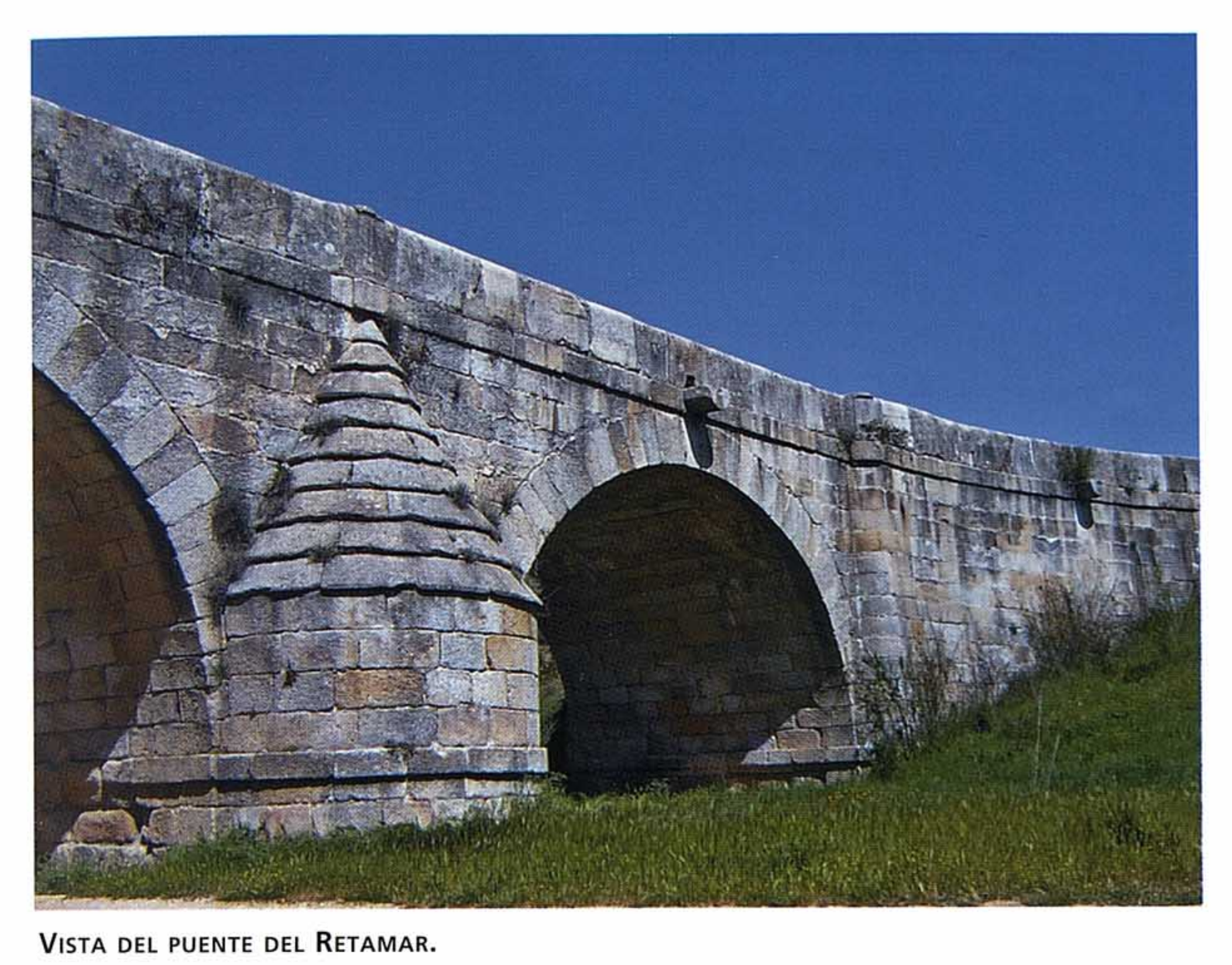
Al perder el antiguo camino la entidad como tal, pasó a ser calle mayor, llamándose de la Concepción. Esta calle era, en realidad, una vaguada por la que discurría un arroyo que recogía las escorrentías que en época de lluvias se pre-

cipitaban por sus laderas, lo que, unido a las "aguas" que arrojaban sus vecinos, convertía la calle de la Concepción en un barrizal insalubre. A fin de paliar en lo posible esta situación, se decidió construir una zanja o gavia a lo largo de la calle, desde el Barrio de Arriba hasta el barranco del Pocito.

De esta manera, la gavia cruzaba de sureste a noroeste el pueblo de Las Rozas, atravesando su curso varios puentecillos por los lugares de paso más frecuente. Estos puentes recibieron nombres de carácter muy local, tales como Puente del Tío Polo, de Cahete, Puente Primera, de Manolo y el Puente de Ladrillo. A este último daba nombre el material empleado para su construcción, contaba hasta con barandilla, y cruzaba desde la plaza de la Constitución (actual plaza Mayor) a la calle que llevaba a la iglesia, y que ahora es la avenida de la Constitución.

Pero sin duda el puente de más entidad en el municipio de Las Rozas es el puente del Retamar, construido entre 1740 y 1760, a caballo entre los reinados

Retrato de Cenon Somodevilla y Bengoechea, Marqués de la Ensenada.



Vista del puente del Retamar.

de Fernando VI y Carlos III, con objeto de salvar el cauce del río Guadarrama en el camino que se mencionaba anteriormente de Madrid a Galapagar. Si bien el desarrollo de las redes de caminos fue muy importante en la zona desde el establecimiento de la capital del reino en Madrid y la construcción del monasterio de El Escorial, este paso sobre el río era ya utilizado en la época romana, como lo atestiguan los restos de calzada romana encontrados junto al puente.

La construcción se llevó a cabo con la influencia de las maneras francesas, dando unas formas más hidrodinámicas a los tajamares de los pilares del puente e introduciendo elementos urbanísticos como plazoletas de entrada y salida. A la vez, se dio preferencia a la vía frente el río, siendo las dimensiones superiores a las necesarias para el desagüe del cauce y pensadas en cambio para mantener la cota del camino.

Dos de las señas de identidad del municipio de Las Rozas, La Gavia y el puente del Retamar, tienen su origen en las obras públicas proyectadas por el Marqués de la Ensenada, los Borbones y sus ideas ilustradas venidas de Francia. Pero esto no había hecho más que empezar, ya que a continuación se acometió un proyecto faraónico que afectaría al municipio: el Canal de Guadarrama.

EL CANAL DE GUADARRAMA

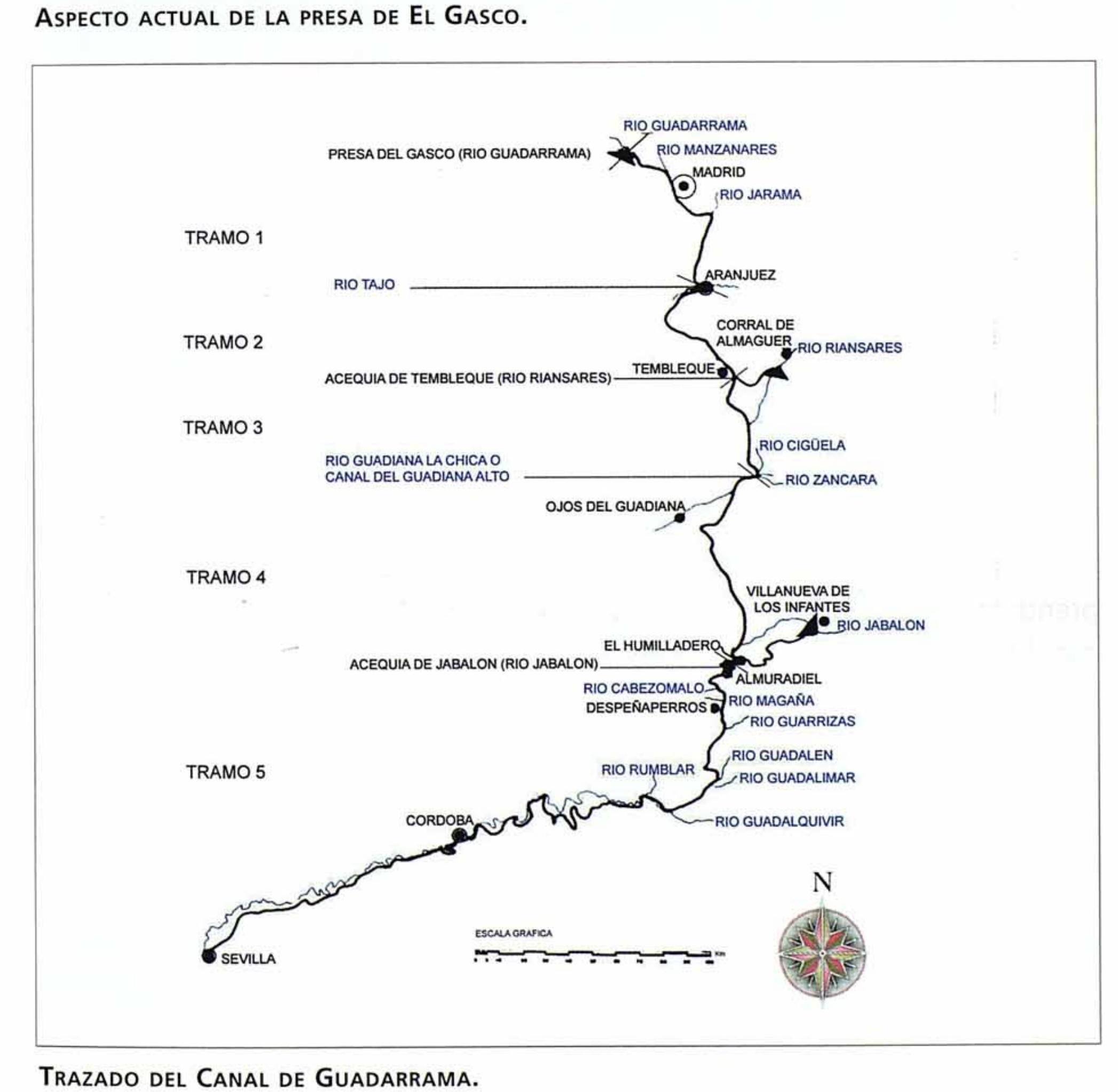
Estamos en 1785, reinando Carlos III; el Banço Nacional de San Carlos atraviesa por dificultades financieras y empieza a perder los favores de la Secretaría de Hacienda del Rey. Desde la dirección del banco con el fin de invertir la situación, se plantea acometer una gran obra de la que se reservaría su financiación y explotación, para así reactivar su maltrecha economía. Es entonces cuando se recuerda el proyecto de canal de Andalucía presentado al Consejo de Castilla en 1776 por el ingeniero y capitán del Ejército español, aunque nacido en Francia, Carlos Lemaur, planteando la posibilidad de enlazarlo con otro canal que llegara a Madrid. Como quiera que el citado canal de Andalucía partía del río Rumblar, entre Bailén y Andújar, provincia de Jaén, siguiendo el río Guadalquivir hasta el mar, el proyecto de canal navegable que uniera éste con la Corte seguiría el trazado que Lemaur firmó el 7 de noviembre de 1785 como:

> *Relación histórica del proyecto de un canal navegable desde el río Guadarrama al Océano, pasando por Madrid, Aranjuez y atravesando La Mancha y Sierra Morena, con la exposición del orden y método de ejecución para asegurar el éxito, y la más pronta utilidad de tan grande obra.*

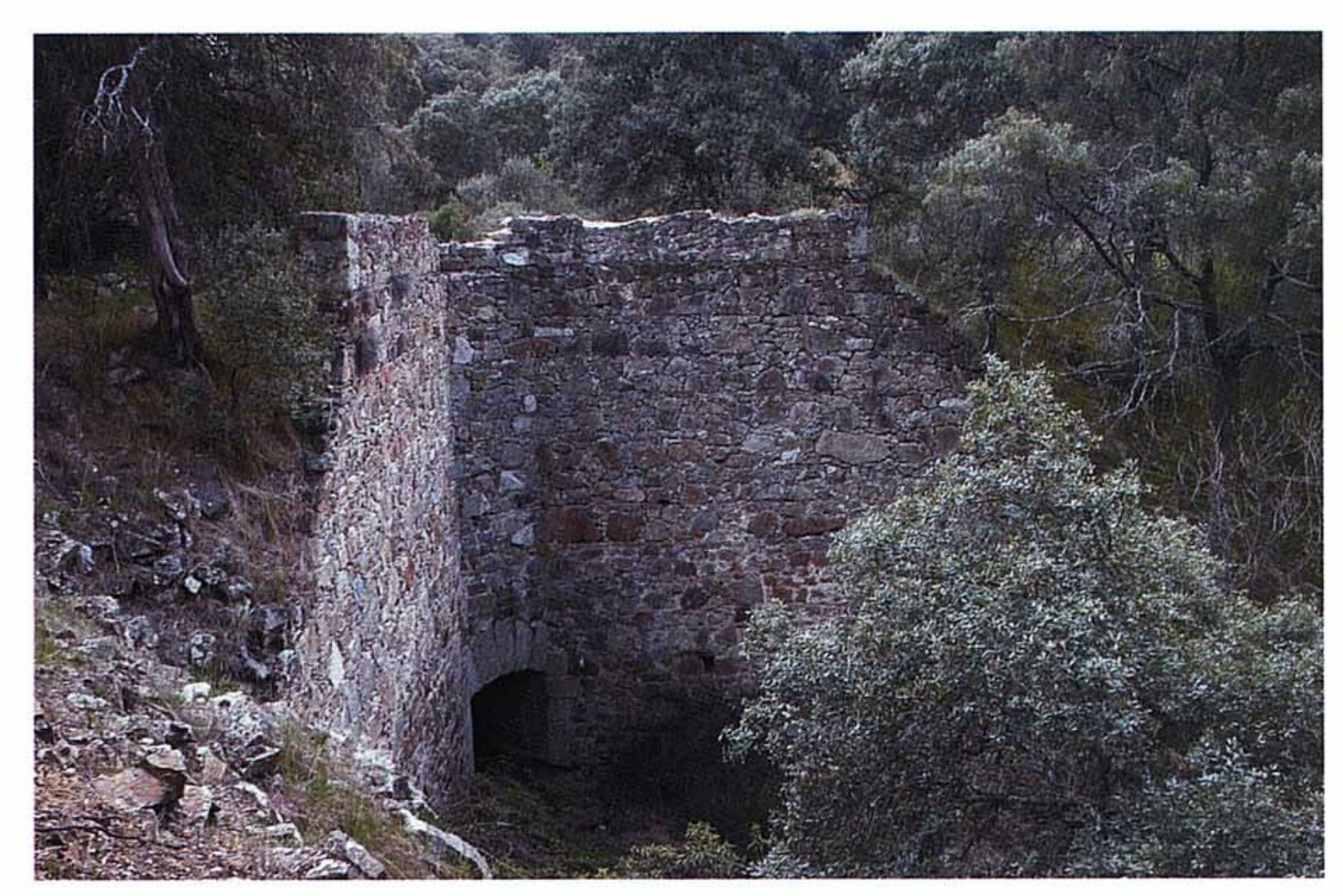
Este canal navegable serviría como arteria para el transporte de los cereales castellanos y de materiales que partirían hacia las Américas. El 25 de noviembre de 1785 muere repentinamente en Madrid Carlos Lemaur, dejando para la posteridad las obras del Canal de Castilla, el camino de Galicia y el paso de Despeñaperros como más sobresalientes, pero sin poder empezar siquiera las del Canal de Guadarrama, que se iniciaron en enero de 1787. Ante semejante contrariedad, la dirección del Banco decide que sean los hijos del ingeniero fallecido los que acometan la traza y ejecución del tramo de canal comprendido entre el río Guadarrama y el puente de Toledo, para enlazar con el canal del Manzanares ya en la capital. Se trataba de comprobar la valía de los nuevos directores de tamaña empresa y determinar el proseguir con el total del proyecto.

El canal comienza en la presa de El Gasco, donde deberían represarse las aguas del río Guadarrama para abastecer al canal en esta primera parte de su recorrido, en el lugar que entonces se conocía como estrecho de El Gasco o de Peña, donde convergen los términos municipales de Torrelodones, Galapagar y Las Rozas. Comienzan las obras en enero de 1787 y en poco más de un año ya se han construido los 26 primeros kilómetros – unas 4 leguas de la época- hasta Las Rozas,

Aspecto actual de la presa de El Gasco.



Trazado del Canal de Guadarrama.



Restos de las construcciones diseñadas a lo largo del canal de Guadarrama en la finca de Los Viales.

habiéndose apenas comenzado las obras de la presa. Ésta debía tener según el proyecto 93 metros de altura, 72 de espesor en la base y 4 en la coronación, por 251 metros de longitud. La presa más grande del mundo de entonces.

Dándose por buenos a los hijos de Lemaur, D. Carlos y D. Manuel, como directores de la obra y a sus hermanos, D. Félix y D. Francisco, como ayudantes, se continúa con el proyecto, si bien comienzan a aparecer las primeras desavenencias entre los ingenieros y el Banco de San Carlos, así como entre los propios hermanos. Las numerosas bajas por enfermedad entre los obreros de la presa hacen en 1789 concentrar en ella al resto de los trabajadores del canal, cuyas obras habían alcanzado ya los linderos de la Casa de Campo. Los trabajos continúan entre numerosas dificultades, desembocando en mayo de 1799 en el derrumbamiento de la presa, tras un deslizamiento en la parte central provocado por una fuerte tormenta, cuando se habían alcanzado ya dos tercios de su altura total. Esto supone la paralización de las obras y el definitivo abandono de tan ambicioso proyecto.

En la actualidad quedan a la luz los inconvenientes, como las larguísimas minas que se tendrían que construir en el último tramo de su curso y los problemas de abastecimiento de agua, que lo podían hacer inviable desde el punto

Todavía se conservan los muros en una parte del Canal de Guadarrama. Un paraje especialmente agradable para pasear y pensar en la ingente obra que significaba construir un canal navegable hasta el océano.

Recuperación del Canal de Guadarrama en la Dehesa de Navalcarbón.

de vista operativo. La desmesurada longitud y la multitud de obras de fábrica necesarias constituyen obstáculos casi insalvables para su construcción, por su elevado coste y largo tiempo de ejecución para un país como el nuestro, estimado éste con optimismo por el propio Lemaur en 20 años.

Posteriormente, se intentó retomar el proyecto en 1842, pero esta vez conduciéndolo directamente hasta el río Jarama, resultando fallido, al igual que un tercero en 1892, que pretendía aprovechar el tramo de canal ya construido con fines de producción de energía y abastecimiento a la capital.

Buena parte de la obra se ha perdido en la actualidad por destrucción natural, colmatación o procesos urbanísticos, quedando sin embargo apreciables restos de lo que fuera la obra. La propia presa de El Gasco, pese a acusar el abandono y el paso del tiempo, muestra aún la magnitud del proyecto para la época. Se conservan buenos ejemplos del canal en el área noroeste del término municipal y en la Dehesa de Navalcarbón, donde en 2003 se acondicionó un tramo de 1,5 km para actividades recreativas, contando con una laguna de regulación de caudales, además del aporte de una cuenca drenante de 22,5 ha y de las aguas cloradas de los caudales de renovación de un polideportivo cercano.

EL POZO DE SAN ROQUE, EL DE LAS NIEVES Y LA FUENTE DEL CAÑO

Transcurre el siglo XIX, tras los estragos causados por la guerra de la Independencia el pueblo de Las Rozas cuenta con 455 almas, según el *Diccionario geográfico-estadístico-histórico de España y sus posesiones de Ultramar* de Pascual Madoz, que sitúa a los roceños a orillas de un río Guadarrama en el que se pescaban barbos, bogas y anguilas y cuyas aguas se utilizaban en parte para el riego.

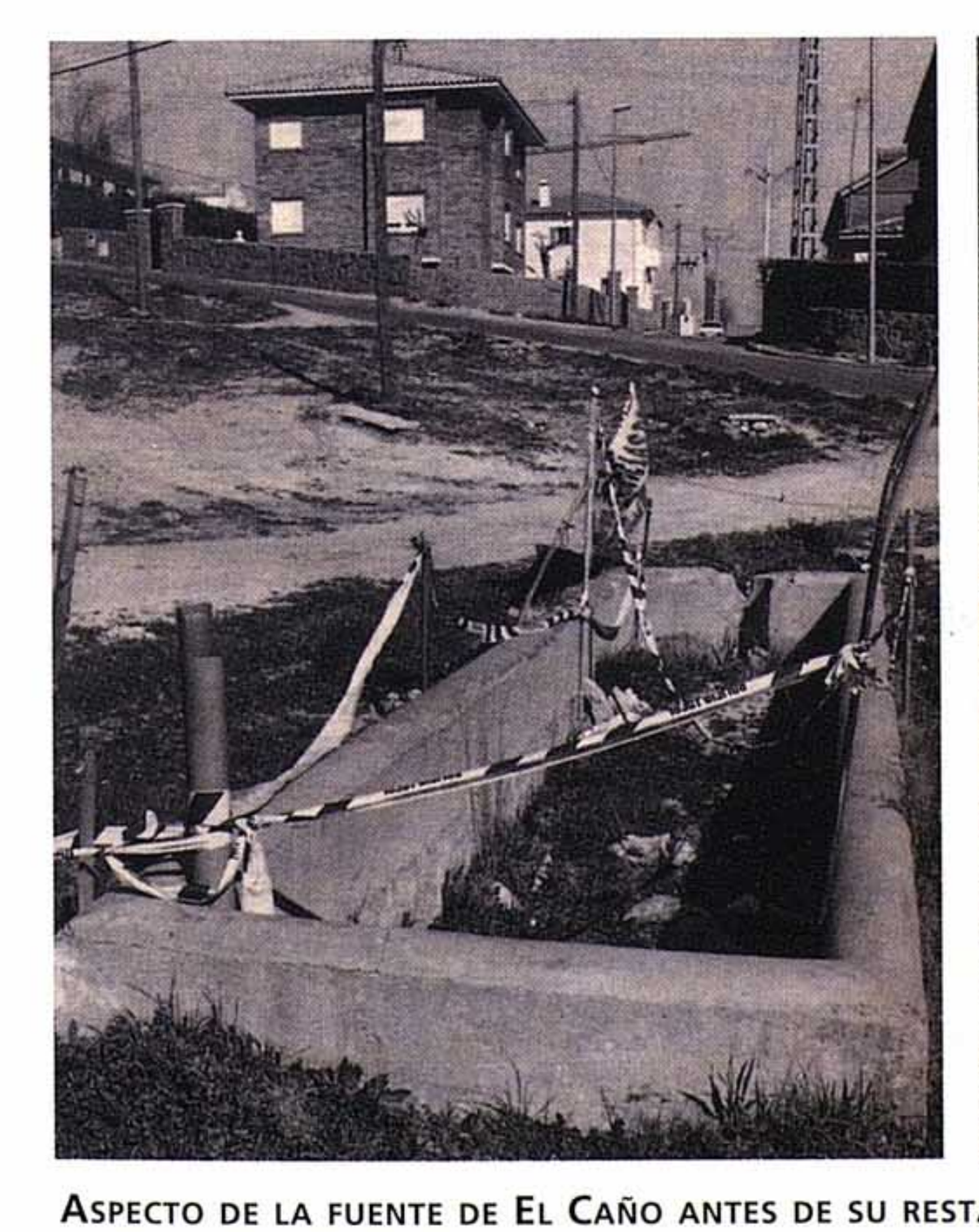
En cuanto al abastecimiento de agua, se cuenta con una fuente a poca distancia de la población, además del pozo del que ya se hablaba en las *Relaciones* de Felipe II. Este pozo era conocido como de San Roque y estaba situado en el lado izquierdo del final de la actual calle del Pocito de San Roque. Además, se abren numerosos pozos en corrales y fincas, lo que quizá lleva a Pablo Riera y Sans, en su *Diccionario Geográfico Estadístico* de 1884 a escribir sobre Las Rozas: ...*el vecindario se halla bien surtido de aguas potables para el consumo doméstico*... Era una época en la que, por ejemplo, Madrid solamente contaba con 10 litros de agua por habitante y día.

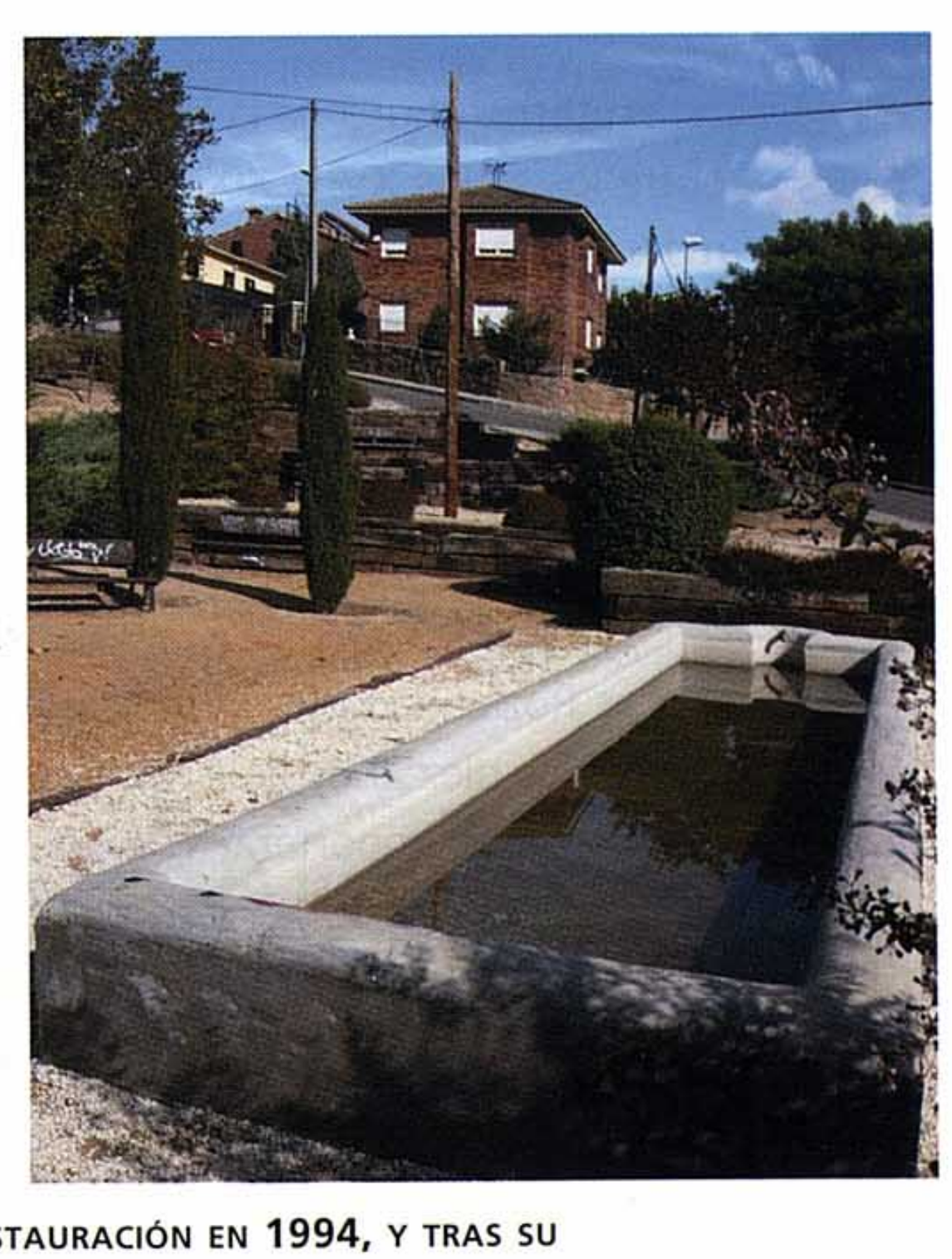
El primitivo caño es mejorado, construyendo una fuente con pilón que recibe el nombre de Fuente del Caño o de la Malaventura, alimentada por las aguas

del citado Pozo de San Roque. La fuente se encontraba en el cruce de la vía principal del pueblo y el camino Real que unía Madrid con El Escorial, donde ahora se encuentra la actual remodelación de la Fuente del Caño y su entorno, inaugurados en octubre de 2002 para rendir tributo al que fuera abastecimiento de agua para los roceños durante la mayor parte de la vida de este pueblo.

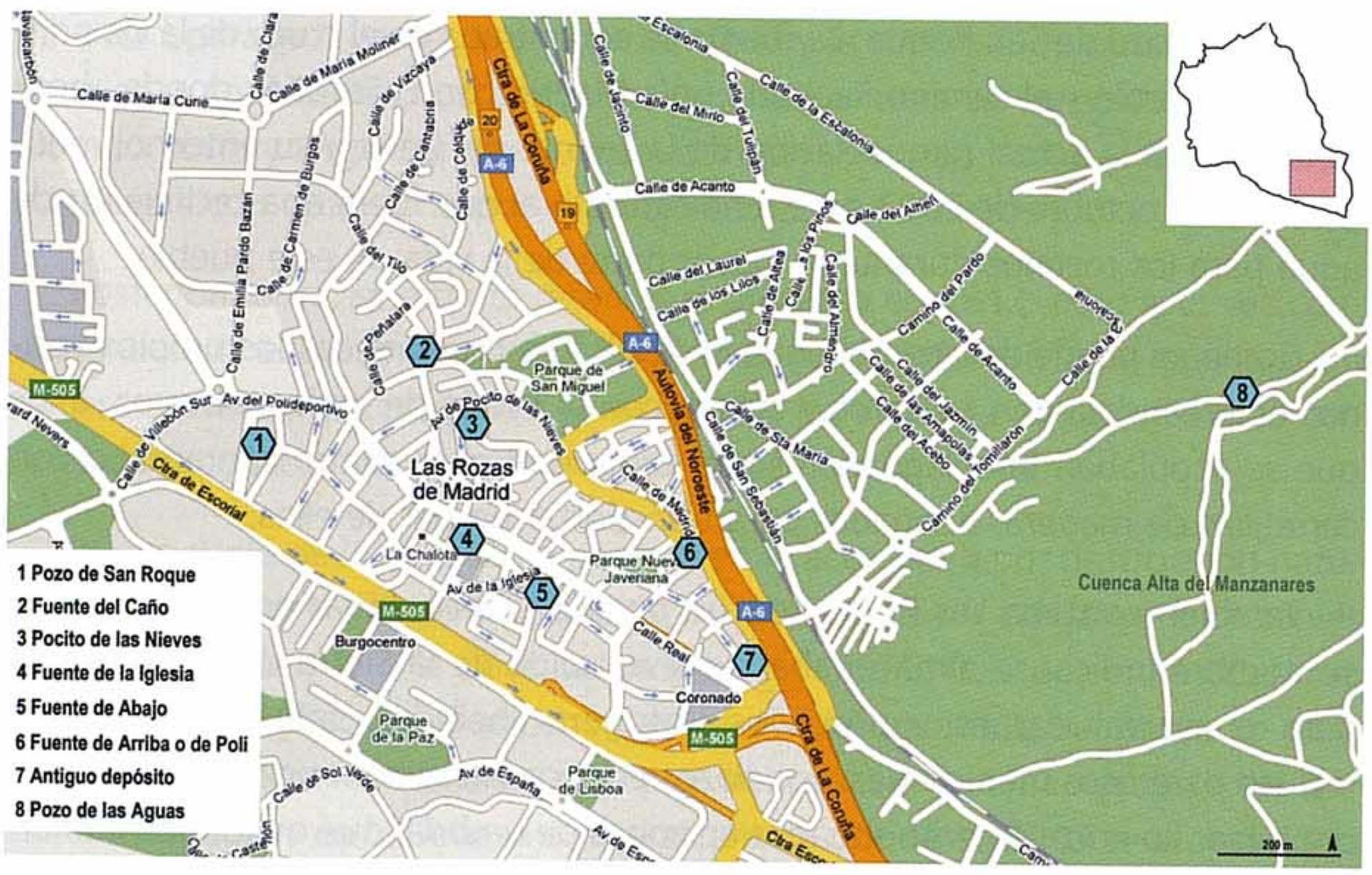
Como se puede adivinar, el agua la llevaban a las viviendas los propios vecinos acarreándola con cántaros y cubos, con la ayuda de mulos y burros, a los que se acoplaban unas aguaderas con capacidad para cuatro cántaros, o con carretillas de madera, diseñadas para transportar un par de ellos.

También contaba Las Rozas con un *pozo de nieve*, lugar en el que, como su nombre indica, se almacenaba la nieve traída de la Sierra de Guadarrama para conservar carnes y pescados, refrigerar bebidas, fabricar helados e incluso para usos medicinales. Los pozos eran construcciones circulares de piedra o ladrillo normalmente situadas en zonas de umbría, que quedaban cubiertas y cerradas, excepto la puerta de entrada, con el fin de mantener la baja temperatura interior. En el pozo se comprimía la nieve por medio de grandes prensas de madera, disponiendo aproximadamente a cada medio metro de nieve una capa de paja cubierta con sal. Por la parte inferior solían tener un desaguadero para aliviar el agua que se pudiera producir por pequeños des-





Aspecto de la fuente de El Caño antes de su restauración en 1994, y tras su restauración en 2002.



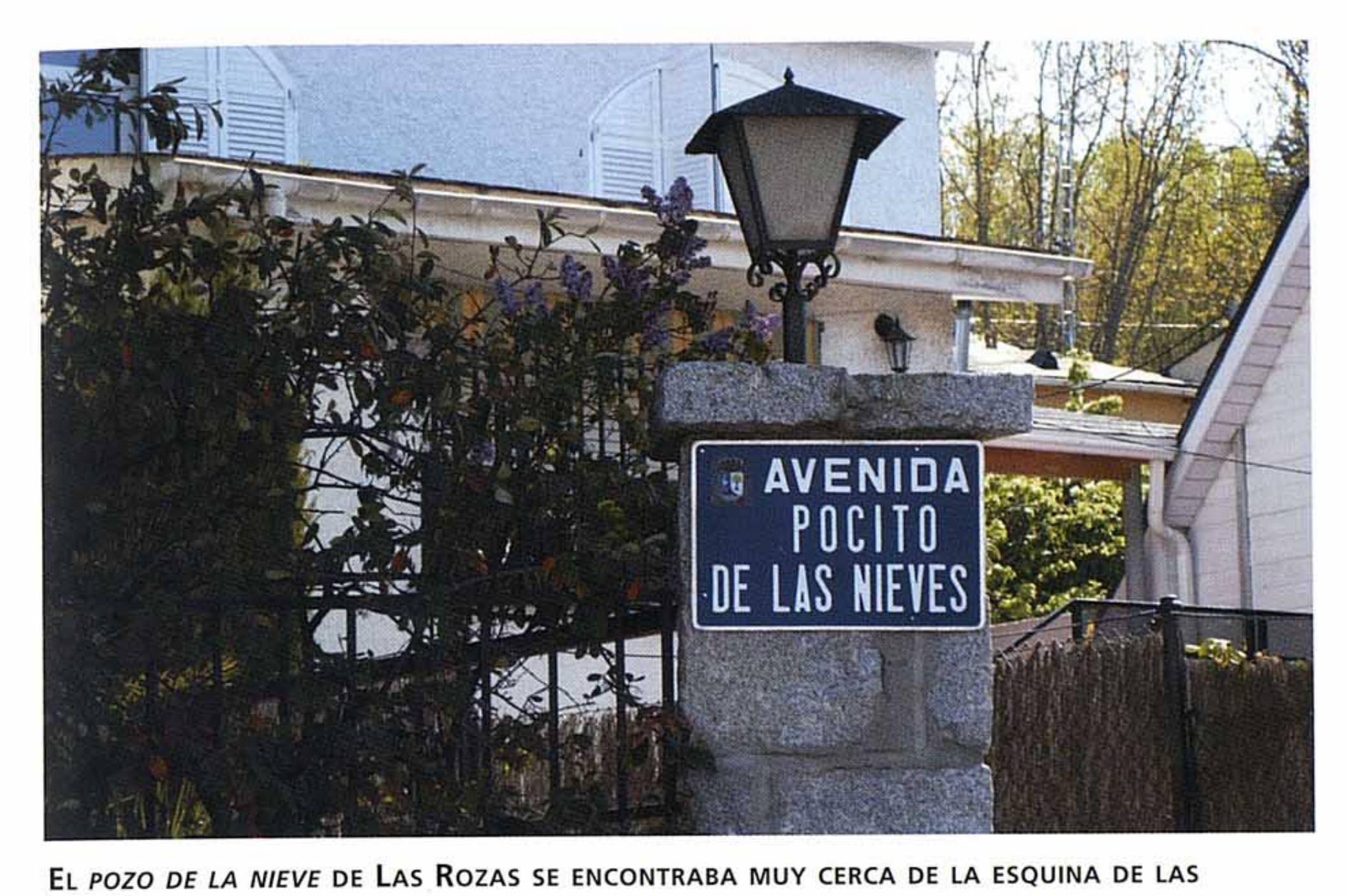
LOCALIZACIÓN DE LOS ANTIGUOS POZOS Y FUENTES MÁS IMPORTANTES EN EL MUNICIPIO DE LAS ROZAS.

hielos, e incluso se construían pequeñas balsas de poca profundidad para que, con las heladas, el agua convertida en hielo fuera incorporada al pozo.

En torno al uso de la nieve, introducido por los árabes, se llegó a configurar entre los siglos XVI y XIX un próspero negocio en el que se empleaban numerosas gentes: los que recogían la nieve en la sierra, los que guardaban las sacas que allí se iban almacenando, los que transportaban la nieve a las poblaciones, los propietarios o encargados de los pozos que vendían a los consumidores, y los arrendadores de las Rentas Reales que cobraban los impuestos. Estas licencias de arrendamiento dependían de la *Casa Arbitrio de la Nieve y Hielos del Reino*, que establecían el precio según fuera la capacidad del pozo.

Las Rozas pagaba, en la segunda mitad del siglo XVIII, 1.400 reales por la licencia de diez años de arrendamiento. Esto permite considerarlo como uno de los pozos más importantes de Madrid, cuyas licencias rondaban los 150-300 reales o hasta los 1.000 de los pozos de Carabanchel Bajo y Torrejón de Velasco. Para hacerse una idea del valor de la nieve como mercancía, baste decir que en 1862 una arroba de nieve se pagaba a 20 reales, mientras que una de vino lo hacía a 34 y un carnero a 25.

El pozo de la nieve de Las Rozas se encontraba muy cerca de la esquina de las actuales calles de Santa Teresa y Pocito de las Nieves, en lo que era un



El *pozo de la nieve* de Las Rozas se encontraba muy cerca de la esquina de las actuales calles de Santa Teresa y Pocito de las Nieves.

pequeño barranco que bajaba hacia el Caño, en la caída del Cerro del Cascabel. Resultaba engañoso el apelativo de pocito, ya que hemos visto que era de los mayores de Madrid, con una capacidad de diez mil arrobas de nieve, esto es, unos 115.000 litros.

Reconstrucción del aspecto e interior de un pozo de nieve.

LAVADEROS, FUENTES Y TRAÍDA DE AGUAS

Entra el siglo XX y la falta de agua corriente en las casas hace de lavaderos y fuentes verdaderos centros de relaciones sociales entre los vecinos de Las Rozas, que suman 1.187 en el censo de 1910. Además de la Fuente del Caño, de la que se decía que quien probaba su agua siendo de fuera se casaba con alguien de Las Rozas, había varias fuentes repartidas por el municipio, como la Barrera, Puentecilla, Puente Retuerta, Pipi-Lichi, la del Cura, Las Ceudas o Barracondo.

De entre todos los lavaderos, el más popular es el de la Fuente del Caño, engalanándose las laderas del cerro adyacente con las ropas recién lavadas y puestas a secar, como escribe el poeta y cronista del pueblo, Eduardo Muñoz:

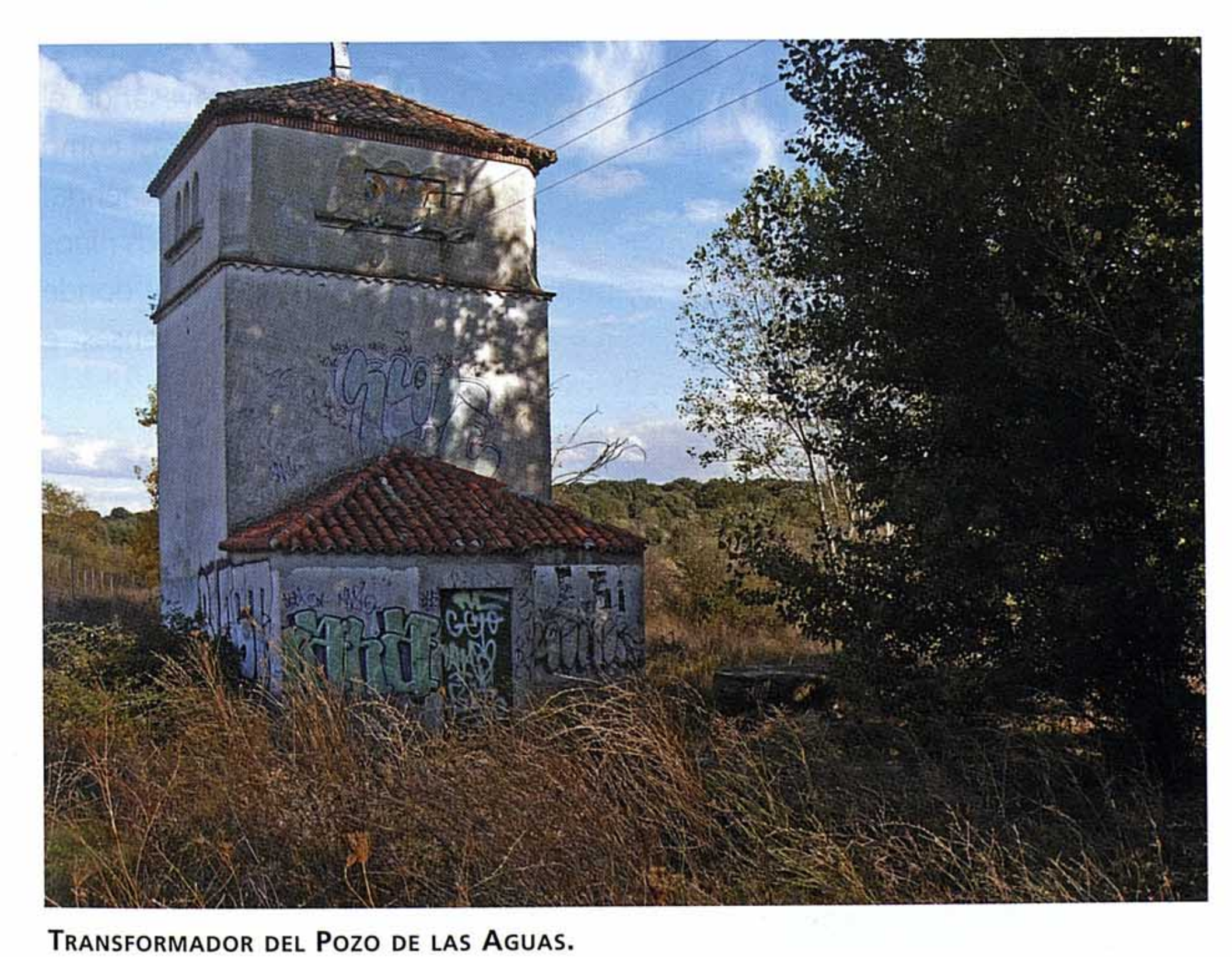
Tu cerro engalanado,
lleno de ropa,
¡qué ropa recién lavada!
abajo, moza con moza
de sus amores hablaban

Igualmente cerca del pueblo, aunque bastante menos frecuentados, se utilizaban para lavar las aguas del Pocito de San Roque y de Noria Berruga. Algo más alejado del pueblo, se acudía al Barranco del Tomillarón, al otro lado de la actual autovía A-6, donde se encuentran diversos arroyos de la cuenca del río Manzanares. En verano era frecuente que las lavanderas se acercaran a lugares como el Molino de La Hoz y el Puente del Retamar a orillas del río Guadarrama donde, con más espacio para tender a secar, se lavaba la lana de los colchones. Aún se podían pescar en el río barbos, bogas y anguilas, como recoge el historiador Juan Ortega Rubio en 1921 en su obra póstuma *Historia de Madrid y de los Pueblos de su Provincia*.

Desde los pozos construidos en el Barranco del Tomillarón, que empezarían a conocerse como Pozos de Las Aguas, se conduce el agua potable a Las Rozas en 1923, llegando la acometida al Cerro de Las Palomas, en el barrio de Santa Ana y la Estación, para abastecer el depósito de aguas situado en el lugar del actual colegio C.E.I.P. Siglo XXI.

El agua, de gran calidad, llegaba a dos fuentes, la de Arriba o de Poli, situada en la actual avenida de La Coruña, muy cerca de la plaza de Madrid; y la de Abajo, en la calle Real a la altura de la plaza de la Cigüeña María. Eran tiempos en los que el alguacil y pregonero informaba cada día de las horas en que se daría. Empezaron así a ser menos frecuentes las largas filas de cántaros que esperaban su turno para ser llenados en el Caño en las épocas en que los pozos particulares de fincas y corrales quedaban cortos de agua.

Aspecto del lavadero situado en el Molino de la Hoz.



Transformador del Pozo de las Aguas.

Aspecto de uno de los Pozos de las Aguas.

Durante todo el primer tercio del siglo XX continuó la Gavia atravesando el pueblo y recogiendo las aguas de lluvia de las calles que a ella vertían, así como aguas no precisamente de lluvia que salían por los albañales de cada vivienda. A pesar de su presumible insalubridad, el arroyo era centro de juegos de los niños y niñas de entonces, construyendo presas de juguete en los arenales por donde discurría la Gavia, discurrir que se tornaba amenazador con lluvias intensas, e

Antiguo depósito de aguas.
Fotografía: Félix López

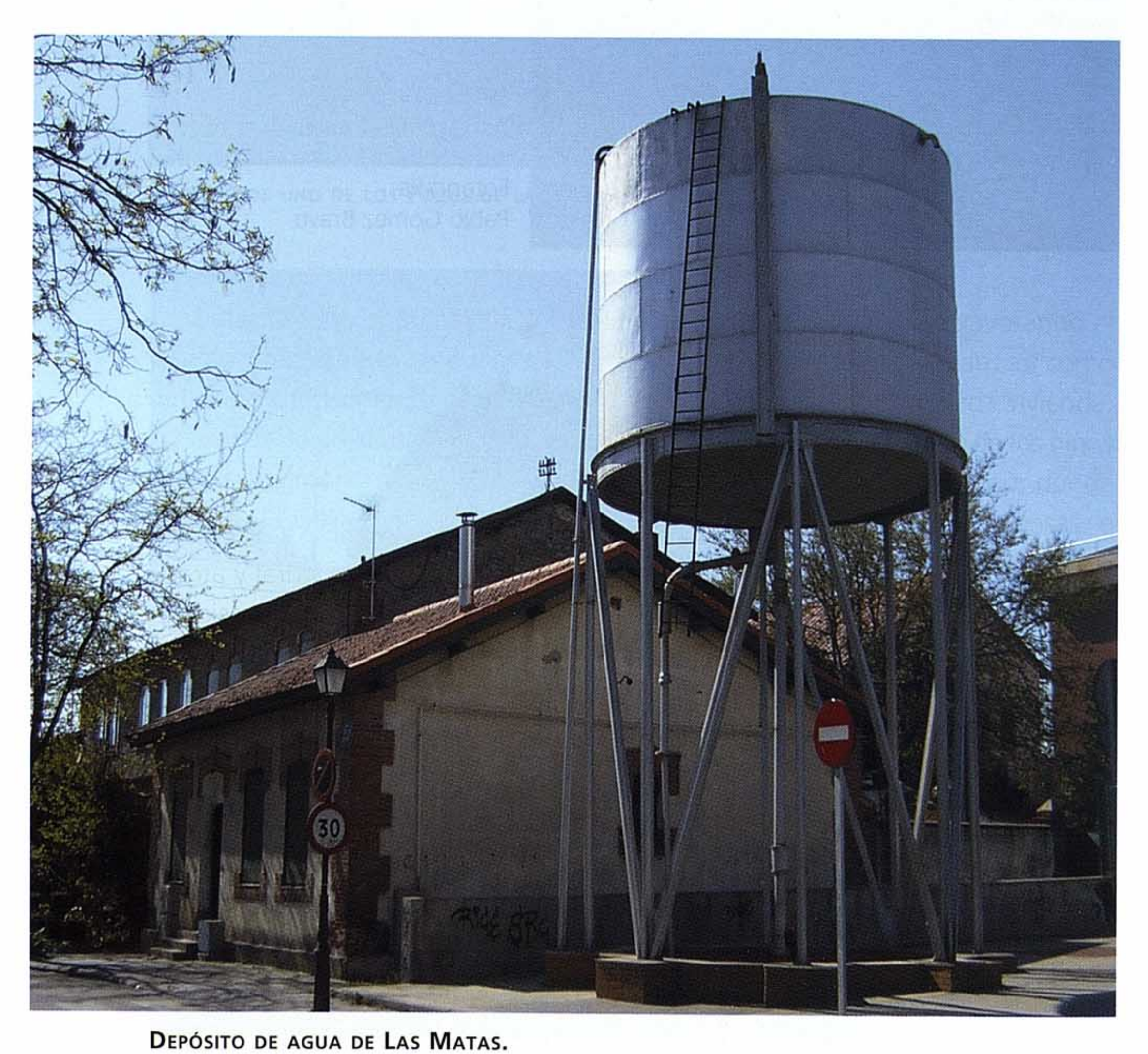
Aspecto de la calle Real a mediados de los años 70.
Fotografía:
Pablo Gómez Bravo

Aspecto de la calle Real después de ser asfaltada.
Fotografía:
Pablo Gómez Bravo

Vista actual de la Gavia a su paso por la calle Real.
Fotografía:
Pablo Gómez Bravo

incluso se desbordaba por encima de los puentes que la cruzaban. Por todo esto, entre 1933 y 1934, se procedió a tapar el arroyo, quedando como obra rememorativa el arroyo artificial que actualmente serpentea calle Real abajo.

También en el primer tercio del siglo XX se consolida como núcleo urbano el barrio de Las Matas, en torno a la Estación Clasificadora del ferrocarril, construida entre 1912 y 1914. Es cierto que el núcleo original de Las Matas ya figura como Matas Altas en mapas de 1755, y que se desarrolla en torno al antiguo parador de Matas Altas con casas de trabajadores empleados en la construcción de la carretera y el ferrocarril, así como de otras para servicio y atención de estos trabajadores. Pero es esta Estación Clasificadora la que origina definitivamente el núcleo, construyéndose un barrio entero para albergar a sus trabajadores. Inicialmente, el agua que abastecía la barriada provenía de pozos, hasta que se levantó el depósito que aún hoy se conserva en la entrada del barrio.



Depósito de agua de Las Matas.

POSGUERRA, URBANIZACIONES Y PISCINAS

El pueblo de Las Rozas fue terriblemente castigado por la Guerra Civil Española. De sus 375 casas, 270 habían sido totalmente destruidas, 92 habían quedado casi en ruinas y sólo 13 no habían sufrido daño alguno. No quedaba un solo vecino en el pueblo, habiéndose refugiado todos en Madrid u otros pueblos vecinos. Ante este panorama, el Ministerio de Gobernación crea la Dirección General de Regiones Devastadas para la reconstrucción de los pueblos arrasados por la guerra, entre ellos Las Rozas. Con un callejero de trazado más geométrico y funcional, aunque menos personal que el anterior, formado a fuerza del paso de los vecinos por caminos y veredas, los roceños afrontan una dura posguerra caracterizada climatológicamente por inviernos muy fríos, veranos muy calurosos y períodos de prolongada sequía, con las consiguientes restricciones. Las pocas lluvias de invierno, retenidas por los escombros y lo irregular del terreno, solían crear un gran encharcamiento, la laguna de La Iglesia, junto al sacro edificio, en el lugar que recuerda la ahora denominada calle Laguna.

Para 1946 ya se empiezan a entregar muchas de estas casas construidas por Regiones Devastadas, varias de las cuales están provistas de suministro de agua gratuito. Las obras de abastecimiento fueron parte de la reconstrucción del pueblo, si bien no llegó a darse servicio a la totalidad de las viviendas, y fueron los propios vecinos los que, a través del Ayuntamiento, realizaron los *enganches* a la red principal de abastecimiento.

El agua sigue siendo escasa y nuevas fuentes, como la ubicada por estas fechas frente a la iglesia de San Miguel, en la esquina de la actual calle de la Constitución con la calle Iglesia de San Miguel, abastecen la creciente demanda del municipio.

Al iniciarse la década de los 60 el pueblo comienza a prosperar. La cercanía a Madrid, que pasa a ser municipio limítrofe, y a la vez el carácter rural y atractivo de las Rozas hace que muchos madrileños establezcan su segunda residencia en esté término. Los nuevos núcleos urbanos y otros que siguen construyéndose aumentan esta demanda de agua, teniendo que abastecerse en muchos casos de las fuentes públicas.

En Las Matas se crea un nuevo barrio cuyo origen hay que buscarlo en el aumento del tráfico de ferrocarriles. En 1958 se crea la urbanización de Los Peñascales en torno al apeadero de Canto Negro, y en la década de los 60, al darse por concluidas las obras de Regiones Devastadas y con la aprobación del Plan General de Ordenación del Área Metropolitana en 1961, comienzan a proliferar nuevas urbanizaciones, como La Chopera en 1967, la del Nuevo Club de Golf en el mismo año, y la del Molino de la Hoz en el año 1973.

Este desarrollo urbanístico desproporcionado convierte a Las Rozas en un municipio de carácter residencial casi en su totalidad, pero las instalaciones deportivas, parques, jardines y demás zonas de recreo prácticamente no existen.

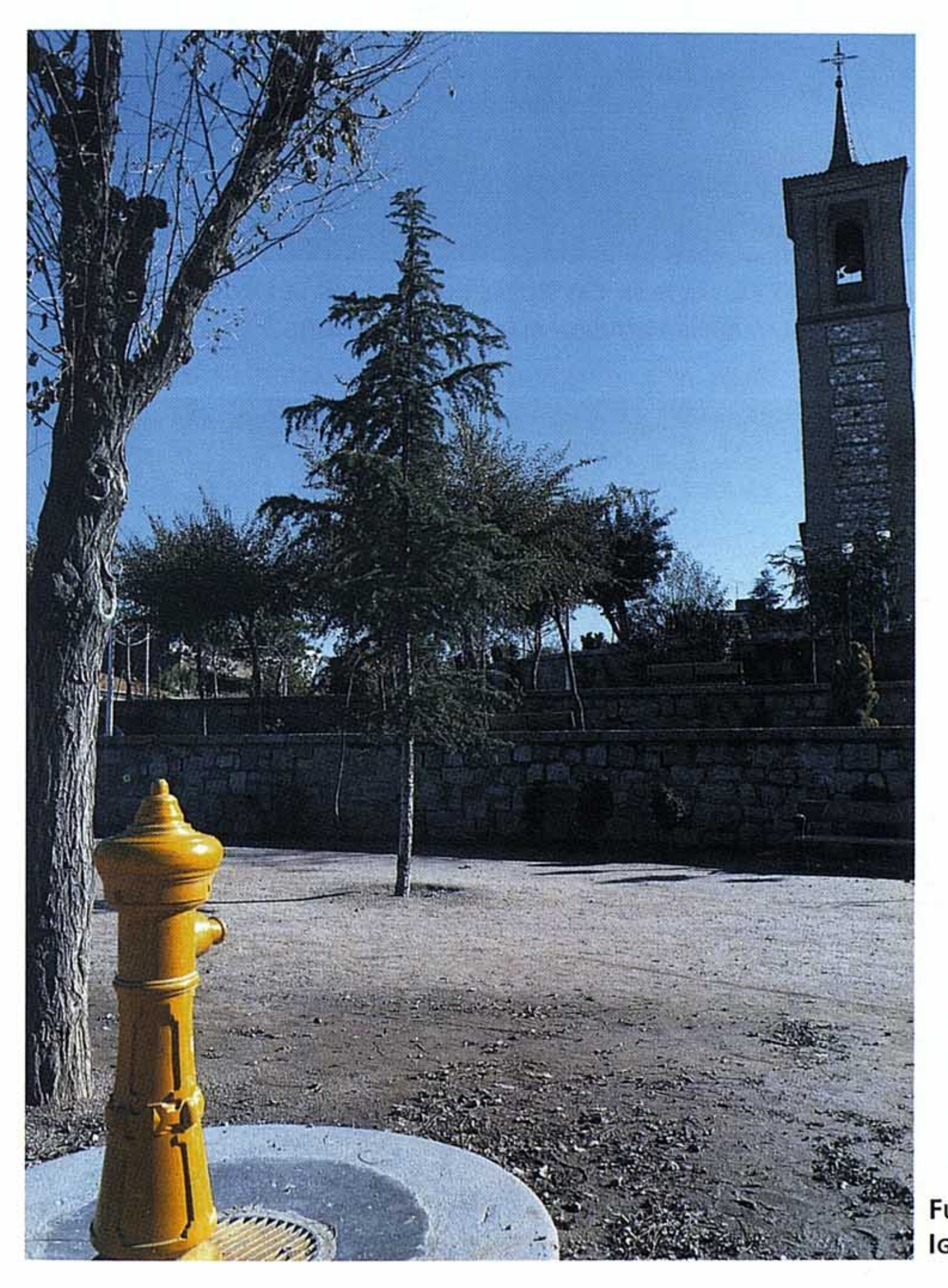
En 1960 se abre un local de esparcimiento con bodega, bolera, pista de baile y piscina, situado en la actual calle del Doctor Toledo, pero cuando la Junta Pro-

Fuente del pueblo en la calle de la Iglesia hacia 1960.

Enclave donde estaba situada la fuente de la Iglesia, en la actualidad.

vincial de Deportes solicita información en 1970 al Ayuntamiento sobre las piscinas del municipio, el alcalde tiene que responder: *...tengo que comunicarte que este Ayuntamiento no tiene piscina, había una privada pero desde hace tres o cuatro años no funciona....*

La contaminación de la Fuente del Caño, debido a las aguas negras que procedían de las viviendas próximas, hace caer en el abandono el que fuera durante tanto tiempo centro de la vida social roceña. Quedaría así para el recuerdo el dicho popular que aseguraba que el que bebía las aguas del Caño en Las Rozas se quedaba. La fuente y su pilón permanecieron en estado de total abandono hasta 1994. Posteriormente, el Ayuntamiento, ante la demanda de los roceños que no querían sepultar para siempre sus recuerdos, inicia su remodelación que quedaría concluida en 2002.



Fuente de la Iglesia en 1988.

El nivel de vida ha cambiado bastante en Las Rozas durante los últimos años. Aspecto interior de una de las piscinas municipales de invierno.

Vista aérea de la concentración de piscinas privadas en una zona del municipio.

EL CANAL DE ISABEL II

La demanda de agua crece con la población. El Ministerio de Obras Públicas aprueba, en junio de 1967, que el Canal de Isabel II sea responsable de abastecer a los núcleos comprendidos hasta el kilómetro 22 de la carretera Madrid-La Coruña, lo que hace que el suministro del casco urbano de Las Rozas pase a depender del Canal y no de la Junta de Abastecimiento de Agua de los Pueblos de la Sierra de Guadarrama, como lo hacía hasta entonces.

El hacer efectivo el decreto resulta apremiante, como lo confirman los escritos tanto de la Diputación Provincial de Madrid en 1968 reseñando la precariedad del servicio: *...debido a que el actual abastecimiento de agua al pueblo de Las Rozas se presta en condiciones verdaderamente precarias, deficiencias agudizadas en época veraniega por el considerable aumento de población...*; como por parte del propio Canal en 1969, destacando la poca garantía como abastecedores de los pozos del Tomillarón: *Dada la situación del suministro de agua a las Rozas de Madrid, que se abastecen de unos pozos con gran variación de caudales, y sobretodo con un estiaje muy pronunciado...*

Con esta situación de premura, y ante la demora burocrática en el suministro de agua por parte del Canal de Isabel II, la Confederación Hidrográfica del Tajo y el propio Canal convienen en julio de 1969 que el suministro inmediato a Las Rozas se haga, circunstancialmente, con aguas del "Abastecimiento de Agua a los Pueblos de la Sierra del Guadarrama" desde el citado punto kilométrico 22 hasta el depósito de agua del municipio. Esta obra quedará para el posterior y definitivo proyecto de abastecimiento del Canal que, además, se hace cargo de los gastos.

En estudios preliminares por parte del Canal en 1968 se calcula un consumo de 240 litros/segundo con horas punta de 570 l/s, planteando en principio como origen del suministro el complejo de la Estación de Tratamiento de Majadahonda, apoyado por las conducciones derivadas del Sifón del Pardo del Canal del Oeste. Dos años después se descartará definitivamente la parte correspondiente a la Estación de Majadahonda, debido a la insuficiencia de cota y, sobre todo, por no disponer de depósito regulador de origen y no ser continua la aportación de la conducción de Picadas a dicha estación.

El futuro proyecto del sistema Aulencia-Guadarrama habría de suponer la solución a este problema, pero hasta su realización se acuerda un abastecimiento parcial a un equivalente de 15.000 habitantes, con un caudal de 87 l/s y con 200 l/s de punta, siendo el origen del suministro, según el informe del propio ingeniero director del Canal: *...tomar agua de la arteria del Plantío en las pro-*

ximidades del Sifón del Pardo (Canal del Oeste) - junto al paso a nivel del F.C. Madrid-Irún - *con conexión entre ambas arterias de forma que pueda, en caso de emergencia, tomarse de cualquiera de las ramas del Sifón del Pardo.*

El trazado de la conducción sigue el marcado por las carreteras de El Plantío-Majadahonda y la de Majadahonda-Las Rozas hasta el depósito del pueblo, prolongando un ramal hasta enlazar con la tubería del abastecimiento de los Pueblos de la Sierra. La obra se presupuesta en casi 24 millones de pesetas a finalizar en ocho meses, aunque se considera prudente contar con un año para completarla.

Ante las buenas perspectivas, las demandas de agua no se hacen esperar y el Ayuntamiento solicita de las nuevas conducciones que pasarán por la Dehesa de Navalcarbón dos tomas para bocas de riego contra incendios y otra para el nuevo cementerio, además de para una piscina municipal y *...al mismo tiempo poder suministrar algunos chalets que hay en las proximidades...* La respuesta será negativa en el caso de piscinas y chalets, a la espera de planos. Igualmente ocurre con la promotora de la urbanización Colonia de Maracaibo, que interpela al Ayuntamiento para que la Compañía de Aguas que suministre al núcleo urbano de Las Rozas sea la que lo haga con la urbanización, pues los pozos abiertos en la zona han disminuido el caudal del pozo destinado a abastecer dicha urbanización. Queda patente el notable aumento de la demanda de consumo,

Aspecto de las obras de acometida y canalización de la red de distribución y saneamiento de Las Rozas en la década de los setenta. Fotografía: Félix López

debido al enorme desarrollo urbanístico que se está produciendo en esos últimos años.

A mitad de la década, el Canal de Isabel II comienza a hacerse cargo del abastecimiento al municipio, valorando la red de distribución en el casco del municipio como inaceptable y procediendo a efectuar una nueva instalación. Las obras del Sistema Guadarrama-Aulencia para aprovechar el caudal del río Guadarrama se hallan muy avanzadas y aunque este río alberga ya en sus márgenes numerosas poblaciones y urbanizaciones sin un emplazamiento conveniente para la ubicación de un embalse de gran capacidad, sí es adecuado el magnífico valle granítico del río Aulencia. Este embalse será el de Valmayor, al que alimenta además el Guadarrama mediante un túnel de trasvase de unos 5 km de longitud proveniente de la pequeña presa de derivación de Las Nieves. Con las bases sentadas de este Sistema Guadarrama-Aulencia, se termina de construir la presa de Valmayor en 1976, de la cual irán abasteciéndose progresivamente los pueblos de esta parte de la región, y entre ellos Las Rozas.

Pero aún quedan muchas cosas por hacer en torno al agua en el término municipal. La población de Las Matas carece hasta 1976 de abastecimiento y saneamiento, siendo el último pueblo de los alrededores de Madrid en sufrir enfermedades contagiosas por estas carencias (*El País*, 24/7/1976). En 1977 parte

Otro aspecto de las obras de acometida y canalización de la red de distribución y saneamiento de Las Rozas en la década de los setenta. Fotografía: Félix López

de este núcleo carece aún de un abastecimiento y alcantarillado proyectados en 1973, así como de una depuradora aún por construir.

El conjunto Majadahonda-Las Rozas se abastece desde el nudo de Majadahonda con agua del embalse de Valmayor, pero hay que recordar que Las Rozas se encuentra en la frontera de dos zonas de abastecimiento, la de CASRAMA al norte y la del Canal de Isabel II al sur. Al comenzar la década de los ochenta, se produce un período de sequía que origina cortes y restricciones en los núcleos de población a los que sirve el Consorcio de Aguas de la Sierra de Guadarrama, ante los bajos niveles de los tres embalses que gestiona (La Jarosa, Navacerrada y Navalmedio). Esto afecta de manera directa al conjunto de la población Las Matas-Los Peñascales, y el Ayuntamiento de Las Rozas... *solicita se envíe por parte del Canal de Isabel II el máximo caudal posible y a la mayor presión a la zona Norte-Las Matas...* o bien... *sea construida una impulsión en el depósito de Matas Bajas-Club de Golf...* Las dificultades por parte del Consorcio de la Sierra para los abastecimientos, con situaciones como la de nuestro municipio, dividido en dos en cuanto al suministro de agua, provocan finalmente la integración de CASRAMA en el Canal de Isabel II, según la Ley 17/1984, de 20 de diciembre, reguladora del abastecimiento y saneamiento de agua en la Comunidad.

En 1985, con las obras de la red de distribución en la zona de Las Matas-Los Peñascales en marcha, algunos problemas en el suministro por parte del Canal provocan el paso definitivo de independizar el abastecimiento del pueblo de Las Rozas del de Majadahonda, partiendo éste directamente del embalse de Valmayor a una conducción de la Zona Noroeste que refuerce este abastecimiento a Las Rozas. En estos primeros años de la década se procede también a la pavimentación de las calles, tanto en el casco urbano de Las Rozas como en el de Las Matas, procediendo igualmente a la iluminación y alcantarillado de las mismas.

El final de los ochenta y los primeros años noventa son tiempos de desarrollo urbanístico acentuado, proyectándose y construyéndose nuevos núcleos de población sin garantizar totalmente el abastecimiento de agua potable. Valga como ejemplo la noticia de prensa de septiembre y octubre del 88, en la que se señala el corte de suministros por parte del Canal de Isabel II a unas 600 familias de la urbanización Entremontes por no cumplir con los requisitos exigidos de adaptación de la red de la urbanización a la normativa, provocando el abastecimiento a partir de pozos de dudosa potabilidad.

A su vez, Las Rozas figura por primera vez en los presupuestos de la Comunidad de Madrid destinados al Plan Integral del Agua, lo que supone una importante inyección de cara a la mejora de estructuras básicas.

Todo ha cambiado mucho desde aquella descripción de Las Rozas que quedó archivada en el tomo V de las *Relaciones Histórico-Geográfico-Estadísticas de los pueblos de España*, ordenadas por Felipe II en 1575. Los grifos y monomandos de nuestras viviendas nos proporcionan agua las 24 horas del día, evitándonos su acarreo desde aquellas fuentes y pozos, a veces distantes. Podemos beber, asearnos, regar nuestros jardines, disfrutar en las miles de piscinas privadas y en las piscinas públicas que podemos encontrar en el municipio. Ya no parece el agua un bien escaso, sino un recurso eterno e inagotable. Ya no corren las aguas residuales por la superficie de las calles, sino por redes de alcantarillado ocultas a nuestra vista. Eso sí, en el río Guadarrama ya no nadan barbos, bogas y anguilas.

Ha sido mucho lo que se ha hecho en Las Rozas en el tema del agua, pero hemos entrado en una nueva época. Ahora tenemos que darnos cuenta de que el agua no es un recurso inagotable, y de que hay que cuidarla. Para ello es necesaria la colaboración ciudadana que entienda que en un mundo globalizado, en un mundo limitado que necesariamente deberá regular su crecimiento, es necesario compartir el agua.

Compartir implica respetar, cuidar y colaborar para ensuciar el agua lo menos posible. Nuestra calidad de vida ha mejorado mucho en los últimos 50 años, pero no ha ocurrido lo mismo con nuestro entorno. Nuestros ríos, como ya hemos visto, no se encuentran en su mejor momento. Por ello, y sabiendo que con la ayuda de otros municipios vecinos del Guadarrama, puede conseguirse, tenemos que implicarnos en un nuevo proyecto que permita recuperar nuestros cursos de agua para que barbos y bogas vuelvan a vivir en el Guadarrama. La calidad de nuestras aguas superficiales es un fiel reflejo de nuestra implicación en la protección del medio natural, en la conservación de la naturaleza que abraza nuestro municipio.

EL CICLO HIDROLÓGICO

Como se puede suponer, el agua no es un elemento estacionario sobre la Tierra, sino que circula por los mares, atmósfera y biosfera de una manera continua y a través de sus distintos estados físicos. De este constante movimiento surge la idea de ciclo hidrológico. Éste podemos definirlo como una secuencia de fenómenos por los que el agua pasa como vapor de la superficie terrestre a la atmósfera y regresa en forma líquida o sólida. De este modo, el agua se conserva y circula en la Tierra.

Esta idea, que puede resultar ahora tan intuitiva y perfectamente lógica, no fue entendida de la misma manera por filósofos y "científicos", que durante siglos interpretaban el ciclo de manera inversa, es decir, que el agua penetraba desde los océanos en la corteza terrestre, quedaba almacenada en las profundidades y ascendía hacia las partes altas de las montañas por el calor de la Tierra, surgiendo de nuevo en estas zonas en forma de ríos y manantiales. Pensadores tan sesudos como Tales de Mileto, Platón, Aristóteles e incluso Kepler y Descartes, ya en el siglo XVII, dedicaron extensos comentarios en sus obras para explicar el proceso.

Serían Perrault, Mariotte y Halley los que alumbraran el nacimiento de la Hidrología moderna. Pierre Perrault publicó en 1647 *De l'origine des fontaines* (Del origen de las fuentes), donde refleja que tras haber medido las precipitaciones en la cuenca alta del Sena y los aforos del río, llega a la conclusión de que el volumen de las precipitaciones era seis veces superior a las aportaciones del río. En las mismas fechas Mariotte realizó medidas similares en otros puntos de la cuenca, considerando además la infiltración profunda del agua.

Hasta ahora se podría explicar la parte terrestre del ciclo, pero no así la relativa a la atmósfera. El misterio fue desvelado hacia 1687 por Edmund Halley, astrónomo, astrofísico y naturalista, más conocido por el cometa que lleva su nombre. En estas fechas publicó el artículo titulado *Una Estimación de la Cantidad de Vapor Emergiendo fuera del Mar por el Calentamiento del Sol*, en el que detallaba los experimentos de evaporación realizados para calcular la cantidad de agua que podía evaporarse desde el mar Mediterráneo, estimando a la vez la cantidad de agua que el Mediterráneo recibe de sus 9 ríos más importantes. Dicha publicación concluyó que el mar evaporaba 3 veces más cantidad de agua de la que recibía a través de sus ríos.

Tras todo esto cabe señalar que, fuera de Europa y 500 años a. C., los chinos conocían el ciclo del agua. Kautilya, ministro de la dinastía india de los Maurya (382-184 a. C.), obligaba a medir la lluvia en un cubo colocado delante de los almacenes agrícolas.

FASES DEL CICLO HIDROLÓGICO

En el ciclo del agua podemos distinguir las siguientes fases:

Evaporación

El agua se evapora desde la superficie de los mares y océanos, así como desde los continentes a través de las masas de agua dulce y de la transpiración de los organismos. En este sentido los seres vivos, y especialmente las plantas, contribuyen con un 10% al agua que se incorpora a la atmósfera.

Precipitación

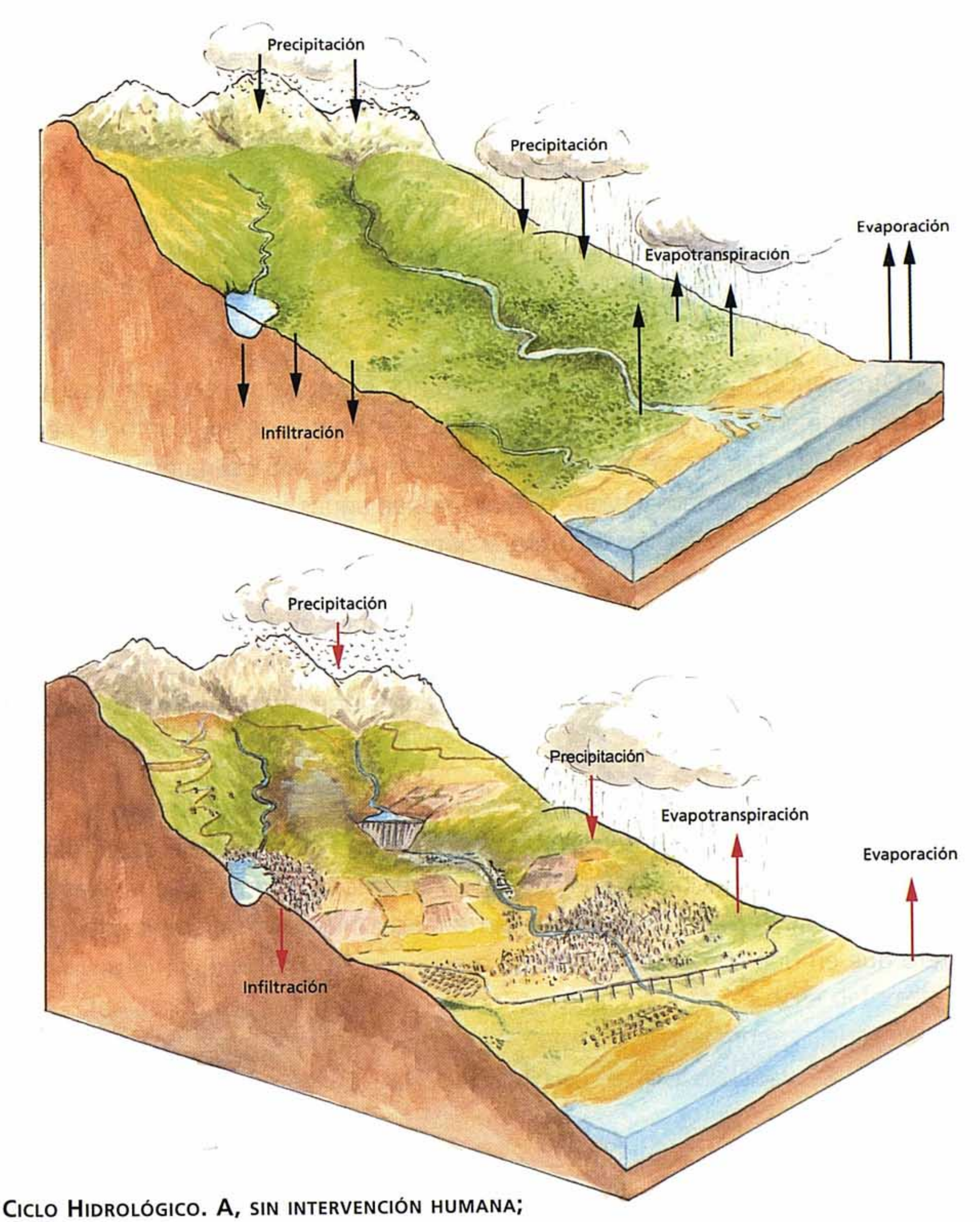
El agua en estado gaseoso es transportada por la circulación atmosférica, donde acaba por condensarse, dando lugar a la formación de nieblas y nubes que se traducirán en precipitaciones. La precipitación puede darse en estado líquido en forma de lluvia o en estado sólido en forma de nieve y granizo. Además, hay que tener en cuenta la condensación del vapor de agua sobre la superficie terrestre en forma de rocío o su congelación en forma de escarcha.

Escorrentía e infiltración

Una vez que el agua ha precipitado sobre el suelo discurrirá por la superficie a favor de pendiente (escorrentía), o bien penetrará en el suelo infiltrándose y pasando a ser subterránea (infiltración). El que acontezca uno u otro fenómeno depende de diversos factores, como la permeabilidad del sustrato, la orografía (una pendiente pronunciada dejará menos tiempo a una posible infiltración) y la cobertura vegetal. Tanto la escorrentía superficial como la circulación subterránea que se produce tras la infiltración alimentarán con sus aportes ríos, lagos y finalmente el agua llegará a los mares y océanos.

Evapotranspiración

Puede ocurrir que el agua que cae a la tierra y circula por los ríos vuelva a la atmósfera por evaporación directa o por la transpiración de las plantas (evapotranspiración). A través de este fenómeno casi las dos terceras partes del agua procedente de la precipitación vuelven a la atmósfera. La vegetación tiene por tanto un papel importantísimo en la regulación de este flujo de agua en una cuenca. Una cobertura arbórea bien constituida utiliza gran parte del agua que le llega devolviéndola a la atmósfera en forma de vapor a través de la transpiración, contribuyendo de esta forma a nuevas precipitaciones.



Ciclo Hidrológico. A, sin intervención humana; B, Con intervención humana.
En la ilustración A, la presencia de vegetación natural y masas arbóreas provoca una mayor evapotranspiración, así como mayor retención de agua en el suelo con el consecuente aumento de la infiltración. En B, el impacto de la acción del hombre se traduce en una reducción de las comunidades vegetales naturales, reduciendo la evapotranspiración y con ello el volumen de precipitaciones a nivel local. De la misma manera, la falta de vegetación provoca un aumento de las escorrentías, haciendo más escasa la infiltración hacia el acuífero, con la consiguiente disminución del movimiento de aguas subterráneas y desaparición de manantiales con origen en éstas. La sobreexplotación del recurso hidráulico, así como la regulación artificial de los cauces, trae a la vez consecuencias en las desembocaduras de los ríos y en la dinámica de costas.

Este ciclo lo completan cada año unos 40.000 Km^3 de agua, y es la base para la vida y mantenimiento de los ecosistemas, y de los recursos que utiliza el hombre para sus necesidades y actividades.

Todo este reservorio de agua está distribuido de manera desigual. Lógicamente la mayor parte del agua sobre la Tierra se halla en los océanos, que contienen el 97% del total. En forma de hielo, en glaciares y casquetes polares se encuentra el 2% de las reservas, repartiéndose el restante 1% entre lagos, ríos y corrientes, humedad del suelo, etc.

Otro concepto importante es el tiempo que el agua pasa en cada reservorio. Es denominado *Tiempo de residencia*, que se podría definir como el tiempo medio que una molécula de agua pasa en ese almacén. Podría estimarse entre 12 y 20 días para los ríos y hasta 10.000 años en aguas subterráneas, que empiezan a considerarse como aguas fósiles si quedan atrapadas en el subsuelo durante miles y miles de años. Estos períodos de tiempo pueden calcularse dividiendo el volumen del reservorio por la tasa a la cual el agua entra o sale del mismo, es decir, lo que tardaría en llenarse un reservorio que estuviera vacío, o a través de métodos isotópicos más precisos e interesantes en el caso de aguas subterráneas.

Los tiempos de residencia tienen gran interés para valorar los efectos de la contaminación de aguas de distinto origen, pues nos indican la capacidad de renovación y depuración natural del agua. Parece lógico pensar que un elemento contaminante es más susceptible de permanecer mucho más tiempo en un acuífero que en una corriente superficial.

RESERVORIOS DE AGUA	VOLUMEN DE AGUA (x 10^3 km^3)	PORCENTAJE DEL AGUA TOTAL	TIEMPO MEDIO DE RESIDENCIA
Océanos	1.338.000	96,5	3.200 años
Hielo polar y glaciares	24.064	1,74	16.000 años
Agua subterránea	23.400	1,70	100 - 10.000 años
Lagos de agua dulce	91	0,007	1 - 100 años
Lagos de agua salada	85	0,006	100 - 200 años
Suelo y humedales	28	0,002	280 días
Atmósfera	13	0,001	9 días
Ríos	2,1	0,0002	12 - 20 días

Volúmenes de agua, porcentajes estimados sobre el total de agua disponible y tiempos de residencia de los distintos reservorios existentes en el planeta Tierra (Gleick, 1996).

Por supuesto este ciclo hidrológico está planteado sin contar lo que supone la intervención del ser humano. Actualmente el desarrollo urbano asociado a su inseparable desarrollo agrícola e industrial provoca profundos impactos, a nivel de cantidad y de calidad, sobre el ciclo del agua. Es decir, se van a ver alterados tanto los volúmenes de agua que circulan y permanecen en los distintos momentos del ciclo como la condición en la que se encuentra el agua. Estos cambios inciden tanto en los posibles usos que se le pudiera dar al recurso hidráulico como en las funciones del sistema natural que depende del agua.

Las acciones que afectan a la calidad del agua se traducen en procesos de contaminación a diferentes niveles, que son:

- Contaminación del agua superficial por la descarga directa de afluentes.
- Contaminación del agua superficial por fuentes no puntuales o difusas.
- Contaminación del agua superficial por contaminantes atmosféricos.
- Contaminación del agua subterránea o superficial por desechos eliminados sobre o debajo de la tierra.

Asimismo, los volúmenes de agua que participan en el ciclo se ven alterados de diferentes maneras:

- Aumento de la escorrentía superficial y afluencia debido al desmonte, nivelación, pavimentación, drenaje o modificación de los cursos naturales del agua.
- Disminución del flujo de cauces naturales superficiales debido a la desviación, captación y distribución para el consumo.
- Reducción del fenómeno de evapotranspiración a causa de la deforestación y la disminución de la cubierta vegetal.
- Bajada del nivel freático por interferencia con la recarga de agua subterránea o sobreexplotación de los acuíferos.

El crecimiento de las poblaciones origina una demanda de recursos hídricos que provoca la captación, desviación o retención de los flujos de aguas superficiales, los cuales se ven reducidos significativamente, ya que no se devuelve de forma inmediata al ciclo del agua. Esta reducción trae consecuencias sobre el abastecimiento de las poblaciones que puedan desarrollarse aguas abajo, así como sobre el propio ecosistema asociado a los cursos de agua, y también contribuye a que la dilución de posibles contaminantes sea menor con la disminución del caudal.

Para satisfacer esta demanda son aprovechadas las aguas subterráneas, cuya sobreexplotación origina un descenso del nivel freático, así como una pérdida de calidad por posible aumento de la concentración salina, debido a la intrusión

de agua marina en las zonas litorales, o contaminación difusa producida, por ejemplo, por el uso excesivo de fertilizantes.

En cuanto a cantidad no se puede dejar de mencionar las cifras de demandas de agua que son del 60-70 % para fines agrícolas, entre el 15-25% para fines industriales, y del 8-14% para consumo humano (Barceló, 2008). Para producir 1 kg de maíz, cultivo que supone buena parte de los regadíos españoles, hacen falta 769 litros de agua. Contando con que cada hectárea puede producir unos 9.400 kg de maíz y que en 2005 se dedicaron en nuestro país 354.800 ha a este cultivo, sólo el maíz consume más de 2.500 Hm^3 de agua, cerca de los 3.600 que suponen el consumo anual de agua para abastecimiento.

La interferencia en el fenómeno de escorrentía e infiltración se hace patente en áreas urbanas, donde se produce una impermeabilización del suelo a través de techos de viviendas y pavimentado de calles, aumentando la escorrentía superficial y cortando la recarga de acuíferos, al no producirse procesos de infiltración. Igualmente, la eliminación de la vegetación y la alteración de los patrones naturales de drenaje provoca un aumento de la erosión y la sedimentación, así como ciclos más extremos de inundación-sequía en los cauces naturales afectados. La falta de cobertura vegetal hace, a la vez, que la escorrentía sea más rápida y el agua no pueda filtrarse de la manera adecuada para la recarga de los acuíferos subterráneos. Esta pérdida de vegetación incide directamente sobre los fenómenos de evapotranspiración e incluso sobre las condiciones climáticas locales, al tener un mayor contacto con vientos y radiaciones solares.

La incorrecta eliminación de los desechos urbanos e industriales origina un deterioro en la calidad del agua, que influye tanto en la conservación de los espacios naturales que dependen de ella, como en su aprovechamiento para diversos usos. La agricultura es el origen más importante de contaminación difusa en España. Esto se deriva del uso indiscriminado y abusivo de fertilizantes y productos fitosanitarios. Muchas de nuestras aguas subterráneas están contaminadas por los nitratos que proceden de la infiltración de los fertilizantes no absorbidos por los cultivos.

Queda claro, por tanto, que no se puede considerar el ciclo hidrológico como una serie de fenómenos que ocurren en un marco natural ideal, sino que debemos asumir que los humanos somos actores principales en estos procesos e influimos de manera decisiva en cada uno de ellos. No podemos pensar que actuamos al margen de los mecanismos de la naturaleza, pues formamos parte de ella y nuestras acciones, por leves o locales que parezcan, provocan, a modo de *efecto mariposa*, profundos cambios en procesos globales que han conservado hasta hace bien poco un perfecto equilibrio para mantener la vida en la Tierra.

La Tabla adjunta resume las interferencias causadas en el ciclo del agua por las actividades humanas a través de sus acciones derivadas.

ACTIVIDADES HUMANAS	ACCIONES DERIVADAS	EFECTOS SOBRE EL AGUA Y SU CICLO	
		CALIDAD	CANTIDAD
Agricultura	Captación y extracción de agua. Uso de fertilizantes y fitosanitarios.	Contaminación difusa de aguas superficiales y subterráneas.	Disminución del flujo en cauces superficiales. Bajada del nivel freático.
Desarrollo urbano	Captación y extracción de agua. Emisión de gases a la atmósfera. Ocupación del suelo (pavimentación, viviendas, etc.). Eliminación aguas residuales.	Contaminación de aguas superficiales y subterráneas por descarga directa de afluentes. Contaminación de aguas superficiales por contaminantes atmosféricos (lluvia ácida).	Disminución del flujo en cauces superficiales. Bajada del nivel freático. Aumento de escorrentía superficial y alteración de las redes de drenaje (riadas). Disminución de los procesos de evapotranspiración.
Industria	Captación y extracción de agua. Emisión de gases a la atmósfera. Eliminación aguas residuales.	Contaminación de aguas superficiales y subterráneas por descarga directa de afluentes. Contaminación de aguas superficiales por contaminantes atmosféricos (lluvia ácida).	Disminución del flujo en cauces superficiales. Bajada del nivel freático.

INTERFERENCIAS CAUSADAS POR LAS ACTIVIDADES HUMANAS SOBRE EL AGUA Y SU CICLO.

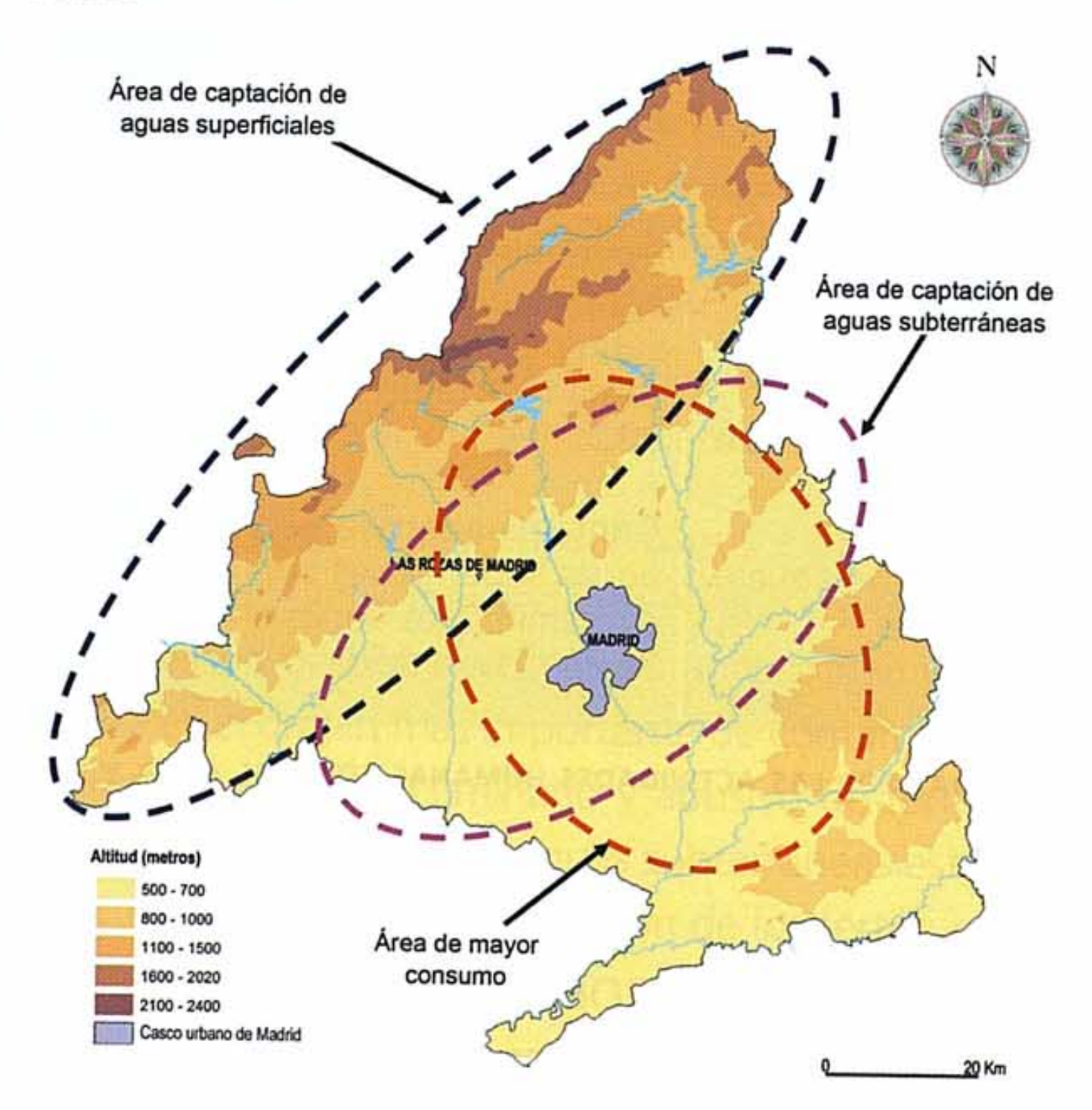
EL PAISAJE DEL AGUA EN LA COMUNIDAD DE MADRID

Para intentar comprender los procesos hidrológicos en el municipio de Las Rozas, debemos situarnos antes en las condiciones que lo enmarcan en la Comunidad de Madrid. De los más de 4.000 Hm^3 de precipitaciones que caen en un año medio en la región, casi tres cuartas partes son evaporadas desde el terreno y las plantas por evapotranspiración. Mediante una sencilla operación matemática, deducimos que la cantidad de agua que correrá por ríos y arroyos y recargará los acuíferos subterráneos es de unos 1.000 Hm^3, es decir, el agua disponible para extraer de embalses y pozos.

En este aspecto la región de Madrid ofrece dos espacios bien diferenciados en cuanto a cantidad y tipos de recursos hídricos aprovechables, que coinciden lógicamente con su régimen de lluvias, carácter de los ríos y tamaño de los acuíferos: la sierra y el llano.

La Sierra de Guadarrama, con altitudes superiores a los 2.000 m, retiene las nubes cargadas de humedad, lo que se traduce en un volumen de precipitaciones del área serrana de entre 700 y 2.000 mm al año. El agua superficial es abundante en ríos y arroyos, pero resulta escasa la de carácter subterráneo, ya que los materiales graníticos carecen de posibilidades de acumulación.

El llano es mucho más seco, con precipitaciones en torno a los 300-600 mm anuales, y cursos fluviales que recogen las corrientes que bajan de la Sierra, propiciando un fuerte carácter estacional en estos cursos. A su vez, la permeabilidad de los terrenos, junto con los materiales de arrastre por erosión de la zona guadarrámica, dotan a esta área baja de importantes recursos a nivel de acuífero subterráneo.



Mapa del paisaje del agua en la Comunidad de Madrid.

Ahora sólo tenemos que situar nuestro municipio de Las Rozas en la geografía hidrológica madrileña e intentar comprender, con la ayuda del siguiente capítulo, cómo se desarrolla el ciclo hidrológico justo al lado de nuestras casas.

EL CICLO HIDROLÓGICO EN LAS ROZAS

Este apartado pretende acercar todos estos procesos al municipio de Las Rozas en el que vivimos. Vamos a comprobar cómo se desarrolla el ciclo hidrológico en nuestro entorno inmediato y cómo nos convertimos en protagonistas, y no sólo en espectadores, de uno de los fenómenos vitales para el mantenimiento de la vida en La Tierra. Intentaremos descubrir cómo se suceden las diferentes fases del ciclo, desde la precipitación, hasta la escorrentía e infiltración, pasando por la evapotranspiración que se produce a partir de la cobertura vegetal.

Pero antes que nada es necesario situar a Las Rozas en su contexto climatológico, ya que la precipitación o la evaporación ligada a la exposición al Sol son definitivas para los procesos hídricos.

La Península Ibérica, por la posición latitudinal en la que se encuentra, tiene un clima mediterráneo, pero también está influenciada por un clima de tipo atlántico marítimo en su costa oeste y otro de carácter semiárido en el sureste.

Los centros de acción que dominan la Península son el anticiclón de las Azores, con aire tropical marítimo y la depresión de Islandia, que canaliza las borrascas del frente polar y trae aire polar marítimo. Otros centros de acción menores son la depresión de Liguria (situada entre las costas de Italia y la isla de Córcega), que se forma en otoño; el anticiclón siberiano, que actúa en invierno y permite la aparición de anticiclones locales en el centro de la península; y la borrasca subsahariana, que actúa en verano, enviando aire cálido tropical continental a la Península.

De forma general, podemos decir que la influencia del anticiclón de las Azores, cuando se desplaza hacia el norte, provoca prolongadas sequías veraniegas y frecuentes olas de calor, debido a la llegada de masas de aire cálido desde el norte de África, quedando sólo la franja cantábrica bajo la influencia de zonas templadas, lloviendo aquí con más frecuencia. La depresión de Islandia desplaza hacia el sur los frentes y borrascas de las zonas templadas, y trae lluvias suaves y frías, que hacia mitad del invierno, con la estabilización de la atmósfera por la aparición de anticiclones térmicos en el centro del territorio, hacen que el tiempo dominante en invierno sea frío y seco.

A estas condiciones climáticas ligadas a la latitud se suman las condiciones derivadas del relieve peninsular, que hacen que el clima mediterráneo dominante manifieste una marcada tendencia a la continentalidad, tanto por una altitud media elevada, como por la orientación de los sistemas montañosos. Esta continentalidad está agravada por la deforestación y las actividades humanas.

En definitiva, el clima de nuestro municipio de Las Rozas, en el centro peninsular, es de tipo mediterráneo continental, influenciado por la Sierra de Guadarrama, que provoca una disminución de precipitaciones y aumento de temperaturas hacia el sur. Así, podemos hablar de inviernos frescos y veranos cálidos con una temperatura media anual de 14,1° C, medias anuales de máximas de 20,5° C y medias anuales de mínimas de 8,0° C. De acuerdo con los datos de la Estación Majadahonda "Mapfre" para el periodo 1974-1996, hay que considerar un período frío de noviembre a abril (temperatura media mensual de mínimas absolutas ≦ 0° C), con julio y agosto como meses realmente cálidos (temperatura media mensual de máximas ≧ 30° C). Las precipitaciones presentan una media anual de 528 mm, siendo el mes más lluvioso octubre (64 mm), seguido de diciembre (61 mm), noviembre (59 mm), y abril (57 mm). Es decir, las lluvias son más abundantes en otoño y primavera, y más escasas en el verano (23 y 24 mm para julio y agosto respectivamente).

ESTACIÓN METEREOLÓGICA MAJADAHONDA "MAPFRE"			
Nombre	Majadahonda "Mapfre"	**Clave**	31930
Altitud	725 m	**Latitud**	40° 27´
Longitud	03° 51´	**Provincia**	28
Años precipitación	23	**Año inicio**	1974
Año final	1996	**Años temperatura**	21
Año inicio	1974	**Año final**	1996

Características de la estación meteorológica Majadahonda "Mapfre".

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL												
Ene	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dic**	**Anual**
5.6	6.9	9.6	11.9	15.5	20.5	24.4	23.7	20.3	14.4	9.4	6.6	14.1

PLUVIOMETRÍA MEDIA MENSUAL												
Ene	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dic**	**Anual**
44	45	33	57	52	32	23	24	33	64	59	61	528

Datos meteorológicos de la estación Majadahonda "Mapfre" 1974-1976

Se puede deducir que el estudio de las precipitaciones es básico para cualquier acercamiento a la hidrología de una región o de un municipio como en nuestro caso, puesto que constituye la principal, si no la única, entrada de agua a una cuenca. Entendemos por precipitación cualquier agua meteórica recogida sobre la superficie terrestre, es decir, básicamente lluvia, nieve o granizo, pudiendo considerar también el rocío y la escarcha, que en algunas regiones pueden aportar cantidades apreciables a la precipitación total. Según su origen pueden distinguirse tres tipos de precipitaciones:

- **Ciclónicas**. Provocadas por los frentes asociados a una borrasca, que constituyen la mayor parte de los volúmenes de precipitación de una cuenca.
- **De convección**. Formadas por el ascenso de bolsas de aire caliente. Son las tormentas de verano.
- **Orográficas.** Cuando masas de aire húmedo ascienden al encontrarse una barrera montañosa.

La unidad de medida para cuantificar esas precipitaciones es el milímetro, equivalente al litro/m^2, que es la terminología más habitual en los medios de comunicación. Un litro repartido en una superficie de 1 m^2 origina una lámina de agua de 1 mm. Para los datos meteorológicos que se señalaban anteriormente, 512 mm de media anual supone que en un año se formaría una lámina de agua de 51,2 cm (512 mm) de altura en un recipiente de 1 m^2 de base.

Según lo anterior, cualquier recipiente de paredes rectas nos permite medir la lámina de agua formada, si bien para poder leer con más precisión el agua recogida (± 0,1 mm de error) se utilizan los pluviómetros. El pluviómetro tradicional es un recipiente con una superficie captadora circular y una probeta graduada adaptada al pluviómetro que nos da la lectura directamente en unidades de longitud (mm). El pluviómetro tipo Hellman, que es el utilizado por el Instituto Nacional de Meteorología, tiene un recipiente colector en forma de embudo que vierte en un jarro de boca estrecha, para evitar la pérdida de agua por evaporación. Las mediciones se realizan diariamente y ningún objeto o construcción, tal como otros instrumentos, casas, árboles, debe estar a una distancia menor a cuatro veces su propia altura. Se pueden apreciar pequeñas variaciones en las medidas que dependen del tamaño del recipiente y de la altura desde el suelo, por lo que cada país fija estos parámetros. En el caso de España la boca del pluviómetro es de 200 cm^2 y debe estar a 1,5 m de altura sobre el suelo.

Estación meteorológica. A la derecha, pluviómetros Hellmann (los otros son un pluviómetro Davis y un pluviógrafo Thies).

¿Y si nieva en vez de llover? Para ello existen los nivómetros, constituidos por una superficie a modo de mesa que, con una escala en centímetros, mide el espesor de nieve caída. Aproximadamente 1 cm de nieve origina 1 mm de agua, aunque esta relación pueda variar dependiendo de la densidad de la nieve. En zonas de alta montaña se instalan postes con marcas visibles a gran distancia, como los que vemos en algunas carreteras de montaña con franjas rojiblancas que marcan el espesor de la nieve y delimitan las carreteras.

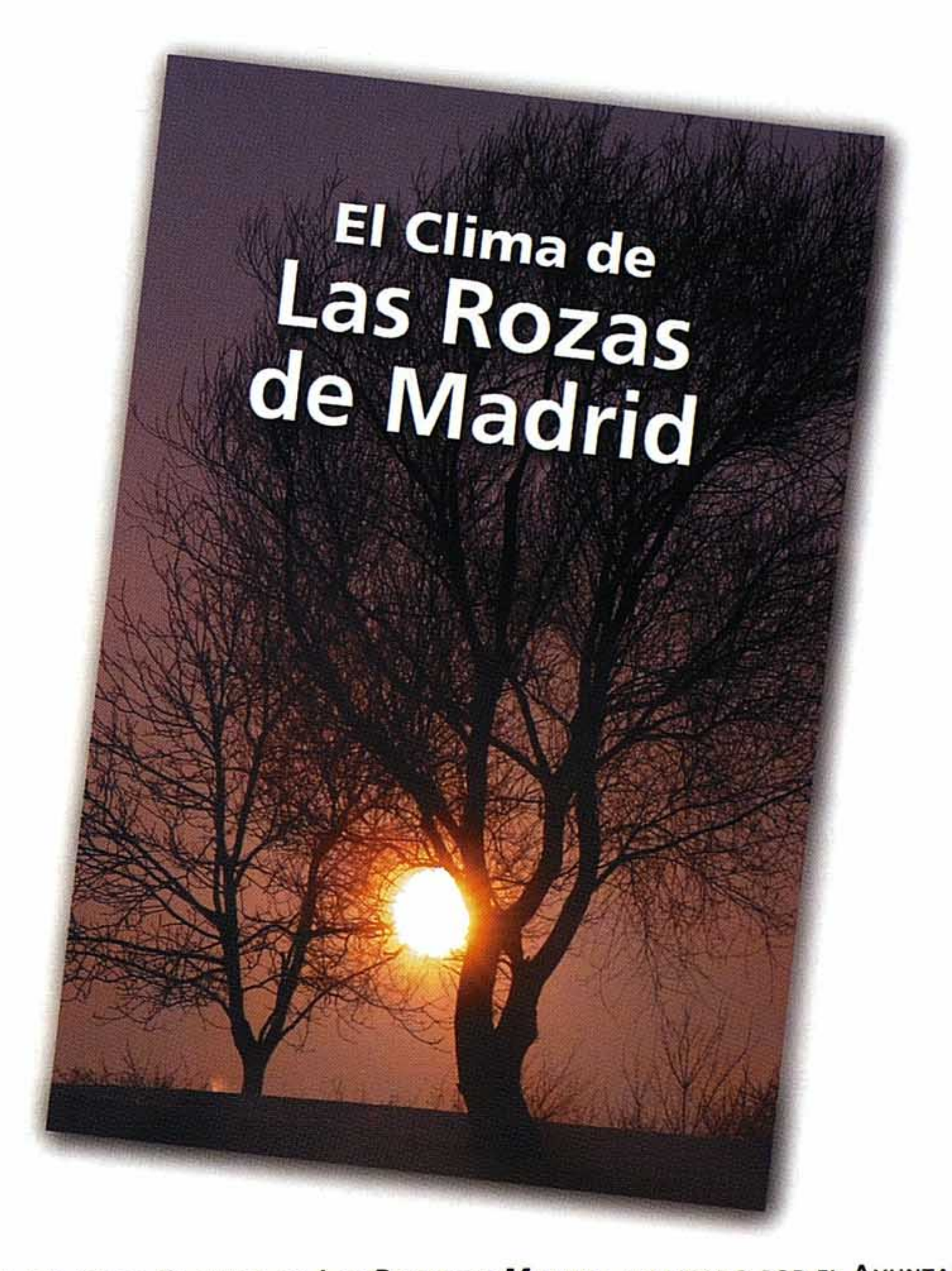
Los registros diarios de los pluviómetros pueden ser suficientes, pero en muchas ocasiones resulta fundamental un registro continuo en el que sepamos el inicio, la duración y la intensidad de la precipitación. Por ejemplo, podemos registrar una precipitación de 100 mm en un día, pero la interpretación del fenómeno varía si se ha producido sólo en una hora, lo que podría provocar una importante avenida de agua, o a lo largo de todo el día. Para esto se usan los pluviógrafos, que básicamente consisten en asociar un registro al propio pluviómetro. El Instituto Nacional de Meteorología define la intensidad de lluvia según un criterio de acumulación en una hora.

INTENSIDAD DE LLUVIA	ACUMULACIÓN EN 1 HORA
Débil	Menos de 2 mm
Moderada	Entre 2,1 y 15 mm
Fuerte	Entre 15,1 y 30 mm
Muy fuerte	Entre 30,1 mm y 60 mm
Torrencial	Más de 60 mm

Definiciones de la intensidad de la lluvia en función de la acumulación del agua producida en una hora.

Podemos estimar la precipitación máxima diaria en nuestro municipio a través de los datos de las distintas estaciones meteorológicas que mejor se ajusten a la zona. Según el estupendo libro editado por el Ayuntamiento, titulado *El Clima de Las Rozas de Madrid*, en la serie histórica de datos de 1975 a 2005 el valor medio de máxima pluviosidad corresponde al mes de noviembre en el que se registra una pluviosidad media de 22,72 mm.

Por el interés que este dato de intensidad de lluvia supone para el desarrollo de obras públicas, el Ministerio de Fomento dispone de la publicación titulada *Máximas lluvias diarias en la España peninsular*, en la que a través de un mapa de isolíneas (líneas que unen los puntos de igual pluviosidad media) y unas



Portada del libro *El clima de Las Rozas de Madrid*, publicado por el Ayuntamiento en su serie dedicada al medio ambiente. En él pueden encontrarse abundantes datos y bibliografía sobre el clima de nuestro municipio.

tablas de equivalencia podemos calcular la máxima intensidad de lluvia en 24 horas con su período de retorno. Este período de retorno, entendido como el número de años en que se espera que se repita un fenómeno, en este caso una determinada intensidad de lluvia diaria, es uno de los parámetros a tener en cuenta cuando se construye cualquier tipo de obra.

PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA								
Periodo de retorno en años	2	5	10	25	50	100	200	500
Precipitación máxima total diaria (mm)	38,8	50,9	59,8	72,1	81,1	91,3	102,2	117,0

Periodos de retorno para diversas precipitaciones máximas en Las Rozas.

Es decir, una precipitación máxima diaria de 50,9 mm se podría repetir cada 5 años y una precipitación de 91,3 mm podría hacerlo cada 100 años.

Para conocer de forma aproximada el caudal que producirá una precipitación hay que tener en cuenta la intensidad de la lluvia y la superficie de la cuenca del territorio. Hablamos del llamado *método racional*, válido para cuencas lo suficientemente pequeñas como para que la precipitación sea homogénea en espacio y tiempo, y entendiendo como cuenca el conjunto de puntos del territorio en los que la parte de agua de lluvia, drenada por escorrentía superficial, sale por un mismo punto de la red fluvial.

La expresión de cálculo sería la siguiente:

$$Q = \frac{I \cdot A}{3,6}$$

Q = Caudal (m^3/seg.)
I = Intensidad de la lluvia (mm/hora)
A = Superficie de la cuenca (km^2)

Este caudal es resultado de que toda el agua precipitada produce escorrentía, lo que no es real porque una parte del agua se infiltra en el suelo. El cálculo de la cantidad de agua que produce escorrentía resulta complicado, por lo cual para una primera aproximación aplicaríamos un coeficiente de escorrentía, C, con lo que la fórmula pasaría a ser:

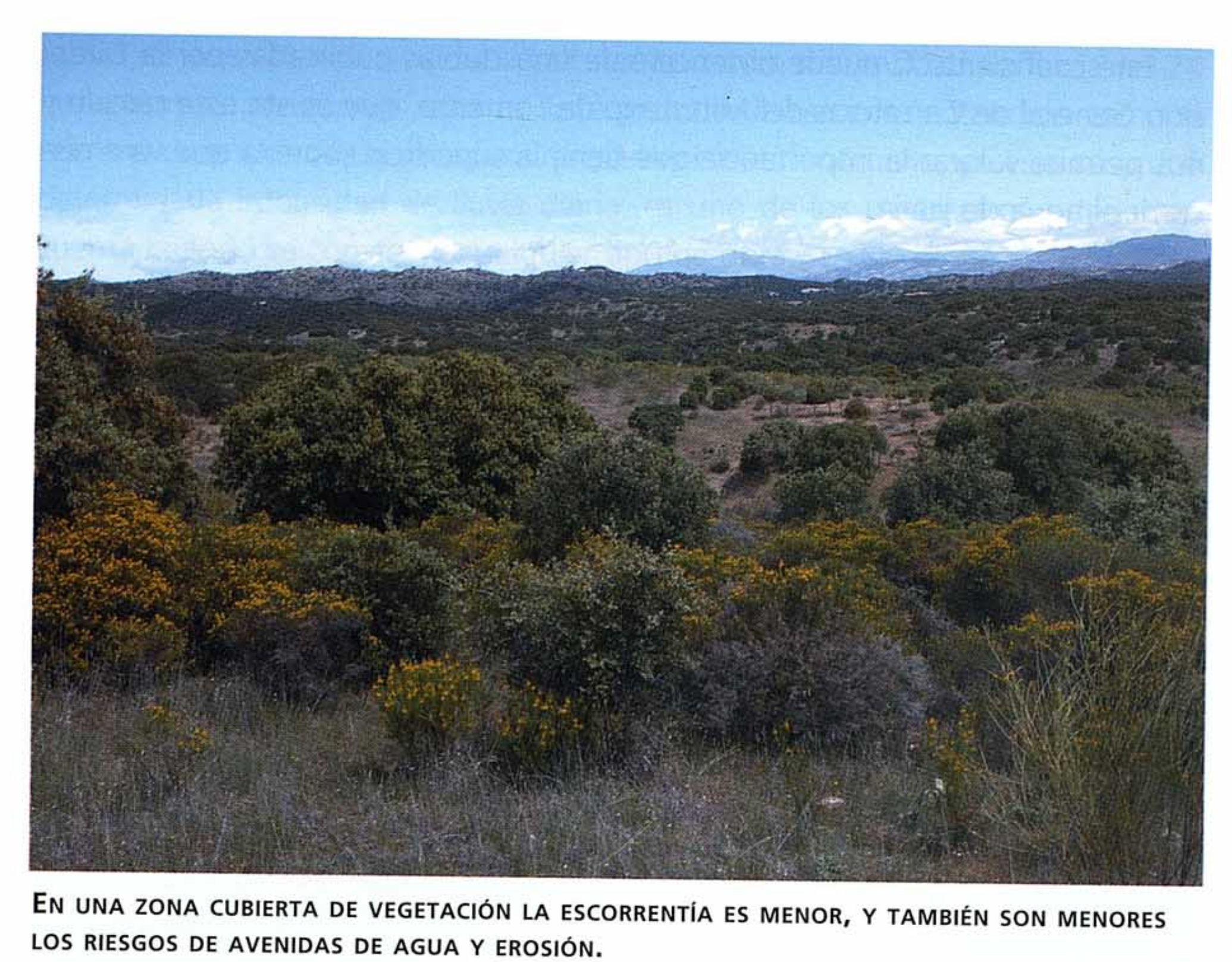
$$Q = \frac{I \cdot A \cdot C}{3,6}$$

Este coeficiente C puede obtenerse de unas tablas publicadas por la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento, que ajusta este cálculo y nos permite valorar la importancia que tiene la superficie sobre la que va a discurrir el agua de lluvia.

TIPO DE SUPERFICIE	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA (*)
Pavimentos de hormigón y bituminosos	0,70 a 0,95
Pavimentos de macadam	0,25 a 0,60
Adoquinados	0,50 a 0,70
Superficie de grava	0,15 a 0,30
Zonas arboladas y bosque	0,10 a 0,20
Zonas con vegetación densa:	
Terrenos granulares	0,05 a 0,35
Terrenos arcillosos	0,15 a 0,50
Zonas con vegetación media:	
Terrenos granulares	0,10 a 0,50
Terrenos arcillosos	0,30 a 0,75
Tierra sin vegetación	0,20 a 0,80
Zonas cultivadas	0,20 a 0,40

Coeficientes de escorrentía (C) estimados para diferentes superficies.
(*) Los valores más elevados para cada tipo de superficie corresponden a las pendientes más fuertes y a los suelos más impermeables.

Es fácil de adivinar que un coeficiente de escorrentía menor supone que el caudal de agua superficial sea también menor, lo que quiere decir que el fenómeno de infiltración sería más alto. Queda patente que el territorio de una cuenca con amplias zonas urbanizadas, es decir, con buena parte de su superficie correspondiente a "Pavimentos de hormigón y bituminosos", favorecerá la escorrentía superficial sobre la infiltración, con el consiguiente déficit de recarga del acuífero, así como mayor riesgo de avenidas de agua y erosión. En el otro extremo tendríamos "Zonas con vegetación densa" de coeficiente muy bajo y más favorables para los procesos de infiltración.



En una zona cubierta de vegetación la escorrentía es menor, y también son menores los riesgos de avenidas de agua y erosión.

En los suelos desprovistos de vegetación, como son las zonas de cultivos abandonados, la escorrentía es mayor, y también son mayores los riesgos de avenidas de agua y erosión.

En el municipio de Las Rozas basta comparar, a la vista de las fotos aéreas, las características de las dos cuencas hidrográficas que definen el término municipal, la del Manzanares al este de la A-6 y la del Guadarrama al oeste, para intuir el diferente comportamiento que tendrá la lluvia cuando caiga en una u otra zona.

Después de la precipitación y la escorrentía-infiltración, el tercer fenómeno que podríamos ser capaces de cuantificar en nuestro entorno es el de la evapotranspiración. En realidad, estamos considerando conjuntamente dos procesos, la evaporación, fenómeno físico por el que el agua pasa de líquido a vapor, y la transpiración, fenómeno biológico por el que las plantas pierden agua hacia la atmósfera. Como sería muy complicado medirlos por separado, y como en general lo que importa es la cantidad de agua que pasa hacia la atmósfera, se considera el término que reúne ambos, la evapotranspiración.

La unidad de medida, al igual que para las precipitaciones, es el mm, es decir la altura en milímetros de la lámina de agua que se evaporaría de un recipiente con 1 m^2 de superficie. Resulta fácil imaginárselo en el caso de la evaporación en un lago u otra lámina de agua, pero no así al hablar de la evapotranspiración de un terreno con vegetación. A los factores que influyen en la evaporación desde una lámina de agua, como insolación, salinidad o temperatura del agua, se suman otros como la velocidad del viento, el tipo de suelo, grado de humedad del suelo, tipo de planta, variaciones estacionales e interanuales en la vegetación, etc.

Para hacer cuantificable el fenómeno de la evapotranspiración se suele utilizar el concepto de evapotranspiración potencial (ETP), introducido por Thornthwaite en 1948, definido como la máxima cantidad de agua que puede evaporarse desde un suelo completamente cubierto de vegetación, que se desarrolla en óptimas condiciones, y en el supuesto de no existir limitaciones en la disponibilidad de agua. Frente a esto, existiría una evapotranspiración real (ETR), que es la que se produce realmente en las condiciones concretas de cada caso. Asociados a los pluviómetros, los tanques de evaporación pueden medir el poder evaporante de la atmósfera, así como los lisímetros, recipientes enterrados y cerrados lateralmente, que combinan los valores de infiltración, almacenamiento de humedad en el suelo y precipitaciones, para estimar unos valores bastante aproximados de ETR.

La ETR es un dato difícil de precisar por las numerosas circunstancias que pueden intervenir, utilizando por tanto los cálculos de ETP que consideran temperaturas y horas de radiación solar. En agricultura, donde la ETP adquiere enorme

importancia, se introducen factores correctores o coeficientes de cultivo que aproximen esta ETP a la ETR. Para aproximarnos a los valores de evapotranspiración en nuestro municipio usaremos el método de Thornthwaite, muy utilizado para establecer parámetros óptimos de riego en jardinería y agricultura, de cuyos datos se puede disponer a nivel nacional en el actual Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. La estación de referencia, como para los anteriores datos meteorológicos, es la de Majadahonda "Mapfre".

ESTACIÓN METEOROLÓGICA MAJADAHONDA "MAPFRE". CLAVE 31930												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
11.3	15.3	30.9	46.1	75.7	115.2	151.2	135.1	94.6	52.8	24.2	13.9	766.3

Evapotranspiración potencial (ETP) media mensual según el método de Thornthwaite, estimada para Las Rozas.

Comparando estos datos con los de precipitación media mensual se pueden extraer los períodos de déficit hídrico, como la diferencia entre la precipitación media acumulada y la ETP. Para resultados negativos las plantas tendrían falta de agua y para positivos éstas dispondrían de agua suficiente para realizar sus funciones vegetativas. Como cabría esperar, el déficit hídrico se produce en primavera, otoño y sobre todo verano, siendo únicamente invierno la estación excedentaria. Hay que recordar que el método de Thornthwaite considera precipitaciones pero también insolación, para explicar el invierno como excedente a pesar de no ser la estación con más volumen de precipitaciones. Este análisis debería inclinar la balanza hacia prácticas de xerojardinería, utilizando plantas autóctonas adaptadas a la climatología de nuestra región, en lugar de diseñar jardines más propios de latitudes centroeuropeas donde el clima es más húmedo.

Hemos contado como el agua circula en la biosfera en su ciclo hidrológico, como el ser humano interviene en él y, por decirlo de alguna manera, cuál es nuestro ciclo local del agua. Pero nuestra relación con el agua es más íntima, ya que entra en nuestras viviendas, está en contacto con nosotros y vuelve a salir, dando origen a un ciclo urbano o doméstico que vamos a tratar en el siguiente capítulo.

MESES	PRECIPITACIÓN (mm)	ETP (mm)	EXCESO (mm)	DÉFICIT (mm)
Enero	44	11,3	32,7	----
Febrero	45	15,3	29,7	----
Marzo	33	30,9	2,1	----
Abril	57	46,1	10,9	----
Mayo	52	75,7	----	23,7
Junio	32	115,2	----	83,2
Julio	23	151,2	----	128,2
Agosto	24	135,1	----	111,1
Septiembre	33	94,6	----	61,6
Octubre	64	52,8	11,2	----
Noviembre	59	24,2	34,8	----
Diciembre	61	13,9	47,1	----
ANUAL	**528**	**766,3**	**----**	**238,3**

Periodos de déficit hídrico (diferencia entre la precipitación media acumulada y la ETP) calculados para las Rozas.

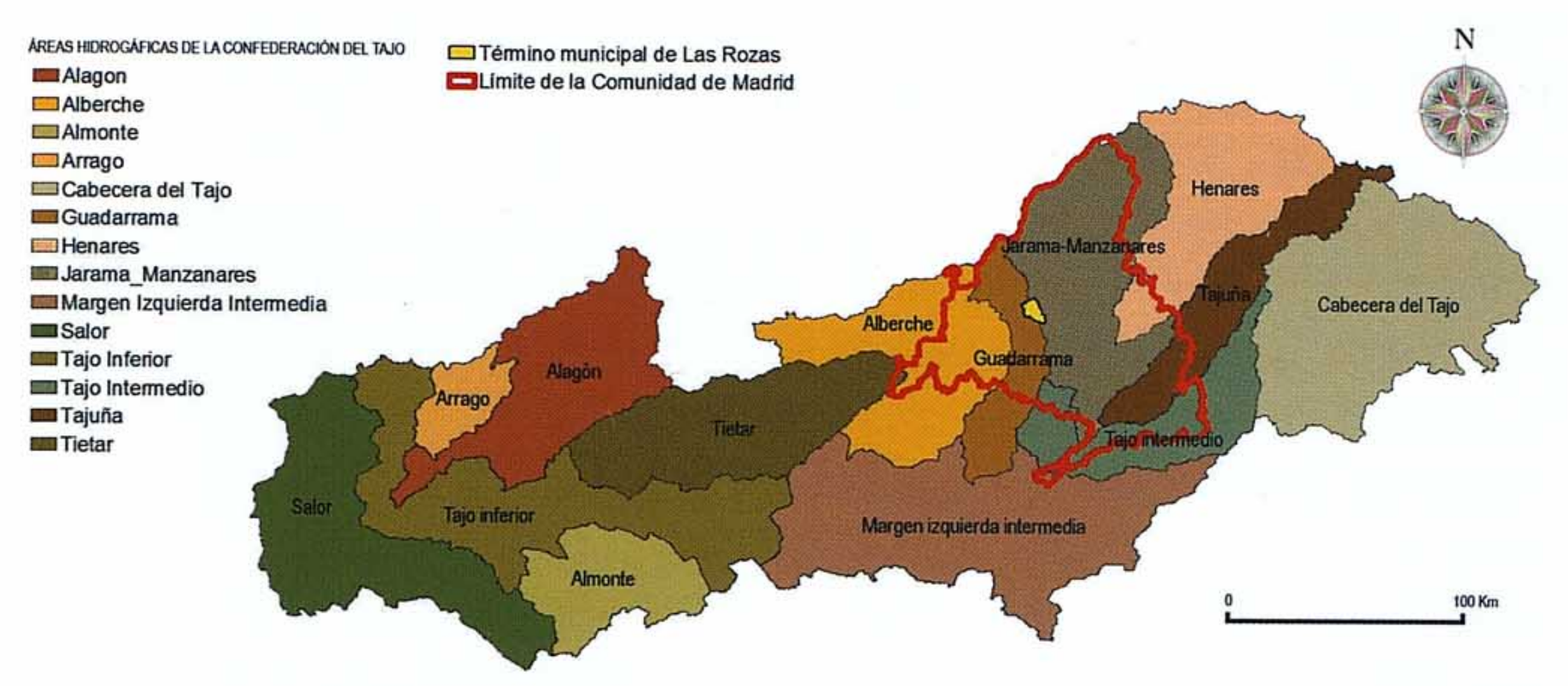
RED HIDROGRÁFICA Y AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LAS ROZAS

Enclavada dentro de la Confederación Hidrográfica del Tajo, la hidrografía de Las Rozas queda definida por las áreas hidrográficas del Guadarrama y del Jarama-Manzanares. El término municipal actúa como divisoria de aguas de estas dos subcuencas, quedando definido más exactamente por la subzona hidrográfica "Guadarrama al salir de Madrid" al oeste y la del "Jarama con Manzanares" al este.

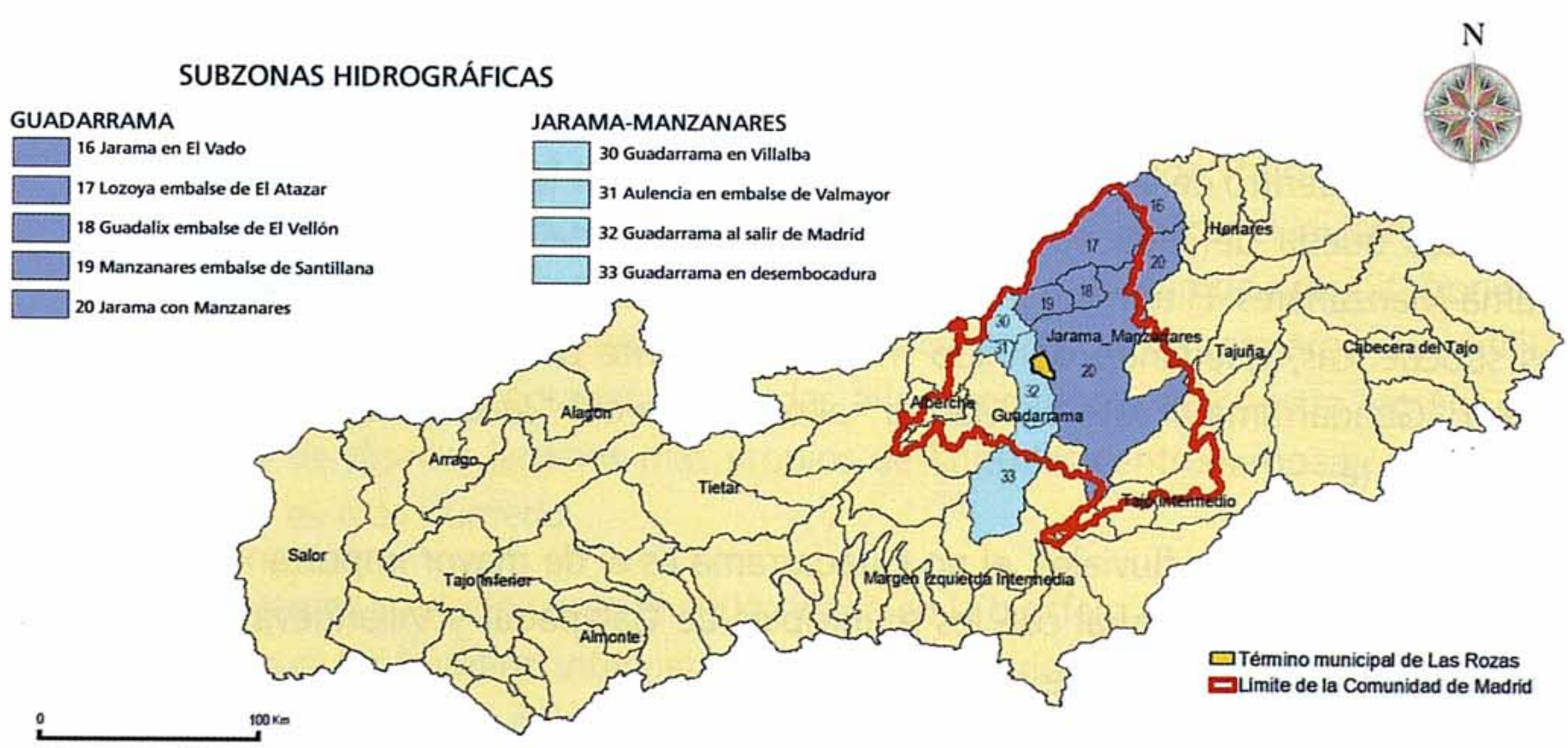
En cuanto a cursos fluviales, el río Guadarrama es el de mayor importancia, y constituye el límite natural con los municipios de Galapagar y Villanueva del Pardillo, con los que comparte cauce.

Junto con el Guadarrama, son varios los arroyos que forman parte de la red hidrográfica del municipio de Las Rozas. Entre los que vierten hacia el mencionado río destacan los arroyos de la Torre, Lazarejo, Miguel Martín, del Barranco de la Retorna, de la Fuentecilla, del Plantío y el antiguo canal de Guadarrama. Hacia Jarama-Manzanares destacan los cursos de los arroyos del Huerto del Tío

Soga, del Barranco Hondo, y del Pardo. Todos estos cauces son estacionales y durante el verano suelen tener tramos inundados que alternan con otros secos o casi secos (Cirujano & *al.*, 2003).



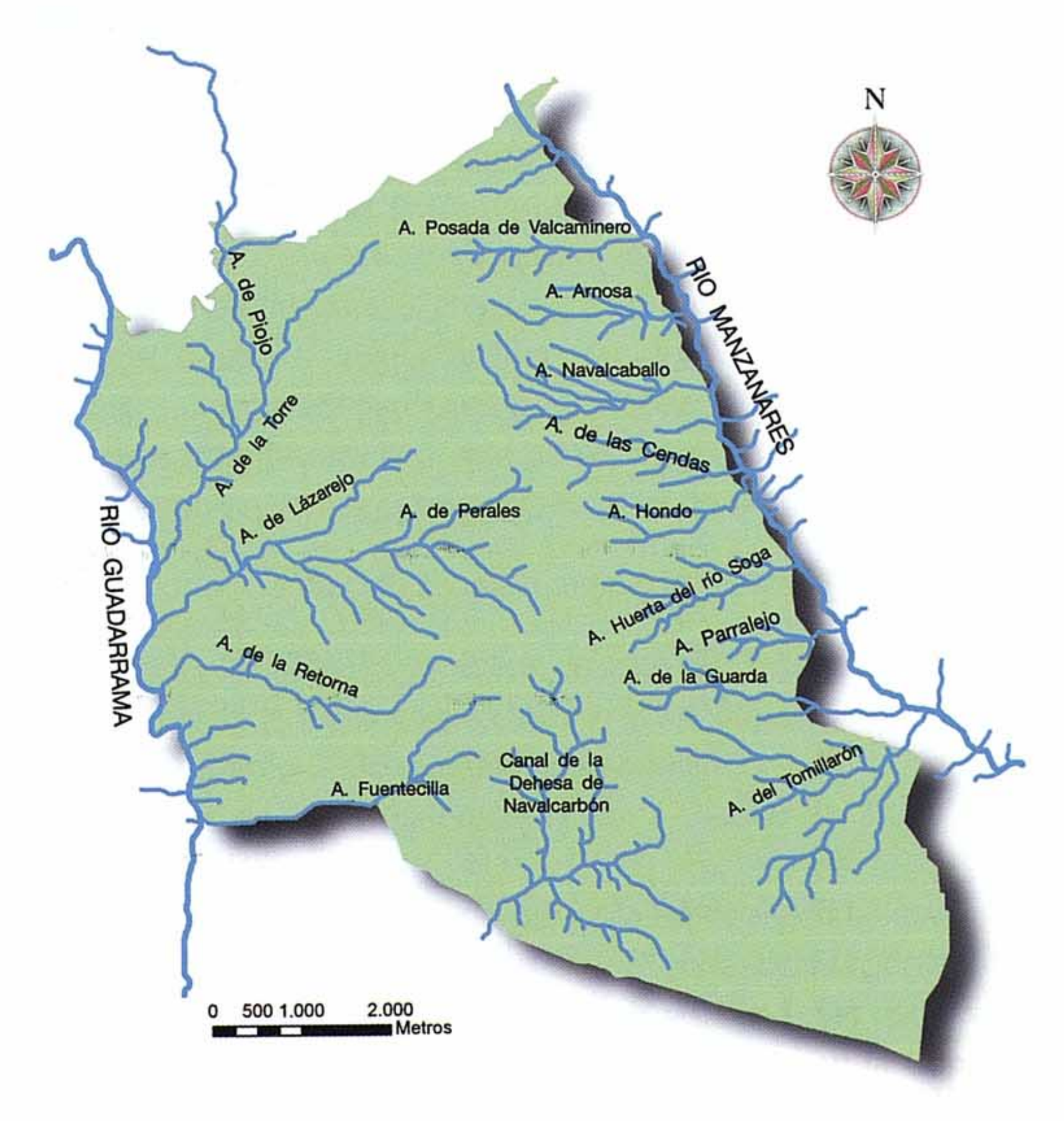
Áreas hidrográficas (Guadarrama y Jarama-Manzanares) a las que pertenece el término municipal de Las Rozas (Fuente: elaboración propia).



Subzonas hidrográficas que se encuentran en el término municipal de Las Rozas (Fuente: elaboración propia).

Los ríos y arroyos de Las Rozas

La red hidrográfica de Las Rozas es muy compleja, como hemos señalado más arriba, y está compuesta por arroyos que drenan hacia el río Guadarrama, al oeste, y por otros que van hacia el río Manzanares, al este. A excepción de los caudales del río Guadarrama, la mayoría de los arroyos que pasan por Las Rozas tienen un flujo pequeño, que se seca en muchos puntos durante los meses de verano, como atestigua la Tabla siguiente. Dicha desecación se debe, en parte, a la naturaleza geológica de los canales fluviales, pues éstos se asientan sobre materiales arenosos que favorecen la infiltración hacia el acuífero del agua que corre encima de ellos. Así que no sólo la evapotranspiración, sino también la infiltración, son los causantes de la poca agua que se ve en la mayor parte de los cauces de Las Rozas.



Mapa de los ríos y arroyos de Las Rozas. La divisoria de aguas entre las cuencas del Guadarrama y el Manzanares coincide aproximadamente con la autovía N-VI. (Fuente: *El Clima de Las Rozas de Madrid*).

En la Tabla cabe destacar los parámetros que corresponden al arroyo con mejores condiciones ambientales de la zona. Se trata del arroyo de Carcalacueva, que desagua al río Guadarrama en el término municipal de Villanueva del Pardillo, y que no está sometido a ningún tipo de impacto por aguas residuales urbanas. Como se puede apreciar comparando las cifras de la Tabla, a pesar de la depuración de las aguas residuales del municipio de Las Rozas, sus ríos y arroyos todavía portan una contaminación apreciable. Bien cierto es que en el caso del río Guadarrama y del arroyo de La Torre, dicha contaminación procede de los municipios situados aguas arriba de Las Rozas. En cualquier caso, es tarea de todos -ayuntamientos y ciudadanos- ir mejorando

	CARCALACUEVA	ENCINAR	ENTREMONTES	GUADARRAMA	LAZAREJO	MARAZUELA	PLANTÍO	LA TORRE
Caudal (l/seg)								
Promedio	5,3			1.790	3,09			71,33
Desviación típica	9,3			3.290	5.66			55,31
Mínimo	0			2	0			6
Máximo	28			24.840	17			166
Sólidos en suspensión (mg/l)								
Promedio	4	101	26	7	159	94	120	62
Desviación típica	3	107	33	7	295	36	88	183
Mínimo	1	28	2	2	7	28	37	2
Máximo	8	484	124	32	602	188	212	920
DBO (mg O_2/l)								
Promedio	8	94	28	5	14	144	85	34
Desviación típica	10	62	24	5	7	60	54	45
Mínimo	1	20	6	0	8	40	25	0
Máximo	23	280	100	17	23	260	130	164
DQO (mg O_2/l)								
Promedio	9	268	76	15	59	318	213	91
Desviación típica	3	137	44	10	36	93	141	123
Mínimo	5	112	19	1	23	156	55	2
Máximo	12	642	160	32	108	493	327	436

Parámetros estadísticos calculados en las desembocaduras de las principales corrientes fluviales de Las Rozas, a partir de los datos físico-químicos medidos desde 2000 a 2008, en comparación con los de la cuenca más impoluta de la zona, Carcalacueva, situada en el término municipal de Villanueva del Pardillo y que comparte las mismas características climáticas y geológicas con las cuencas hidrográficas de Las Rozas. Los datos de Carcalacueva se han analizado durante los años 2004-2006 (Fuente: Álvarez Cobelas & *al.*, 2009; e información no publicada).

poco a poco la calidad de las aguas que se vierten a ríos y arroyos, con objeto de que vuelvan a convertirse en lo que un día fueron: amables y limpios ecosistemas para solaz de propios y extraños, para la buena vida de plantas, animales y personas.

Las aguas subterráneas de Las Rozas

En la Comunidad de Madrid existen varios dominios hidrológicos que pueden proporcionar agua para consumo humano o para aprovechamientos agrícolas e industriales, como los asociados al sustrato granítico de la Sierra de Guadarrama, las calizas de Torrelaguna y la fosa del Lozoya o los cuaternarios aluviales asociados a los valles de los principales ríos. Pero sin duda, el más destacable por su potencialidad para el abastecimiento, por su extensión, y por afectar directamente al municipio de Las Rozas, es el denominado Acuífero del Terciario Detrítico de Madrid.

Definimos acuífero como aquella formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable y que permite que circule a través de ella con relativa facilidad. Las arcosas, resultado de la erosión de los materiales guadarrámicos, forman un conjunto de canales arenosos distribuidos aleatoriamente en una matriz arcillosa, dando lugar a un acuífero multicapa, de gran potencia y heterogeneidad. Las últimas estimaciones (según López-Camacho e Iglesias, 2000) sitúan las cifras de infiltración o recarga media anual en 130-150 Hm^3/año, con un volumen de reservas o agua movilizable de entre 2.000 y 4.000 Hm^3.

La gran importancia de este acuífero radica en cuatro aspectos:

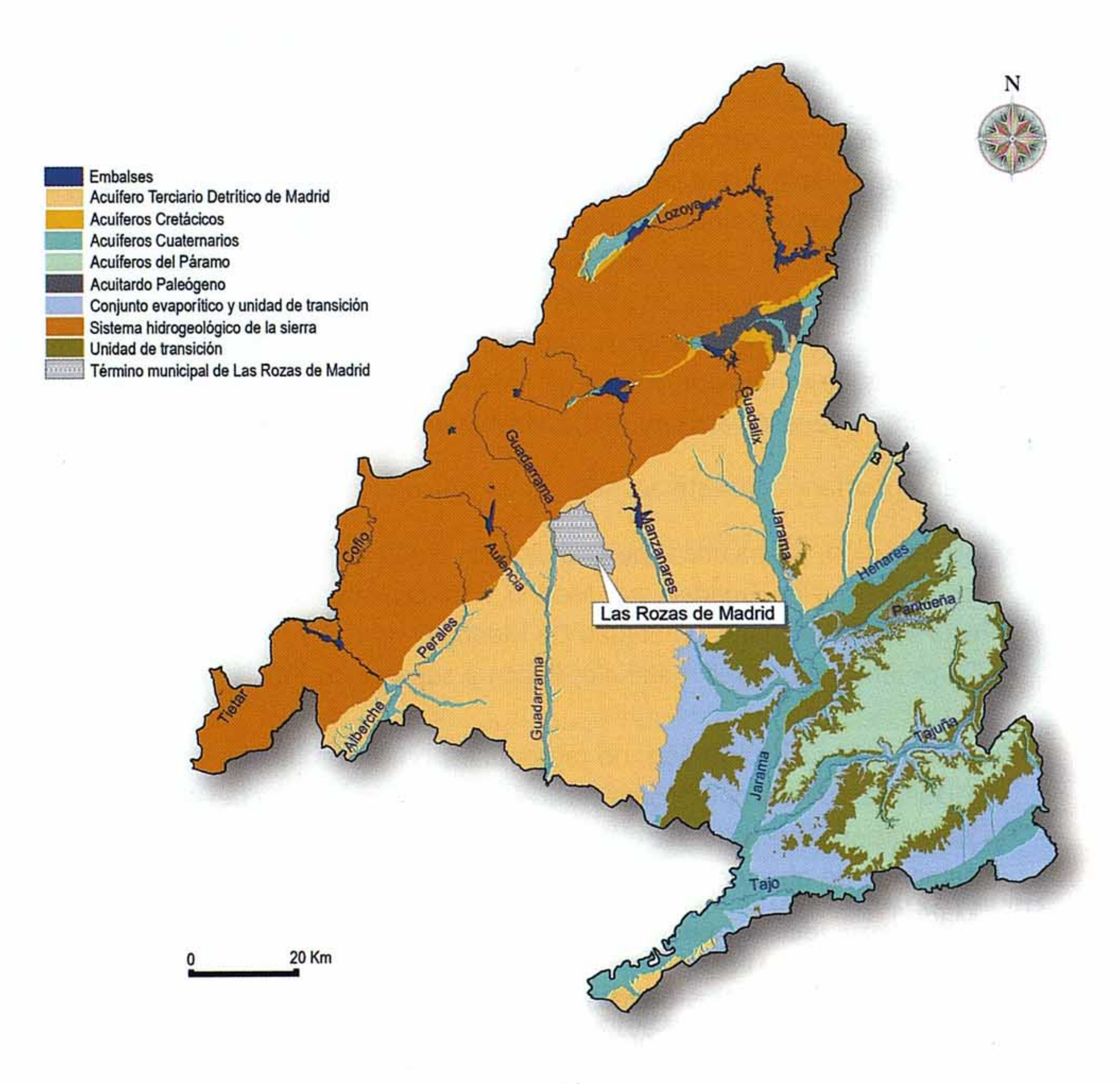
- Su extensión, ocupa una superficie de unos 6.000 km^2, extendiéndose por las provincias de Guadalajara, Madrid y Toledo, situándose un 45% de esta superficie en la Comunidad De Madrid.
- Su potencia, pues sus materiales llegan a superar los 3.000 m de espesor.
- Su facilidad de explotación, no presenta especiales problemas en la captación, tanto horizontal como vertical, ni en la localización del agua.
- Su situación, al encontrarse el acuífero en una zona muy poblada con gran demanda de abastecimiento de agua, sobre todo en la Comunidad de Madrid.

Podríamos diferenciar tres bandas dentro del acuífero con características hidrológicas diferentes: una más próxima a la Sierra de Guadarrama, con transmisividad baja; otra intermedia, de máximo rendimiento, con valores de per-

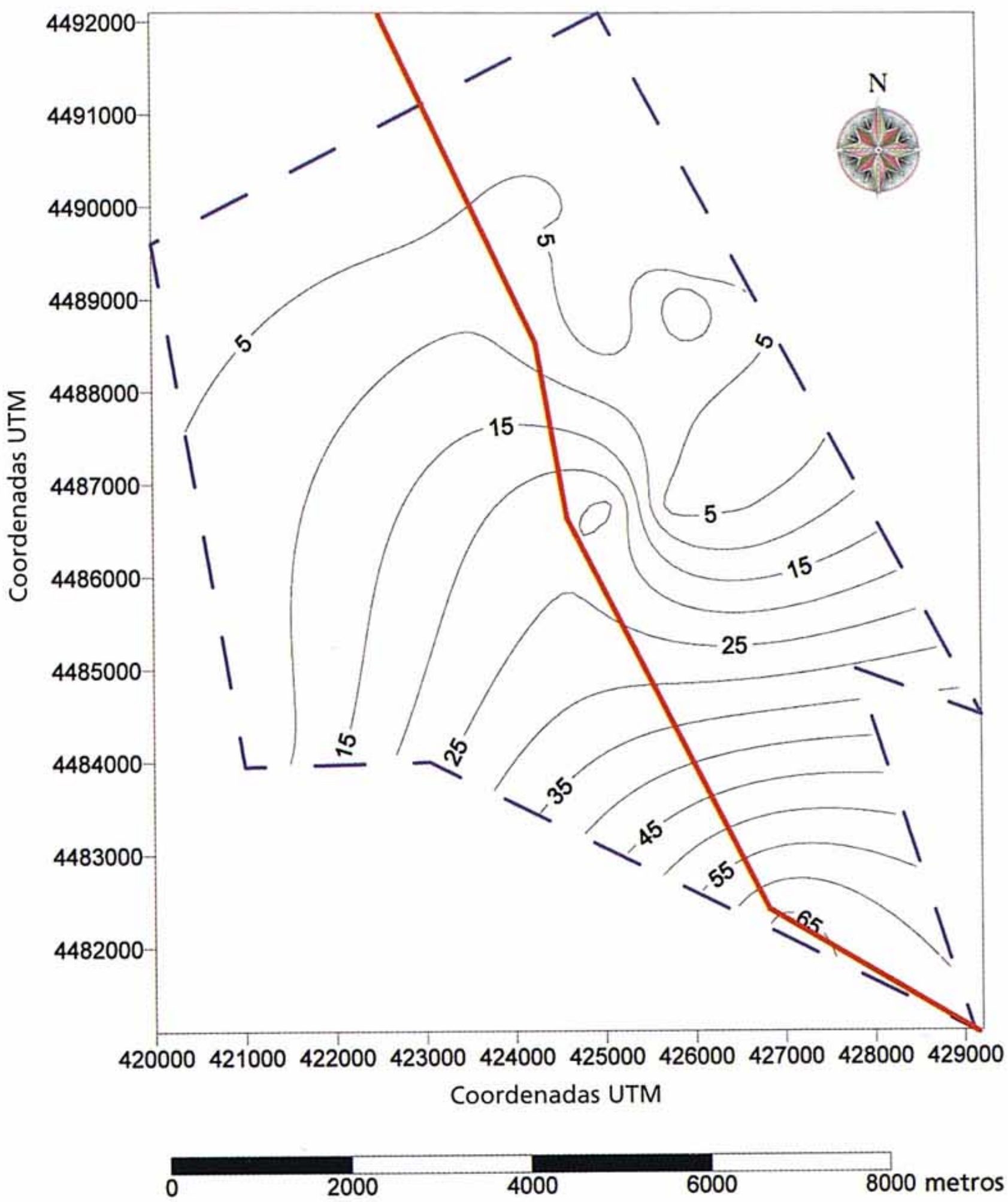
meabilidad más altos; y la más alejada de Guadarrama en la que de nuevo la transmisividad y el rendimiento decrece. El acuífero del municipio de Las Rozas pertenece a la primera banda cercana a la Sierra, y presenta transmisividades que varían de entre 70 y 300 m^3/día en las zonas de mayor productividad.

Como ya hemos señalado más arriba, el agua subterránea de Las Rozas se encuentra incluida dentro del acuífero del Terciario detrítico de Madrid.

El nivel del agua subterránea disminuye en dirección NW-SE en el municipio a finales de la primavera de 2009, estando mucho más baja el agua en la zona del Sureste, como puede observarse en la figura.



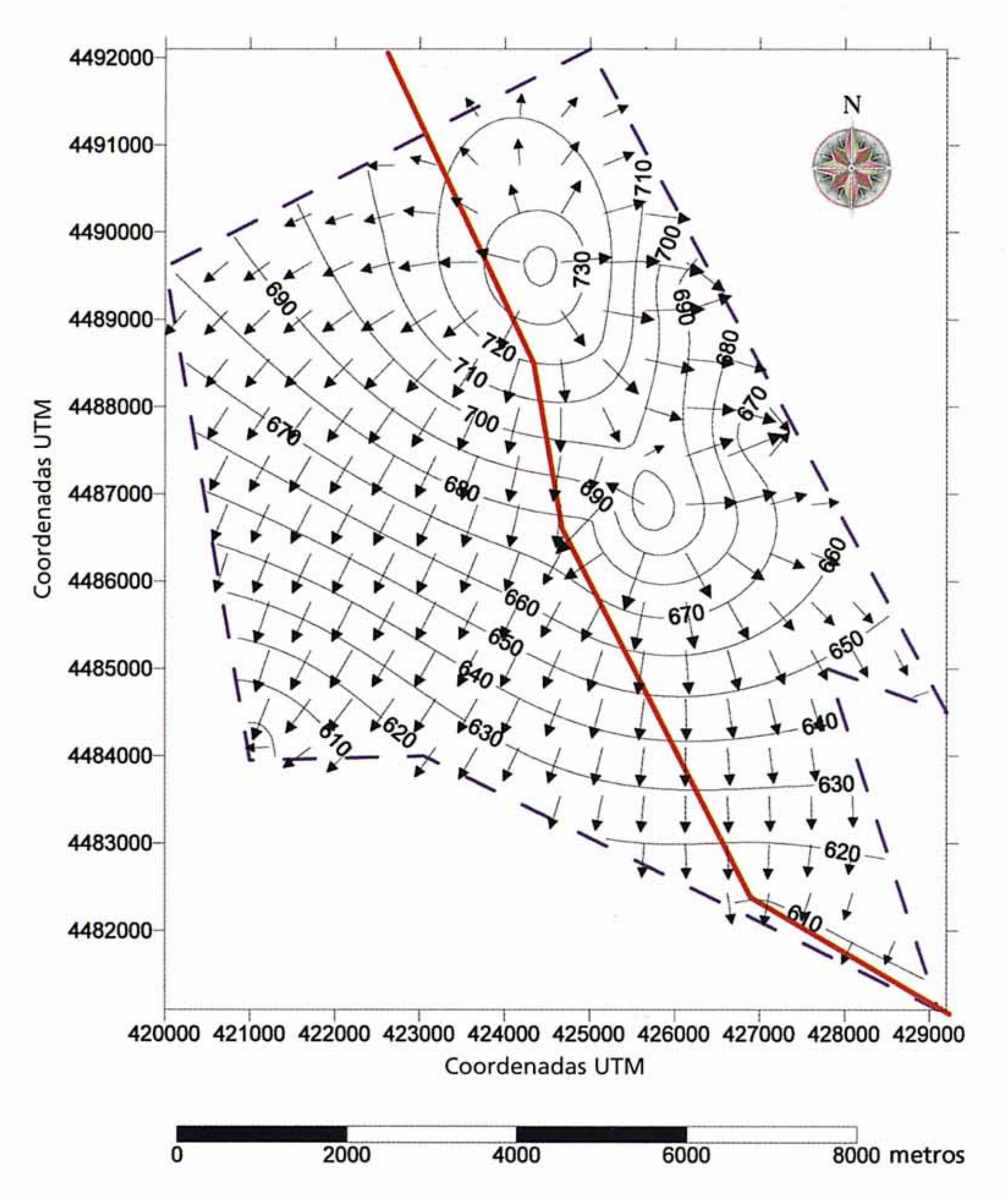
Mapa del acuífero de Madrid.



Nivel (en metros respecto a la superficie del suelo) del agua subterránea en el término municipal de Las Rozas de Madrid, a finales de la primavera de 2009. La línea roja representa la Nacional-VI. El río Guadarrama discurre por la zona Oeste del mapa y marca el límite del término municipal.

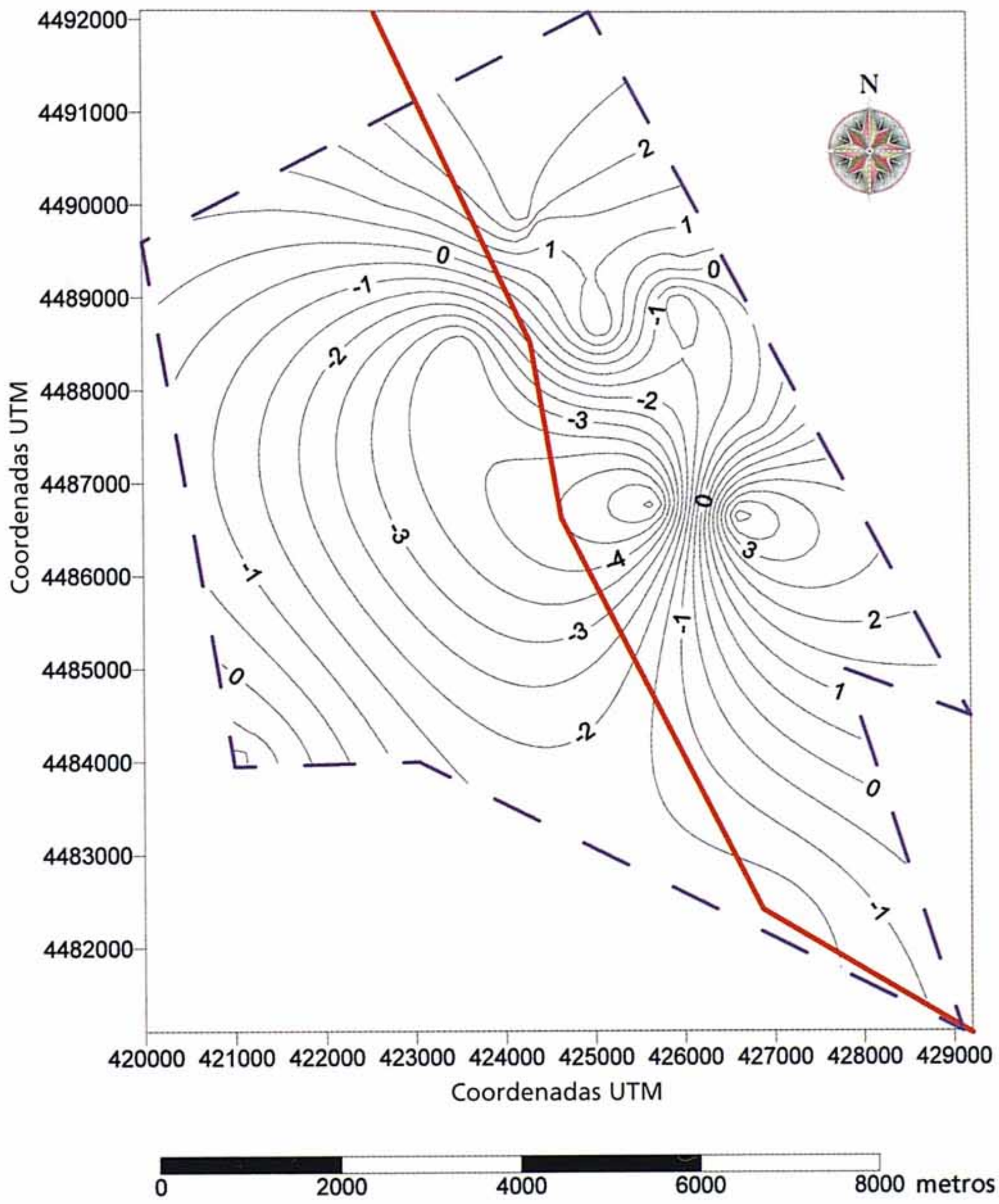
El flujo de las aguas subterráneas es complejo en el municipio durante la primavera de 2009 porque, por una parte circulan hacia el río Guadarrama y, por otra, hacia el arroyo de La Trofa, que vierte hacia el río Manzanares, desde la cota topográfica más alta del municipio, al este de la N-VI, como se observa en la figura.

Si comparamos las oscilaciones del nivel de las aguas subterráneas desde la primavera de 2004 a la primavera de 2008, observamos que se aprecia un des-



Altitud piezométrica (en metros sobre el nivel del mar) del agua subterránea en el término municipal de Las Rozas de Madrid, a finales de la primavera de 2009. Las flechas indican los flujos principales del agua. La línea roja representa la Nacional-VI. El río Guadarrama discurre por la zona Oeste del mapa y marca el límite del término municipal, mientras que el arroyo de La Trofa lo hace por la zona oriental del mapa y también marca el límite del término municipal.

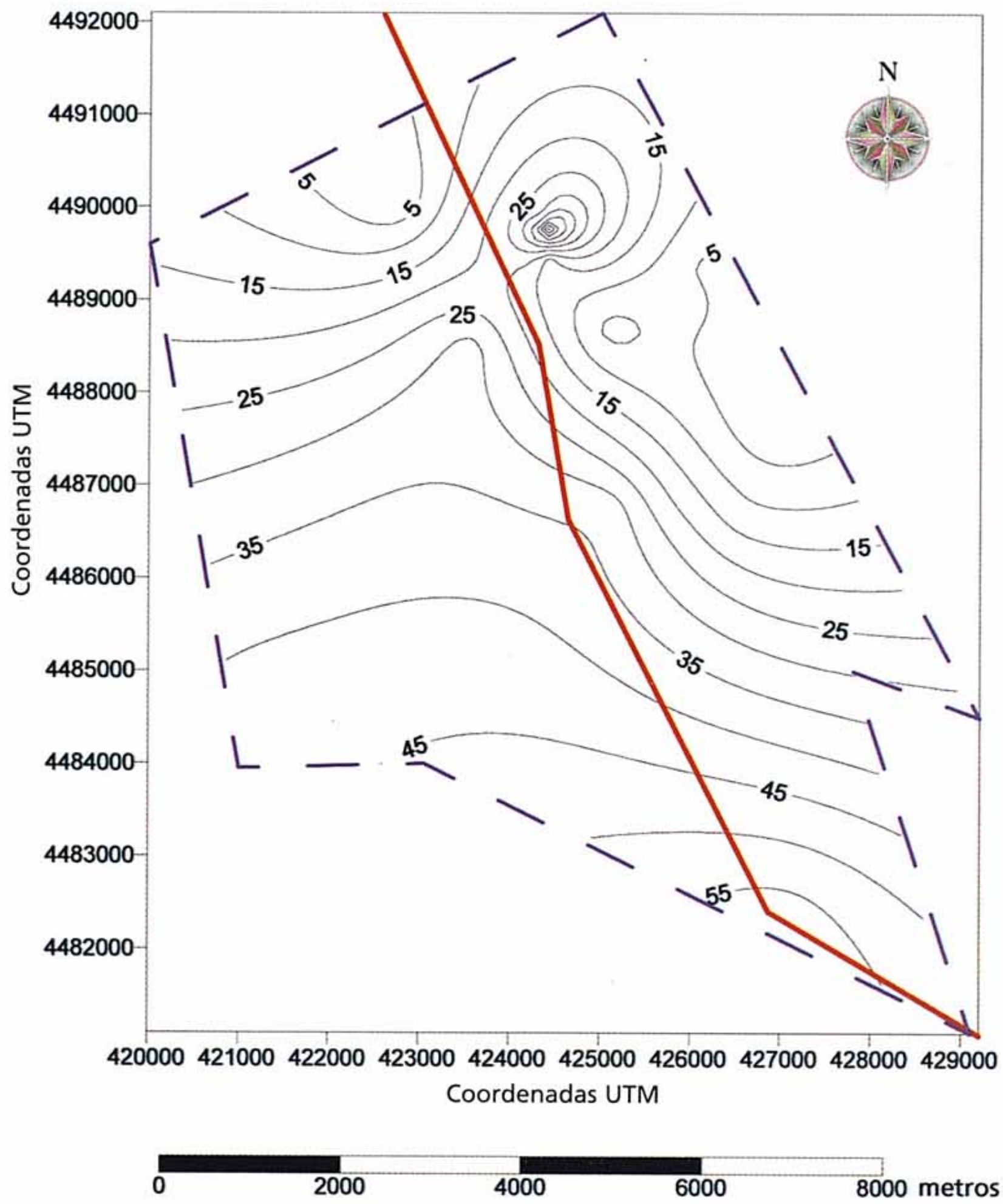
censo en la mayor parte del municipio que drena hacia el río Guadarrama y un ascenso del agua subterránea en la zona que drena hacia el arroyo de La Trofa y el monte del Pardo. En ambos casos las oscilaciones están entre 0 y 3 metros, según se comprueba en la figura. Con estas informaciones es muy difícil establecer si dichos cambios entre 2004 y 2009 se deben a cambios en la precipitación o a cambios en la extracción del agua de pozo.



Diferencias de nivel (en metros) del agua subterránea en el término municipal de Las Rozas de Madrid, medidas a finales de las primaveras de 2004 y de 2009. La línea roja representa la Nacional-VI. El río Guadarrama discurre por la zona Oeste del mapa y marca el límite del término municipal.

En cuanto a sus características químicas, la concentración de nitrato en las aguas subterráneas de Las Rozas durante la primavera de 2009 mostró un aumento en dirección N-S, probablemente debido a una mayor existencia de abonado de jardines en esa dirección.

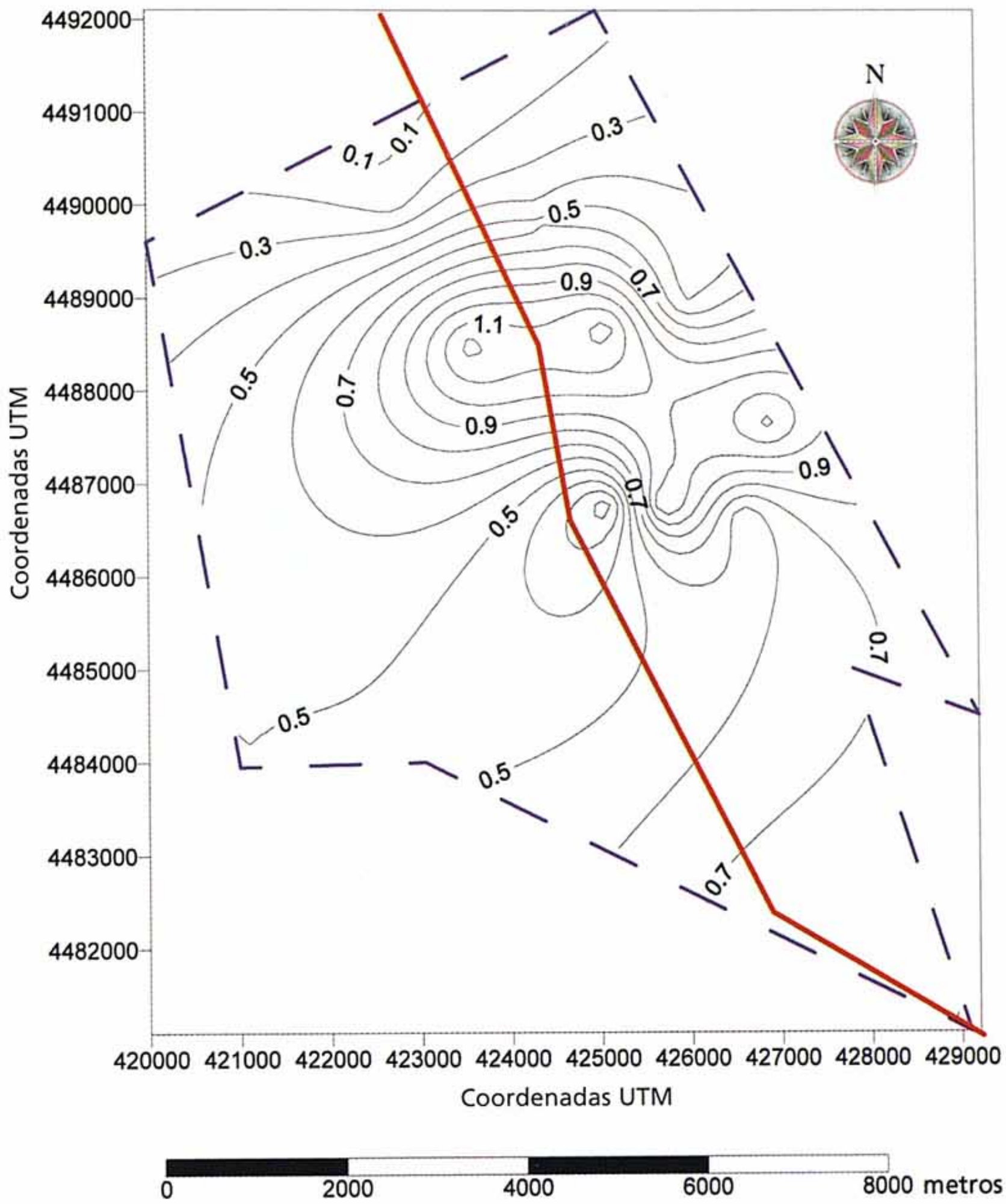
Las distribuciones espaciales del fósforo total en el agua subterránea presentan sus mayores valores en el centro del tercio septentrional del municipio.



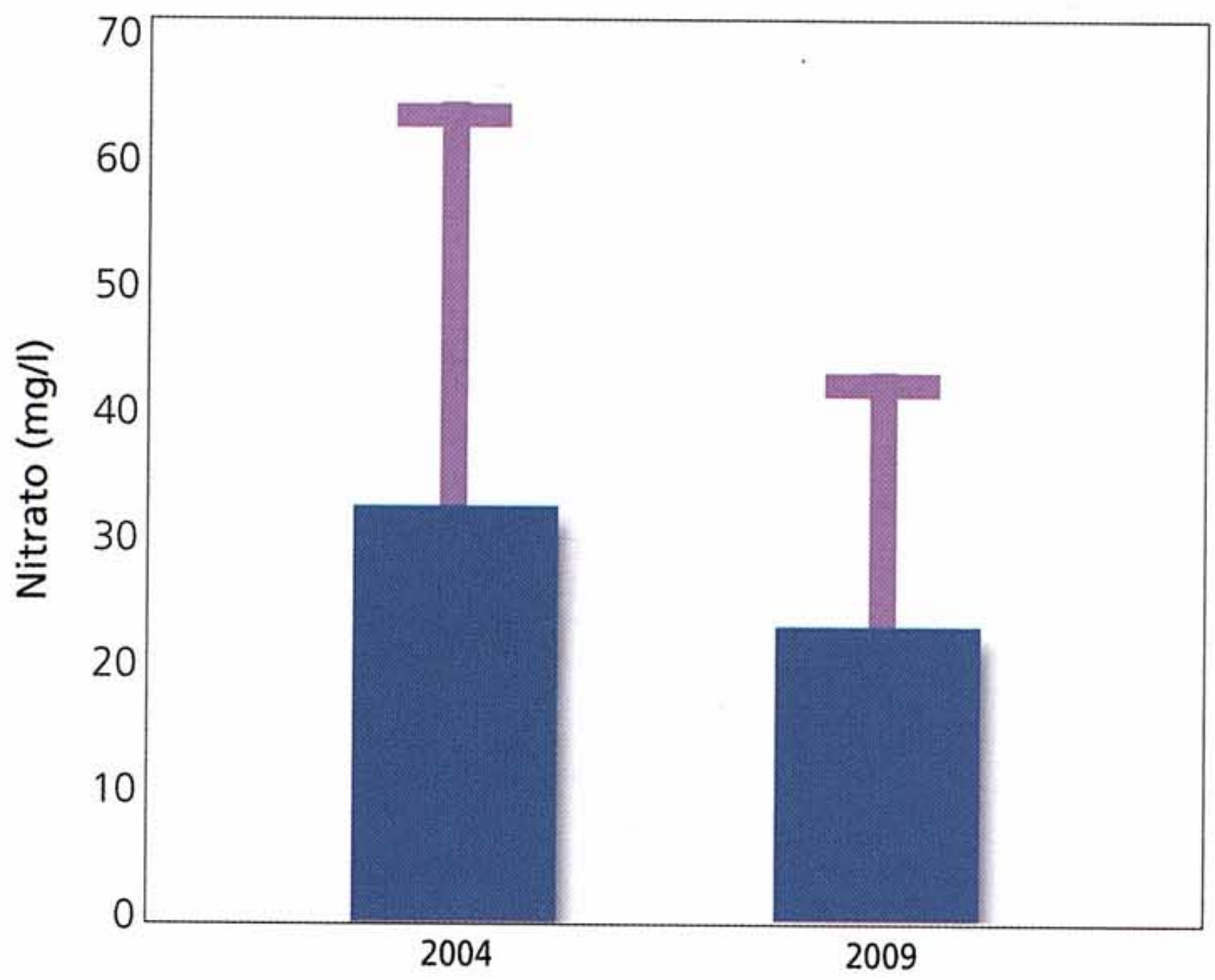
Nitrato (en mg NO_3/l) del agua subterránea en el término municipal de Las Rozas de Madrid, medido al final de la primavera de 2009. La línea roja representa la Nacional-VI. El río Guadarrama discurre por la zona Oeste del mapa y marca el límite del término municipal.

Al haber realizado muestreos en las aguas subterráneas durante las primaveras de 2004 y 2009, podemos llevar a cabo una comparación de los cambios de las principales distintas variables químicas analizadas. Para el nitrato, la concentración de nitrato en el agua subterránea fue mayor en 2004 que en 2009, lo cual sugiere que en 2009 se usó menos abono que en 2004 en el término municipal.

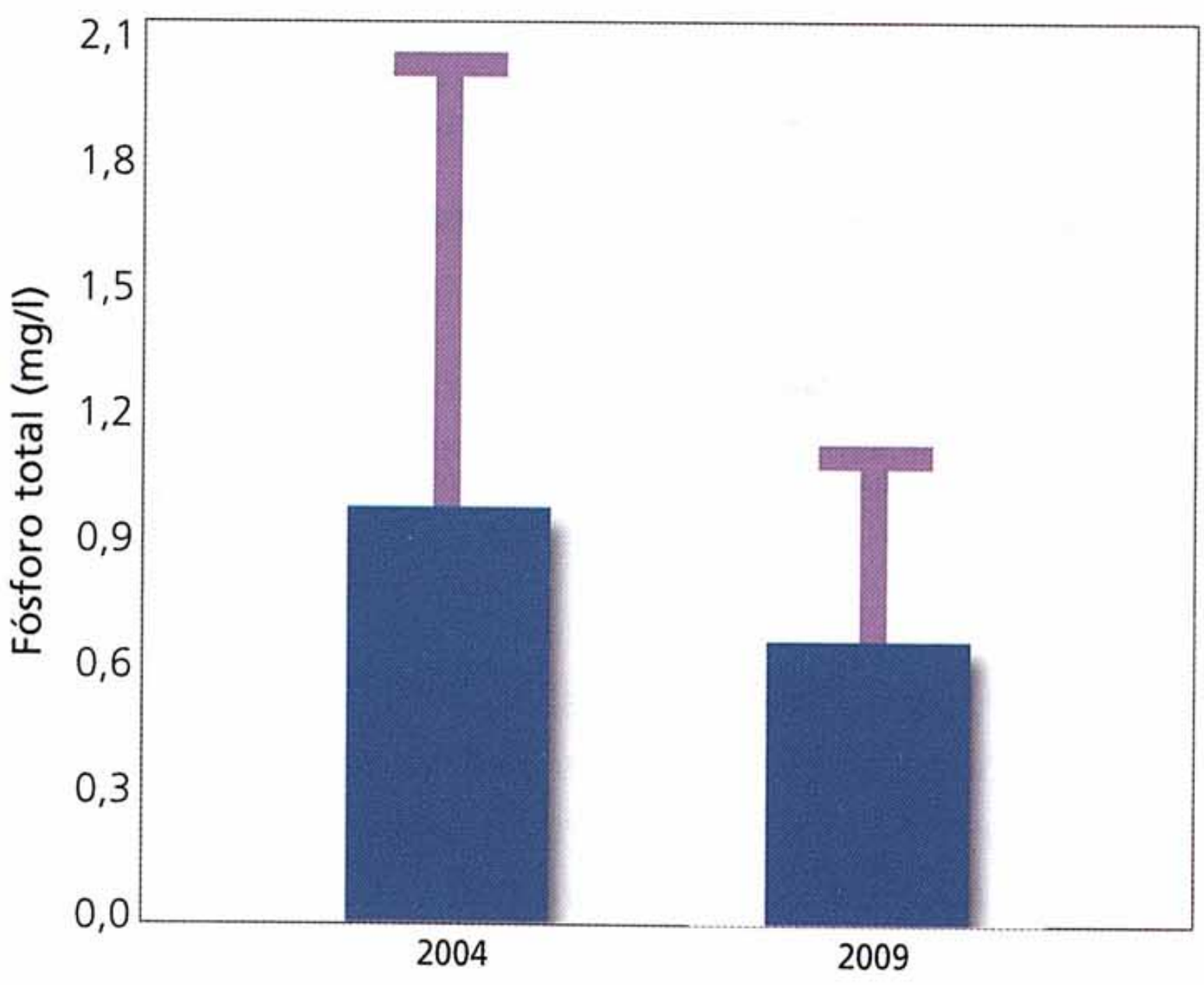
En el caso del fósforo total, también fue inferior su concentración subterránea en 2009, todo lo cual indicaría que las aguas subterráneas están mejorando de calidad.



Fósforo total (en mg P/l) del agua subterránea en el término municipal de Las Rozas de Madrid, medido al final de la primavera de 2009. La línea roja representa la Nacional-VI. El río Guadarrama discurre por la zona Oeste del mapa y marca el límite del término municipal.



Comparación de la concentración global de nitrato en las aguas subterráneas de Las Rozas de Madrid a finales de las primaveras de 2004 y de 2009. El rectángulo es el promedio y la barrita en forma de "T", la desviación típica.

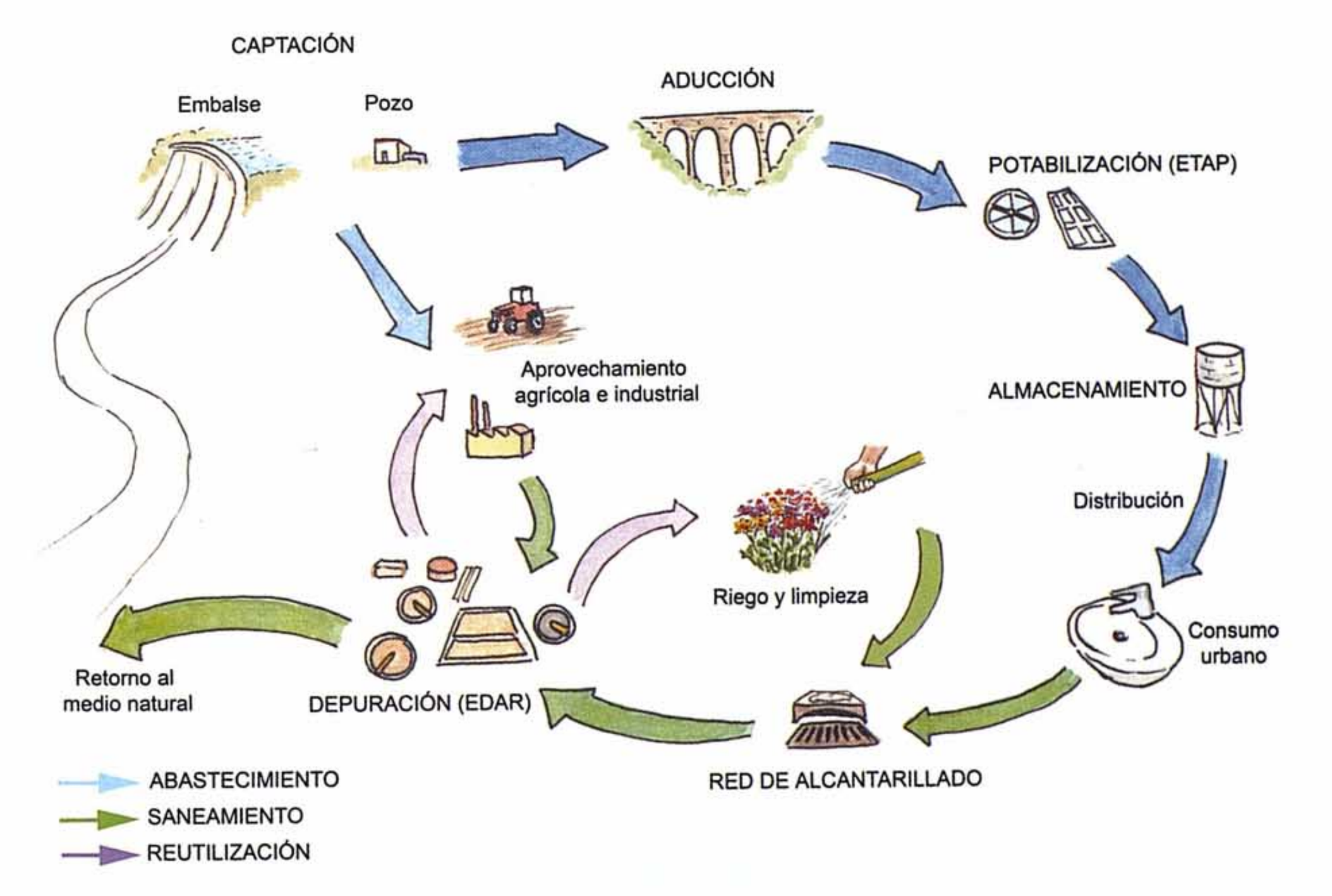


Comparación de la concentración global de fósforo total en las aguas subterráneas de Las Rozas de Madrid a finales de las primaveras de 2004 y de 2009. El rectángulo es el promedio y la barrita en forma de "T", la desviación típica.

CICLO INTEGRAL DEL AGUA

A partir de la disponibilidad de agua que tienen los embalses durante el ciclo hidrológico, comienza otro ciclo del agua, no menos importante, para cubrir las necesidades de consumo que plantean los humanos al vivir en sociedad. Hablamos del *Ciclo Integral del Agua*, definido como el recorrido que hace el agua desde la captación en estado bruto en la Naturaleza hasta su disponibilidad potabilizada en nuestros hogares, para volver en sentido inverso a reintegrarse convenientemente depurada a la Naturaleza.

Un gesto tan sencillo y cotidiano para nosotros como abrir un grifo y que salga agua limpia y apta para el consumo, va asociado a un proceso que comienza desde su captación en embalses, manantiales o pozos, para pasar por las Estaciones de Tratamiento de Agua Potable. El agua se transporta hasta los depósitos de las distintas poblaciones y, mediante sistemas de distribución, es servida al usuario. Una vez usada, el agua residual se canaliza a través de redes



Esquema del Ciclo Integral del Agua.

de alcantarillado y colectores de saneamiento hasta las Estaciones Depuradoras de Agua Residuales (EDAR), que las reintegran nuevamente al medio natural en condiciones ambientales lo más óptimas posible.

Todas las fases del Ciclo Integral del Agua quedan englobadas en dos procesos: el abastecimiento, que va hasta el momento en que el agua es utilizada; y el saneamiento, desde que el agua abandona el punto de utilización hasta que es devuelta al medio. Si bien los procesos agrícolas, ganaderos e industriales toman parte de este ciclo de uso del agua sólo trataremos en este libro su uso urbano, que es el predominante en nuestro municipio y en el que todos intervenimos diariamente. Nos referiremos por tanto al agua de bebida, el aseo y la sanidad de los habitantes y las necesidades de la ciudad.

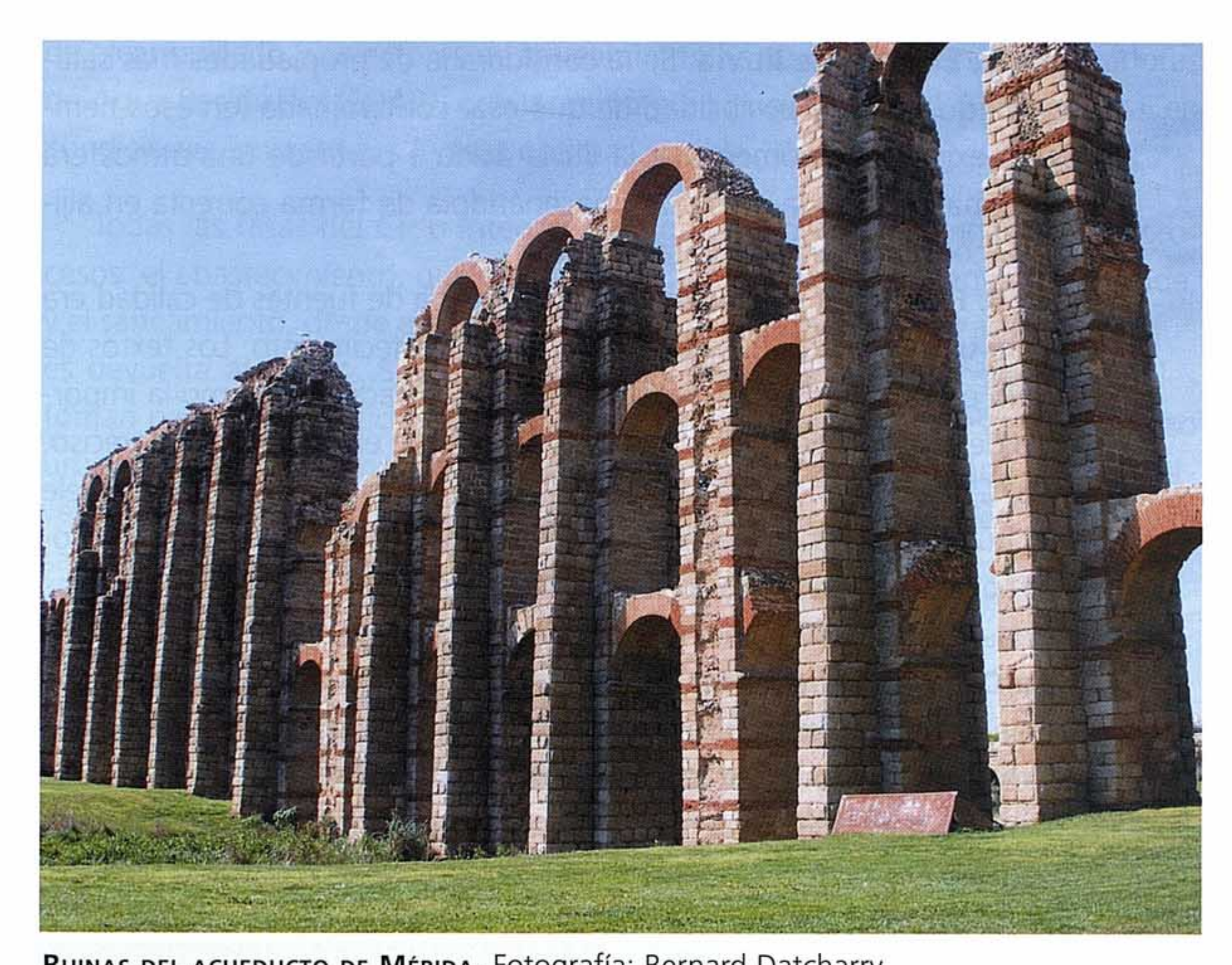
ABASTECIMIENTO: HISTORIA Y ORÍGENES

Desde que comenzaron a desarrollarse los primeros núcleos urbanos, hubo una preocupación primordial que fue disponer de una cantidad adecuada de agua de acuerdo con las necesidades humanas. Aunque se conocen infraestructuras hidráulicas de riego en Egipto, hace más de 3.500 años, fue la civilización romana la que desarrolló una auténtica ingeniería en torno a la captación, distribución y consumo del agua, con conceptos, mecanismos y obras arquitectónicas que han llegado hasta nuestros días. Varios fueron los autores de la época cuyos escritos dan fe de la importancia que se daba al agua, ya sea a partir del estudio de sus cualidades, como de las infraestructuras hidráulicas a su servicio. Frontino, que además ejercía el cargo de *Curator Aquarum* (responsable del suministro hídrico), escribe en el siglo I d.C., en su obra más famosa, *De aquae ductu*, a modo de declaración de principios: *Tot aquarum tam multis necessariis molibus pyramidas videlicet otiosas compares aut cetera inertia sed fama celebrata opera Graecorum* (Comparad las numerosas moles de las conducciones de agua tan necesarias con las ociosas pirámides o bien con las inútiles, aunque famosas, obras de los griegos).

En una cultura del agua como la romana, termas y baños, así como industrias y particulares disfrutaban del abastecimiento a partir de estas conducciones, pero de forma prioritaria se surtía a las fuentes públicas. Por tanto, la calidad del agua que se consumía era una consideración vital en el desarrollo de los procesos de abastecimiento al pueblo romano y también a los pueblos conquistados e integrados en el Imperio. Los autores clásicos distinguen de manera clara diferentes tipos de agua según su calidad, que ordenadas por clases en orden decreciente serían:

- **Clase A. El agua de lluvia**. Se la considera la de propiedades más salubres, ya que no hay posibilidad de que esté contaminada (en esos tiempos no existía el fenómeno de la lluvia ácida a partir de una atmósfera contaminada como la actual). Almacenándola de forma correcta en aljibes, su conservación está garantizada.
- **Clase B. Fuentes y manantiales**. La búsqueda de fuentes de calidad era siempre una constante cuando se habla de abastecimiento. Los textos de Vitruvio enumeran diversas fuentes y sus propiedades, así como la importancia de captar el agua de manantial, excavando en la tierra si es preciso.
- **Clase C. Los pozos**. Captadas del nivel freático, el agua de los pozos suele tener buena calidad, protegiéndola de la luz y la materia orgánica. El problema pueden ser las filtraciones desde aguas sucias, sobre todo en áreas urbanas, agrícolas o ganaderas.
- **Clase D. Aguas corrientes de superficie**. Los romanos pensaban que el agua de los ríos no era muy fiable, al estar expuesta a todo tipo de contaminación. Sólo pueden considerarse potables las aguas cercanas al manantial, pues aún no ha habido posibilidad de contaminación, o la de los arroyos de montaña.

Tuberías romanas de plomo.



Ruinas del acueducto de Mérida. Fotografía: Bernard Datcharry

- **Clase E. Estanques y pantanos.** Eran consideradas aguas no aptas para el consumo humano, algo bastante acertado si tenemos en cuenta que entonces no existían, como actualmente, sofisticados procesos de depuración. Autores como Paladio son categóricos: *La salubridad del agua se reconoce así: ante todo que no proceda de estanques o charcas.*

Para abordar el asunto de la cantidad de agua de la que el pueblo romano podía disfrutar se desarrolló un sistema de captación, transporte y distribución, del que los acueductos eran la parte más notoria y visible. Hasta la puesta en funcionamiento de toda esta ingeniería hidráulica los núcleos de población se abastecían por medio de manantiales, pozos subterráneos y cisternas para la recogida y almacenamiento del agua de lluvia.

El proceso comienza con la captación desde un manantial hacia una única construcción, el *castellum*, siendo el origen de toda la infraestructura, es decir, el *caput aquae*. Esta captación se realizaba a través de tuberías de plomo (*fistulae*) o bien de canales excavados o construidos. A continuación, las aguas eran encauzadas hacia una construcción colectora o piscina *limaria*, cuya función era

actuar como piscina de decantación y filtración, además de alimentar una primera fuente abovedada y consagrada a las ninfas o a Neptuno, no siendo raro el levantamiento de un templo o capilla a tal efecto. De la piscina *limaria* continuaba hacia una piscina de carga, siendo ambas construcciones realizadas con argamasa de cal y arena, a la que se podía añadir cuarzo machacado para dotarle de dureza y fragmentos de cerámica que, al darle un color rojizo, evitaba la proliferación de algas. De esta piscina de carga el agua seguía su camino hacia el punto de abastecimiento a través de los acueductos.

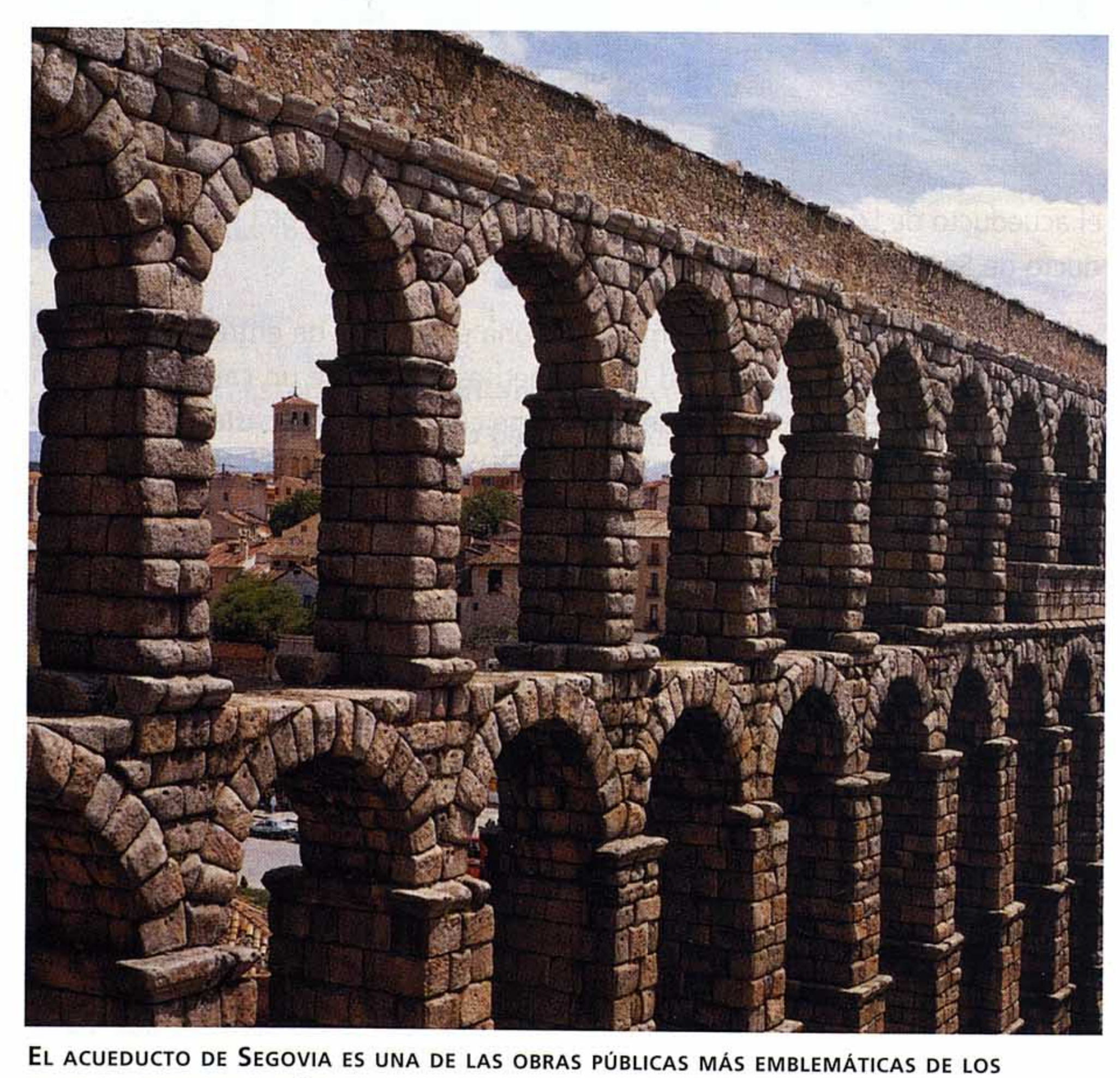
Debemos señalar que la luz tiene el efecto de despertar vida en el agua, lo que no es en absoluto recomendable para el agua de consumo. Por este motivo, todas las construcciones asociadas al abastecimiento de agua quedaban preservadas de la luz, bien siendo abovedadas, como la fuente de la que hablábamos, excavadas o subterráneas. Es el caso de los acueductos (etimológicamente, conducción de agua), cuyo trazado, que podía llegar a tener decenas y en algunos casos centenares de kilómetros, transcurre bajo tierra en su mayoría. Sólo en el caso de tener que salvar profundos valles o vaguadas se recurría a puentes sobreelevados sobre arcos, que es en realidad la imagen de acueducto que ha llegado hasta nuestros días. En España tenemos excelentes ejemplos de este tipo de conducciones, como el acueducto de Los Milagros en Mérida del siglo I d.C., o el archiconocido acueducto de Segovia, de la primera mitad del siglo I d.C.

Con el agua discurriendo siempre por una pendiente de entre 0,02 y 0,5% según autores – en la actualidad las pendientes medias de un canal se estiman entre 0,05 y 0,15% — la obra de transporte confluía en un *castellum* terminal o embalse con función de divisor, regulador y medidor del caudal de agua a distribuir, según un esquema de tres salidas para las fuentes, para las termas y para posibles conexiones privadas. Estos depósitos podían tener dimensiones considerables y estaban construidos en cotas elevadas respecto a los núcleos que abastecían a la red de distribución, con objeto de servir a todos aquellos puntos de la ciudad donde se utilizaba el agua: termas, fuentes, pozos, juegos de agua, etc. Partiendo del *castellum aquae*, como punto final para embalsar el agua, y siempre mediante la diferencia de alturas, el agua entraba en un sistema maestro de acometida de grandes dimensiones y era posteriormente distribuida por tuberías cada vez más pequeñas, alcanzando todos los lugares de interés.

Las tuberías utilizadas podían ser de varios materiales. Las de cerámica eran baratas, fáciles de colocar y de reponer, pero no resistían bien las presiones elevadas, siendo muy utilizadas dentro de las ciudades. Se han encontrado tuberías hechas con troncos huecos de árboles, aunque no era un buen sistema ya que la madera podía contaminar el agua. También se utilizaban sillares de pie-

dra horadados en forma circular y terminados para que pudieran encastrarse unos con otros. La tubería de plomo era la más cara y, aunque más eficaz, ya se empezaba a advertir sobre el posible perjuicio sobre la salud.

En cuanto a la administración del agua en el Imperio Romano, ésta era de propiedad estatal, siendo prioritario el suministro a fuentes públicas y termas. Para la demanda de particulares sólo se contaba con el agua sobrante o *aqua caduta.* Para la concesión había que tener una carta del César con el permiso para presentarla al *curator aquarum,* concediéndose en un principio sólo para los baños y para las tintorerías, pagándose una contribución por ella que se ingresaba en el erario público. También las casas de los ciudadanos principales pudieron con el tiempo recibir agua, con el permiso de los restantes ciudadanos, no pasando el derecho de utilización de las aguas ni a herederos, ni a arrendatarios, ni a un nuevo propietario, es decir, era una concesión a título personal e



El acueducto de Segovia es una de las obras públicas más emblemáticas de los tiempos imperiales de Roma.

intransferible. A nivel de provincias, como lo era Hispania, se podía obtener una concesión de agua pagando a la caja municipal, concesión que se anunciaba en público cuando quedaba libre. Cabe señalar que todo el agua era aforada, con una unidad básica, que en Roma fue la *quinaria* (5/4 de dedo), se adaptó en Francia bajo el nombre de *pulgada fontanera*, en Italia como *onza*, y en España como *real fontanero* [orificio cuyo diámetro es el de un real de vellón y que proporciona un caudal de tres pulgadas cúbicas (unos 0,05 litros] por segundo.

El político y escritor además de *curator aquarum*, Sexto Julio Frontino, calcula que casi la mitad del agua que llegaba a Roma era desviada ilegalmente por fontaneros, los *aquarii,* lo que suponía un verdadero quebradero de cabeza para los administradores. En cuanto a la distribución, el agua a veces era distribuida a unas horas determinadas, de ahí deriva el nombre de *aqua certis horis ducta*, mientras que otras veces la concesión era por todo el día (*aqua quotidiana*) o por una estación del año (*aqua aestiva*).

Hemos querido destacar la importancia del abastecimiento de aguas en época romana por ser el comienzo de un concepto de suministro de agua a las poblaciones muy similar al actual, en cuanto a asumir la necesidad de unas obras hidráulicas, así como de una gestión y administración de las redes de distribución para satisfacer la demanda de agua de los núcleos urbanos.

No podemos pasar por alto en este recorrido histórico los *viajes de agua*, ideados por los árabes y que suponen los primeros indicios de un sistema de abastecimiento a la ciudad de Madrid. Podemos datar el primer *viaje* en 1399, desarrollándose la red durante el siglo XVII. Estos viajes eran en realidad una red de galerías o minas y pozos que captaban el agua desde el acuífero de la rampa serrana madrileña que, al encontrarse en una cota de altitud mayor a la de la ciudad de Madrid, traían el agua hasta ésta. Las conducciones consistían en cañerías de barro que transcurrían por galerías subterráneas construidas en ladrillo para reunir las aguas cerca ya de la ciudad en una arqueta principal, de la que partían las distintas tuberías que llevaban el agua a las diversas fuentes públicas. Obviamente el agua no llegaba a los domicilios particulares, excepto en el caso de personajes influyentes de la nobleza, el clero, o las clases dominantes, con lo que la población se abastecía de las fuentes, de las que existían dos clases: unas llamadas *caños de vecindad*, para el uso de los vecinos de un barrio, y otras *de aguadores*, que se destinaban al servicio que estos aguadores realizaban para las familias más acomodadas. Adquirió este oficio un auge considerable con la llegada de la corte a Madrid, contabilizando Mesonero Romanos 971 de estos aguadores en el Madrid de mitad del siglo XIX.

Quizá sea ese siglo XIX, con la llegada de la revolución industrial y la concentración de población en torno a grandes urbes, el que marca otro momento definitivo para el desarrollo de los procesos de abastecimiento tal como los conocemos. El impresionante crecimiento de las ciudades hace que los sistemas tradicionales de abastecimiento resulten insuficientes, buscando alternativas de suministro en aguas de peor calidad, como las de pantanos y embalses naturales. La consecuencia son una serie de epidemias, fundamentalmente de cólera y tifus, que azotan durante ese siglo a los países más industrializados. A este consumo de aguas poco aptas hay que añadir, además, las deficiencias en el saneamiento, como veremos posteriormente, que dieron lugar a que las aguas negras contaminaran las aguas destinadas al aprovechamiento doméstico.

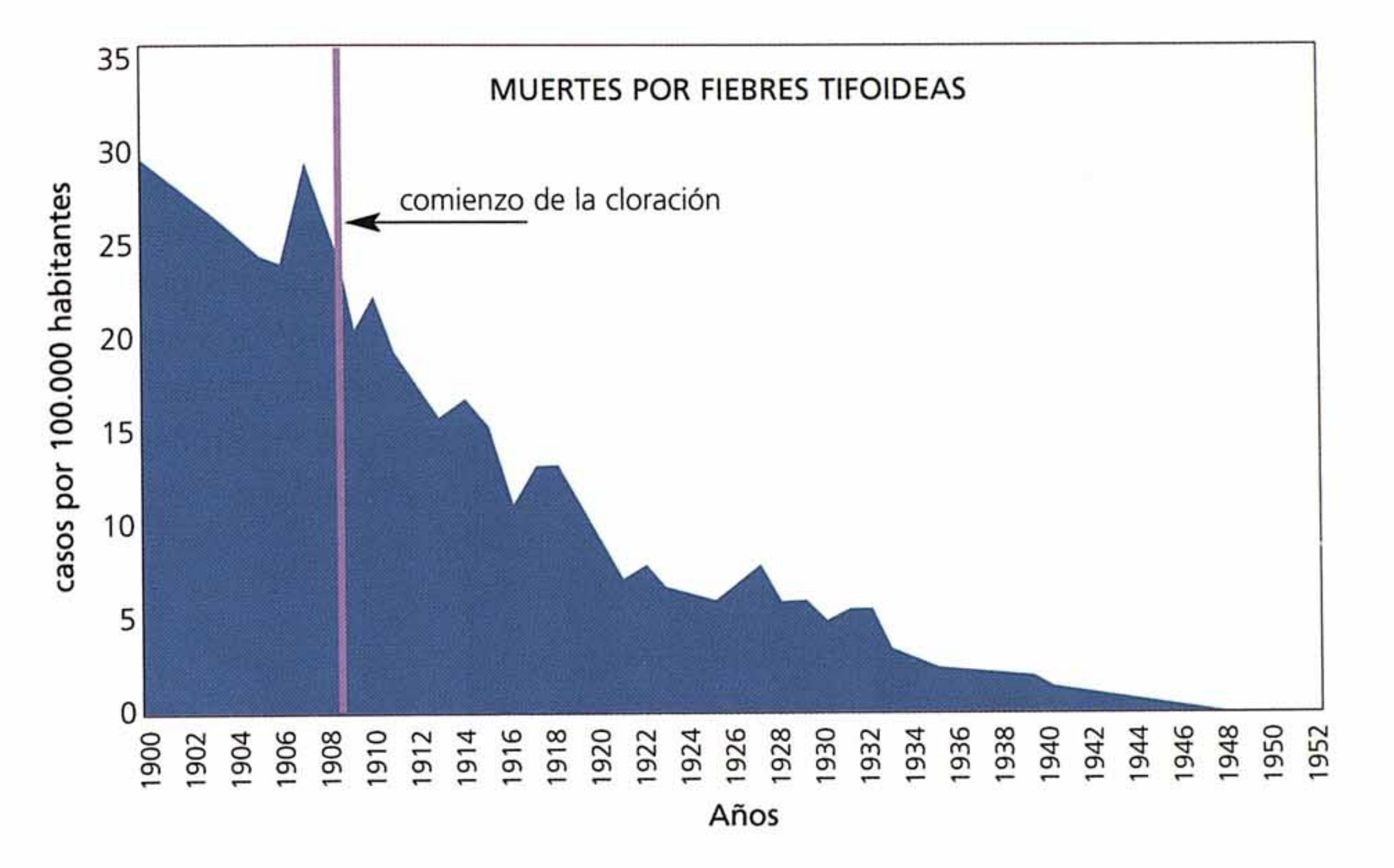
CIUDAD	DOTACIÓN
Madrid	90
Valencia	100
Barcelona	28,63
París	120
Nueva York	90,87
Glasgow	90,70
Londres	68
Edimburgo	60,50
Manchester	44,36
Liverpool	27,22

Dotación de agua en litros/habitante/día en diversas ciudades en torno a 1855 [Fuente: MAP & Ayuntamiento de Barcelona, 1991. *Memoria del Ensanche de Barcelona* (1859)].

CIUDAD	DOTACIÓN
Madrid (1890)	152
Santander (1878)	245
Vigo (1897)	170
Alicante (1905)	114
Valladolid (1891)	259
Melilla (1909)	100
Sevilla (1899)	115

Dotación de agua en litros/habitante/día en ciudades españolas (Fuente: Revista Obras Públicas).

Para ilustrar este aumento de demanda del consumo en las ciudades europeas del XIX, basta fijarnos en el caso de Madrid. Al resultar cada vez más escaso el caudal de los antiguos *viajes de agua*, que no llegaban a suministrar hacia el 1830 ni 15 litros por habitante y día, y agotados los recursos para aumentar el caudal por este sistema de minas, se planteó la necesidad de abastecer la ciudad con aguas potables procedentes de los ríos madrileños. Dejando por el camino algún proyecto fallido para aprovechar el abandonado Canal de Guadarrama (véase el capítulo de Historia), finalmente se decidió en 1851 que era el río Lozoya el único capaz de proveer de aguas potables en cantidad suficiente a la población madrileña. Una primera presa, la del Pontón de la Oliva, actuaría más como de elevación que de embalse para conducir las aguas a través del recién construido Canal de Isabel II y llegar hasta la misma Puerta del Sol para alimentar un surtidor de 30 metros de altura y 14 centímetros de diámetro, allá por 1858. La intención era dotar a los madrileños de un suministro de unos 90 litros por persona y día.



TENDENCIA EN LOS CASOS POR FIEBRES TIFOIDEAS EN LAS EE.UU ENTRE 1900 Y 1951 [FUENTE: CENTER FOR DISEASE CONTROL (US)].

Problemas de filtraciones y, en realidad, de poca capacidad de la presa del Pontón, provocaron la construcción de la presa del Villar aguas arriba, con el fin de embalsar y almacenar el agua del río en los períodos de abundancia y garantizar el suministro durante temporadas de escasez. Con su puesta en servicio en 1879, se abrió el debate sobre la calidad de las aguas y su idoneidad para el consumo, lo que se acentuó tras el período de sequía entre 1896 y 1899, y las posteriores aguas turbias que con las primeras lluvias fuertes presentaban un contenido de hasta 5 g de arcilla por litro de agua y 20 mg de materia orgánica al salir por los caños de las fuentes públicas. Hay que pensar que si bien las aguas del Lozoya, como las de casi cualquier río, son puras en su nacimiento, hasta llegar a su embalse recogen residuos de origen humano y animal, de modo directo o a través del arrastre por lluvias que malogran esta pureza. Por mucho que las conducciones hasta la ciudad fueran a cubierto, a salvo de posibles contaminaciones, las fiebres tifoideas seguían resultando endémicas en Madrid. De esta manera se impuso la necesidad de depurar las aguas antes de su entrada en la ciudad mediante procesos de filtración y reposo, siguiendo el ejemplo de otras ciudades europeas que igualmente se abastecen con aguas de ríos, usando para purificarla importantes instalaciones de filtros como precursores de las actuales estaciones de tratamiento.

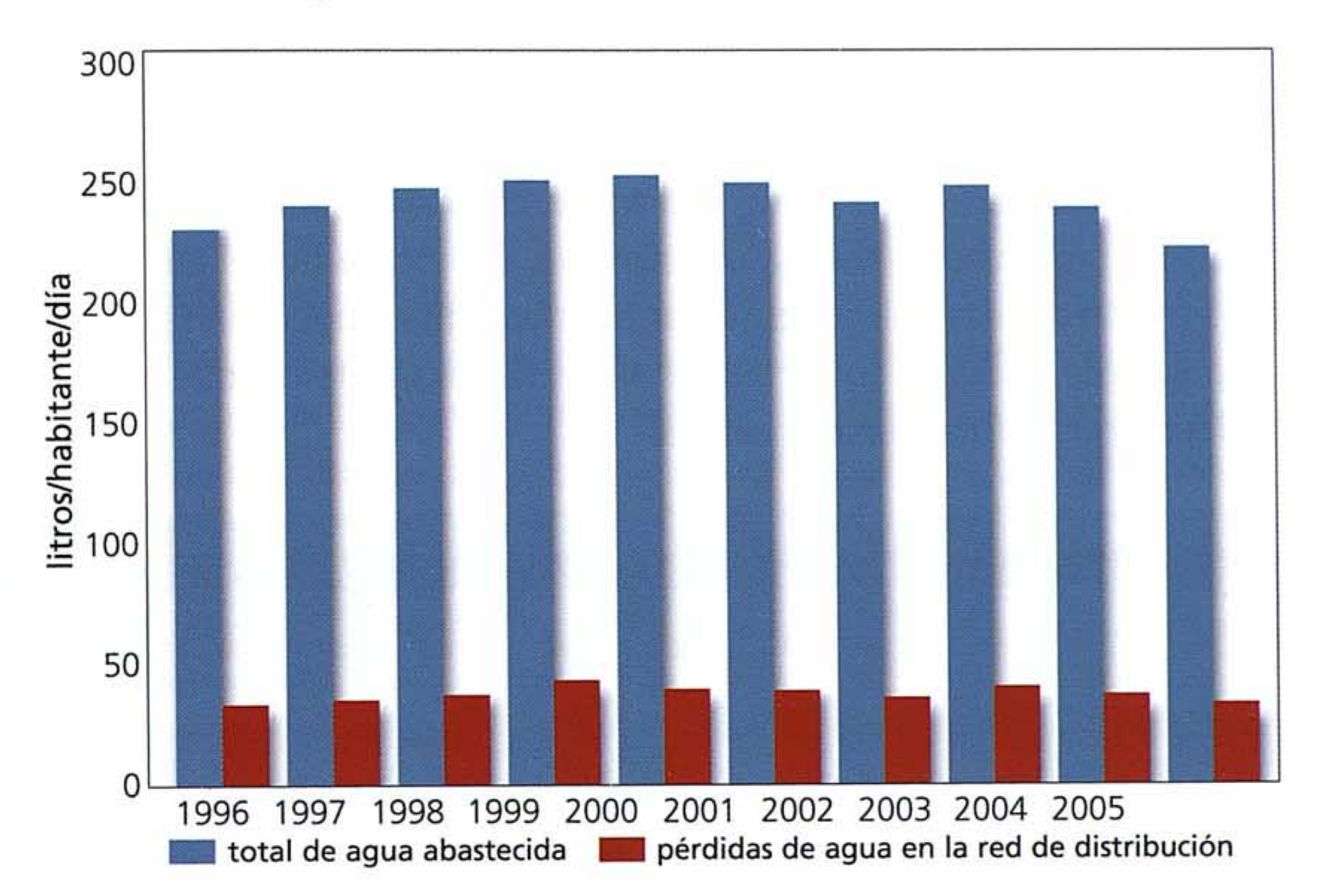
De vital importancia resultará la introducción de los procesos de desinfección del agua, a través del cloro u otros desinfectantes, que comenzó en Inglaterra a principios del siglo XX y se extendió rápidamente por los demás países, para acabar con muchas de las limitaciones que surgían en la captación de las aguas para el abastecimiento. En la siguiente gráfica se muestra el descenso en muertes por tifoideas en USA a partir del comienzo de los procesos de cloración. En España la última gran epidemia se dio en Barcelona en 1914 causando 2.500 muertes como consecuencia del agua de bebida contaminada procedente de Moncada. Una vez introducida la cloración en los procesos de tratamiento del agua, comienza a generalizarse la construcción de embalses como fuente de agua para el suministro de las poblaciones.

EL ABASTECIMIENTO EN EL SIGLO XXI

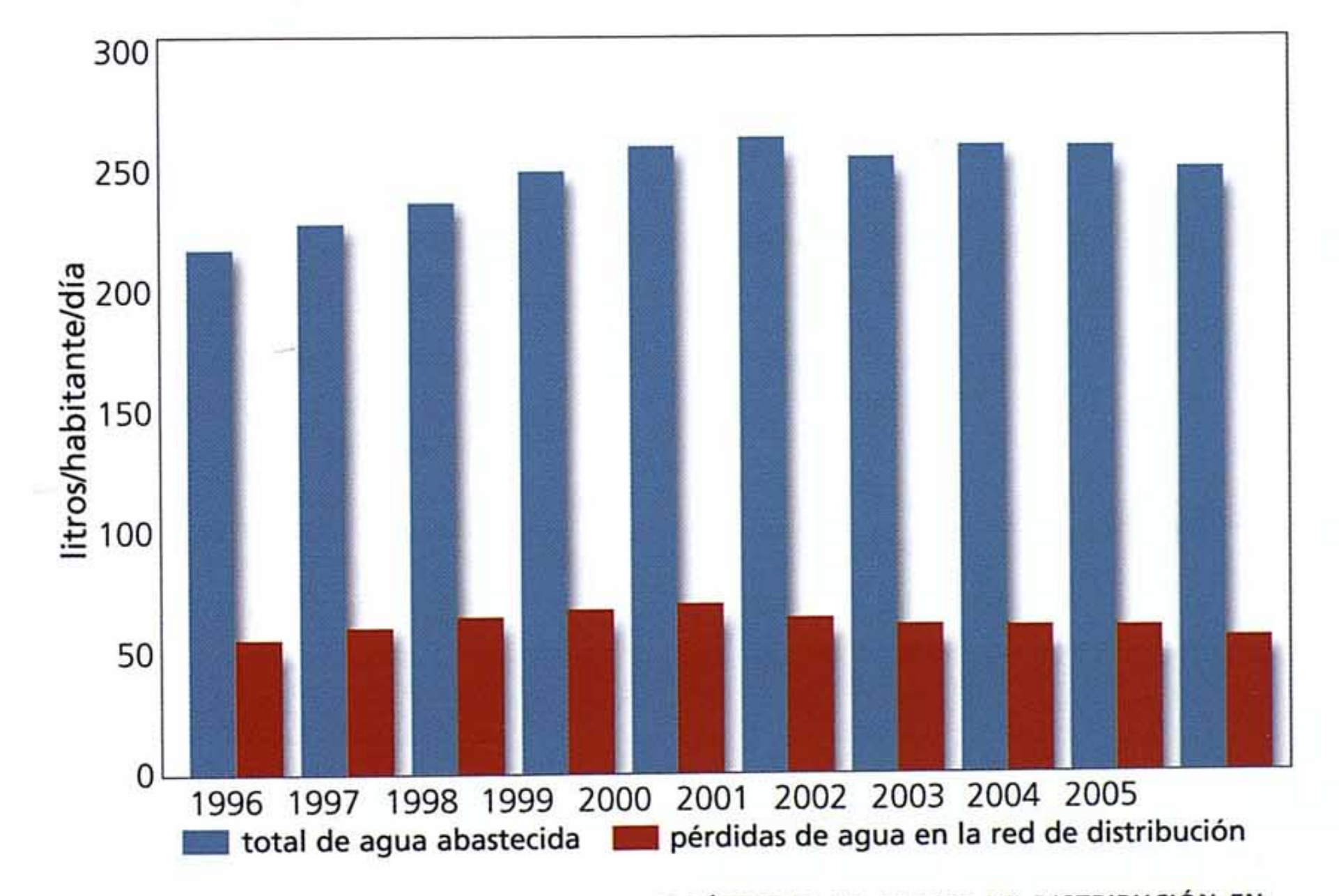
Las ciudades continúan siendo el punto geográfico donde se concentra la mayor parte de la población, de manera que en los últimos 200 años el promedio de habitantes de las 100 ciudades más grandes del mundo se ha multiplicado por 25, viviendo actualmente casi la mitad de la población mundial en zonas urbanas. Para el año 2025 se prevé que las zonas urbanas albergarán a más de las dos terceras partes de la población mundial, según datos de Naciones Unidas. Esta realidad supone un enorme reto en cuanto a dotar a la población de los servicios básicos y, entre ellos, algo tan indispensable como el abastecimiento de agua. Esta demanda de agua se puede clasificar, de acuerdo con el uso para el que es destinada, en cuatro grupos:

- **Doméstico.** Se trata del suministro a casas, hoteles, etc. El rango de consumo, que depende del poder adquisitivo de los consumidores está comprendido entre 75 y 350 litros por habitante y día. Puede representar el 50% del consumo total de la población.
- **Comercial e industrial.** Sería el destinado a establecimientos industriales y comerciales, como fábricas, oficinas y almacenes. El consumo de este sector depende, obviamente, del desarrollo industrial de la población, y puede suponer en ciudades de más de 25.000 habitantes un 15 % del total.
- **Uso público.** Hablaríamos en este caso del agua destinada a edificios públicos y usada para servicio público, como riego de calles, jardines, prevención de incendios, etc., supone un consumo aproximado de 50 — 75 litros por habitante y día.

- **Pérdidas y desperdicios.** Es el agua no asignada a un usuario específico, atribuida a errores de lectura en contadores, tomas fraudulentas y fugas en el sistema de distribución. Estas fugas pueden suponer más del 19% del agua distribuida en nuestro país (*El País*, 16-06-2005), el equivalente al derogado trasvase del Ebro.



Gráfica comparativa entre agua abastecida y pérdidas en la red de distribución en la Comunidad de Madrid (Fuente: INE).



Gráfica comparativa entre agua abastecida y pérdidas en la red de distribución en España (Fuente: INE).

El estudio de los procesos de abastecimiento deben contemplar cuatro objetivos principales: cantidad y calidad de las aguas suministradas, sistemas de conducción y sistemas de distribución de las mismas. Podemos dividir el proceso de abastecimiento en varias fases: Captación, Aducción, Tratamiento, Almacenamiento y Distribución.

CAPTACIÓN

De la serie de procesos que integran el ciclo hidrológico, las precipitaciones aportan el agua para el consumo o el aprovechamiento por la población asentada en los núcleos urbanos. La captación es el proceso por el cual el agua se recoge del medio natural, ya sea a partir de las aguas superficiales, ríos y lagos principalmente, o de las aguas subterráneas de los acuíferos, que tienen notables diferencias físico-químicas entre sí.

CARACTERÍSTICAS	AGUAS SUPERFICIALES	AGUAS PROFUNDAS
Temperatura	Variable, marcada estacionalidad.	Relativamente constante.
Turbiedad, materia en suspensión	Variables, en ocasiones elevadas.	Bajas o nulas.
Mineralización	Variable, en función del terreno, precipitaciones, vertidos, etc.	Muy constante, generalmente mayor que en aguas superficiales de la misma región.
Fe y Mn divalentes (disueltos)	Generalmente ausentes, salvo en el fondo de cauces eutrofizados.	Normalmente presentes en gran cantidad.
Gas carbónico agresivo	Ausencia general.	Presente en gran cantidad, normalmente.
O_2 disuelto	Próximo a la saturación.	Ausencia total, en la mayoría de los casos.
Amoniaco	Presente sólo en aguas contaminadas.	Presencia frecuente, sin ser un índice sistemático de contaminación.
Sulfuro de hidrógeno	Ausente.	Presencia frecuente.
Sílice	Contenido moderado.	Contenido elevado.
Nitratos	Poco abundantes, en general.	Contenido a veces elevado, riesgo de metahemoglobinemia.
Biomasa	Bacterias (algunas de ellas patógenas), virus, plancton.	Frecuentes ferrobacterias.

Diferencias más importantes entre las aguas superficiales y profundas.

Aguas superficiales. Presas y embalses

Una presa es una obra de ingeniería construida para retener el agua de un cauce natural, bien para elevar el nivel de dicho cauce con objeto de poder derivarlo a una conducción (las presas de derivación), o bien para almacenar excedentes de agua que aseguren el suministro en tiempos de escasez (los embalses), pudiendo ambas funcionalidades coincidir en la misma infraestructura.

Al margen del efecto directo que provoca la construcción de una presa (movimiento de tierras, erosión, inundación de las tierras afectadas, etc.), existe un efecto definitivo sobre la hidrología y la ecología de río. En primer lugar, las propias aguas embalsadas acumulan gran cantidad de materia orgánica de las propias tierras inundadas, e igualmente reciben el aporte de otros materiales procedentes de aguas arriba, como son los fertilizantes, que sirven de nutriente para el desarrollo de multitud de organismos cuyo exceso no resulta beneficioso para la calidad del agua, produciéndose problemas de eutrofización.

A la vez que en el embalse se retiene el agua traída por el cauce fluvial, lo hacen también los sedimentos arrastrados por éste. Esta retención priva a las tierras que se encuentran aguas abajo de terrenos aluviales ricos en limos, tan importantes para la productividad agrícola. De la misma manera, la disminución en el aporte de sedimentos a las costas provoca la erosión sobre playas y deltas, que ceden ante el empuje del mar.

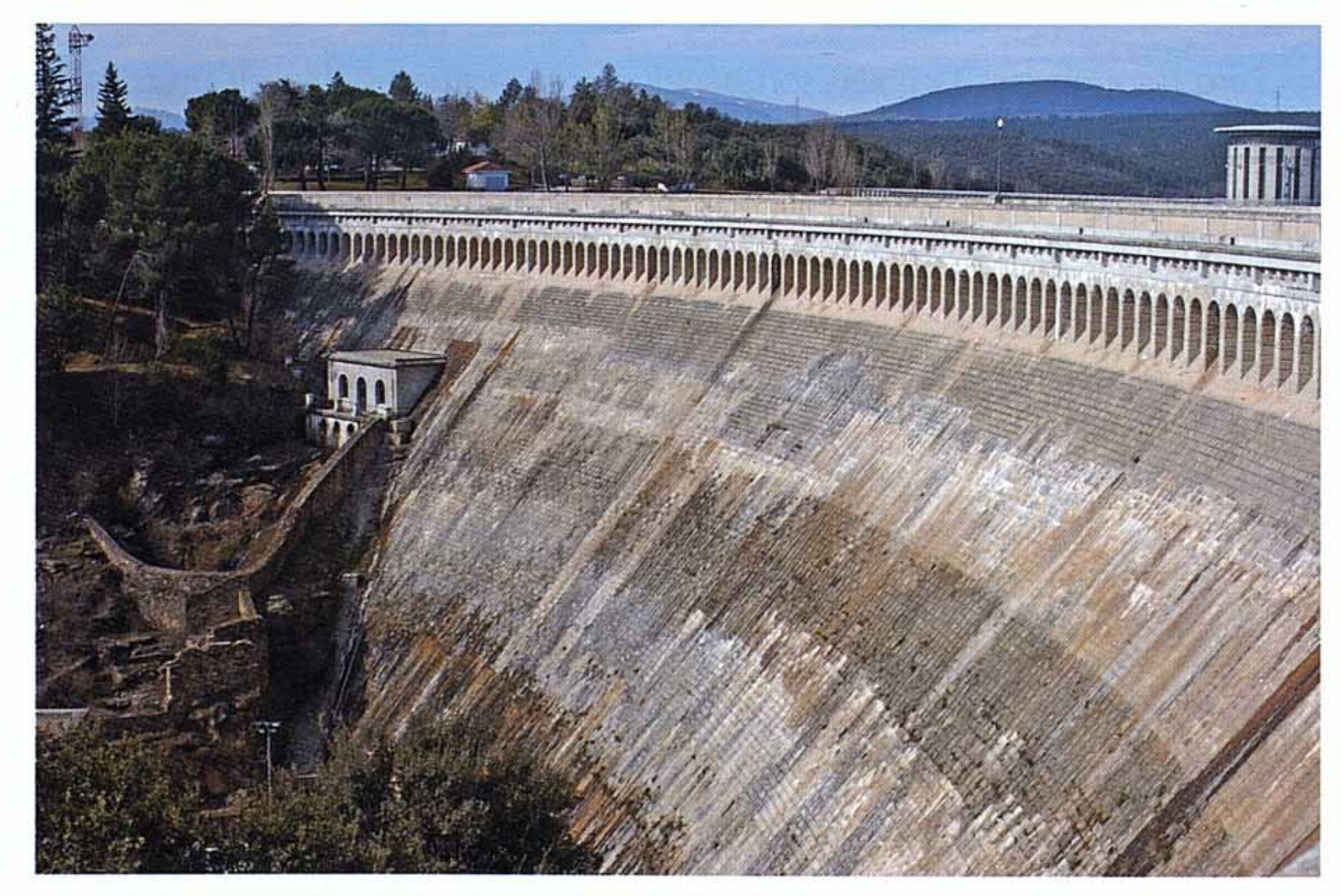
Pero los embalses también son beneficiosos, ya que establecen un control sobre las inundaciones, y son una garantía para el suministro de agua para uso agrícola, industrial y doméstico. Otro beneficio de gran relevancia es la utilización de las aguas embalsadas para la producción de energía eléctrica.

A tenor de todas estas premisas, podemos hacernos una idea de la importancia que tiene decidir el emplazamiento de una presa, que debe tener en cuenta factores tanto económicos, sociales, logísticos y tecnológicos, como otro tipo de factores muy importantes, los ambientales.

También el tipo de terreno determinará el tipo de presa a construir, siendo tres las modalidades de construcción:

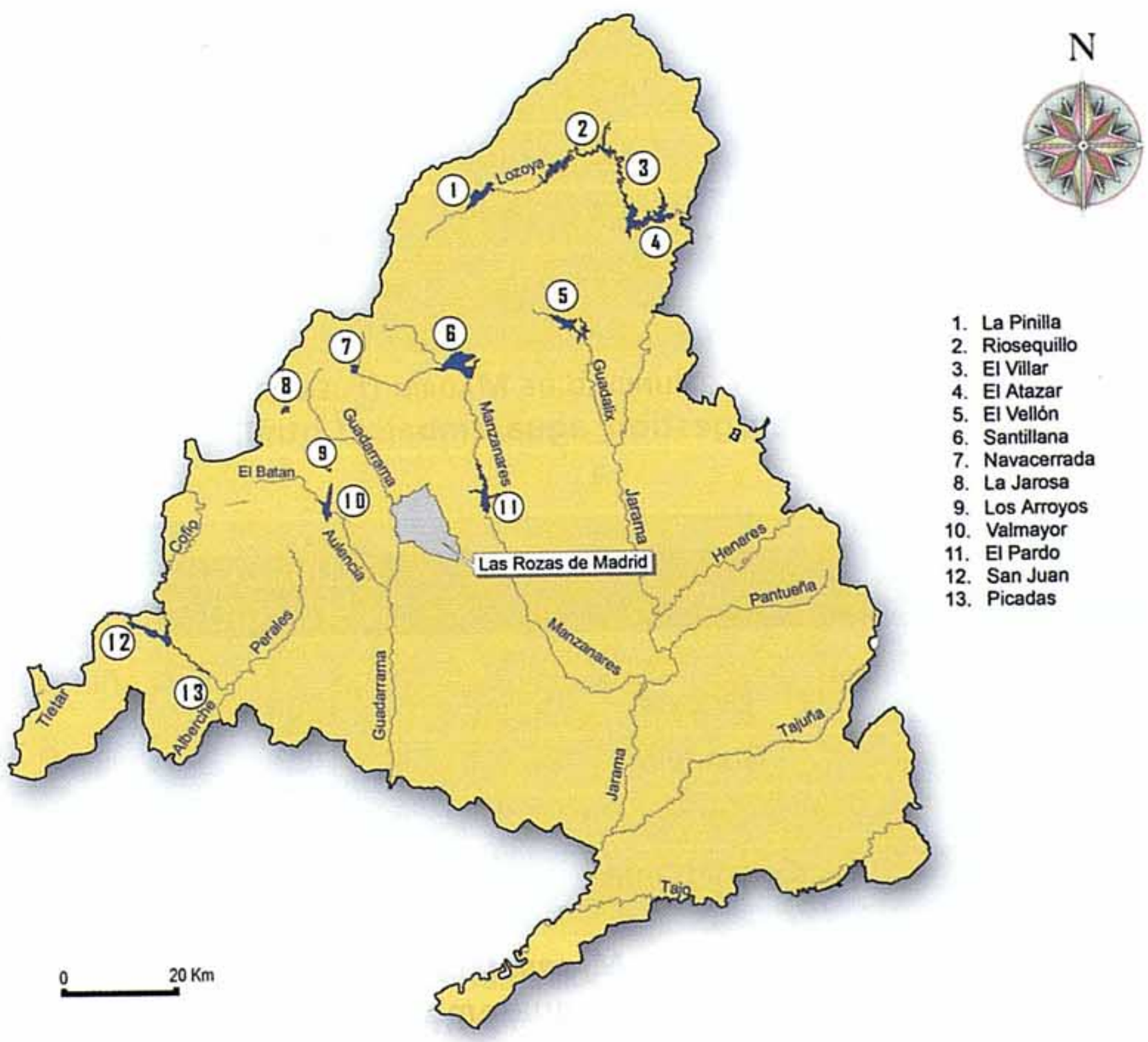
- **Presa de escollera**. De gran resistencia, pero requiere para su construcción un volumen grande de material. De este tipo es la presa de Valmayor.
- **Presa de gravedad**. Consistente en una estructura de fábrica (hormigón, mampostería ó sillería) que soporta el empuje del agua por su propio peso. Es el tipo de presa más empleado en la Comunidad de Madrid. Son ejemplos las del embalse del Villar o la de Puentes Viejas.

La presa de Valmayor, situada sobre el río Aulencia entre los términos municipales de Valdemorillo y Colmenarejo, es un ejemplo de presa tipo escollera. Tiene una capacidad máxima de embalse de 124,4 Hm^3.



El embalse de El Villar, con su magnífica presa de gravedad, está situado en el curso bajo del río Lozoya. Es el más antiguo en funcionamiento de toda la región. Tiene una capacidad de 22,4 Hm^3.

El embalse de El Atazar en el río Lozoya, al noroeste del término de Patones, es el mayor de la Comunidad de Madrid, con una capacidad máxima de 425,3 Hm^3. Su presa en bóveda es una impresionante obra de ingeniería.



Embalses de abastecimiento de la Comunidad de Madrid.

EMBALSE	ENTRADA EN SERVICIO	CAPACIDAD (Hm^3)
Cuenca del Lozoya		**589,0**
El Villar	1879	22,4
Puentes Viejas	1939	53,0
Riosequillo	1958	50,0
Pinilla	1967	38,1
El Atazar	1972	425,3
Cuenca del Jarama		**55,7**
El Vado	1960	55,7
Cuenca del Guadalix		**40,9**
Pedrezuela	1968	40,9
Cuenca del Manzanares		**102,0**
Manzanares el Real	1912-1971	91,2
Navacerrada	1969	11,0
Cuenca del Guadarrama		**132,0**
Navalmedio	1969	0,7
La Jarosa	1969	7,2
Valmayor	1976	124,4
Cuenca del Alberche		**26,0**
Los Morales	1988	2,3
La Aceña	1991	23,7
Total embalsado		**945,6**

Embalses de abastecimiento de la Comunidad de Madrid (Fuente: Canal de Isabel II http://www.cyii.es/cyii.es/web/gestion_agua/embalses.html).

DENOMINACIÓN	RÍO	ENTRADA EN SERVICIO
La Parra	Lozoya	1904
El Mesto	Guadalix	1906
Pozo de los Ramos	Sorbe	1972
Las Nieves	Guadarrama	1974

Presas de derivación en la Comunidad de Madrid (Fuente: Canal de Isabel II http://www.cyii.es/cyii.es/web/gestion_agua/embalses.html).

- **Presa de bóveda**. Con sección en arco que ofrece una superficie curva de gran resistencia. Se hace especialmente apropiada para cerrar un valle escarpado, como en el caso de la presa del Atazar.

La Comunidad de Madrid cuenta con 14 embalses de abastecimiento, aunque geográficamente puedan estar en otra provincia, y cuatro presas de derivación que dan servicio al Canal de Isabel II.

Aguas subterráneas

Generalmente, al hablar de abastecimiento, escasez, calidad o cantidad de agua, se suele hacer referencia a las aguas superficiales. Sin embargo, como vimos en el capítulo relativo al ciclo hidrológico, el volumen del reservorio de aguas subterráneas es más de 200 veces superior al de ríos y lagos juntos. Las aguas subterráneas han sido utilizadas por el hombre desde antiguo, siendo actualmente indispensable en amplias zonas del mundo. Su aprovechamiento puede realizarse bien utilizando los numerosos afloramientos naturales como

PAÍS	% DE AGUAS SUBTERRÁNEAS PARA ABASTECIMIENTO URBANO (DATOS IWSA)
Austria	99
Dinamarca	99
Italia	88
Checoslovaquia	83
Alemania	73
Luxemburgo	73
Holanda	70
Bélgica	67
Finlandia	65
Suiza	49
Gran Bretaña	28
Hungría	28
España	26
Suecia	22

Porcentajes de consumo de aguas subterráneas para abastecimiento urbano en diferentes países de Europa (Fuente: *Aguas subterráneas y abastecimiento urbano*, Fernández Rubio & al., 2000).

CUENCA	% CONSUMO TOTAL DE AGUA SUBTERRÁNEA			
	<2.000 habitantes	2.001-10.000 habitantes	10.001-50.000 habitantes	>50.000 habitantes
Norte	17	16	36	32
Duero	75	16	9	0
Tajo	13	13	4	70
Guadiana	23	52	25	0
Guadalquivir	21	45	26	8
Sur	22	23	28	27
Segura	33	19	48	0
Júcar	15	27	35	23
Ebro	37	28	17	17
Internas de Cataluña	2	6	25	67
Total peninsular	**19**	**24**	**25**	**32**

Distribución del abastecimiento de agua por cuencas según el número de habitantes de los núcleos urbanos (Fuente: *Aguas subterráneas y abastecimiento urbano*, Fernández Rubio & al., 2000).

fuentes o manantiales, o mediante obras subterráneas de captación, principalmente pozos y sondeos.

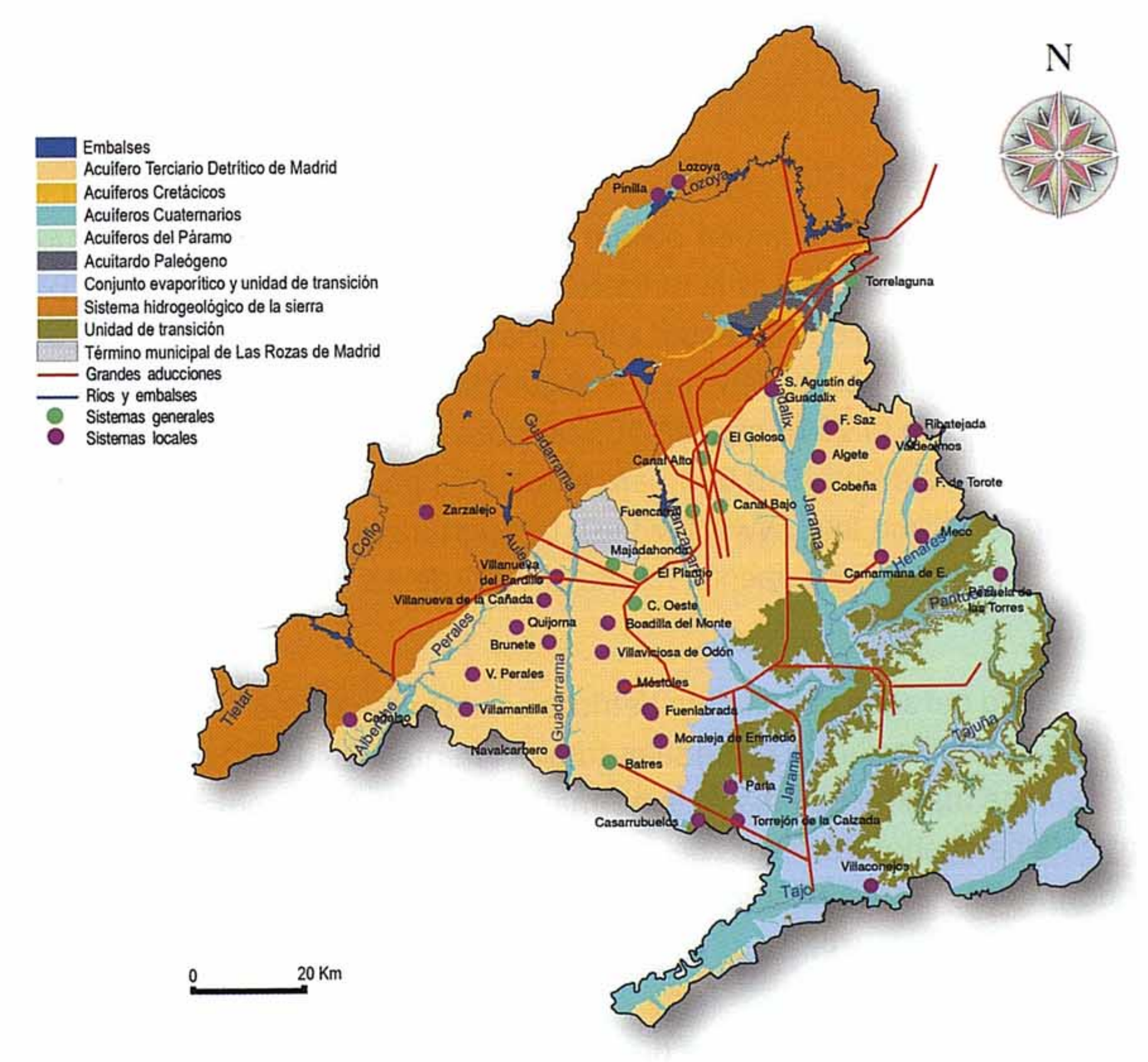
Actualmente el aprovechamiento de aguas subterráneas para abastecimiento urbano asciende en España a 1.080 Hm^3/año, según datos de *El Libro Blanco de las aguas subterráneas* (MINER & MOPTMA, 1995), que satisface la demanda de unos 12 millones de habitantes. Estas cifras suponen aproximadamente un 26% del agua consumida en abastecimiento urbano, lejos de las cifras de otros países del entorno.

En realidad, en nuestro país las aguas subterráneas suelen utilizarse como apoyo complementario para grandes abastecimientos, llegando a ser el principal tipo de abastecimiento en poblaciones de menos de 15.000 habitantes.

En la Comunidad de Madrid la gestión de las aguas subterráneas es competencia del Canal de Isabel II, para cuya captación aprovecha los acuíferos del detrítico terciario y las calizas de Torrelaguna, que cuentan con un agua de muy buena calidad. Hablamos de una superficie de 2.500 km^2 de acuífero,

con unos recursos renovables utilizables de 130-150 Hm^3/año y unas reservas máximas utilizables de 2.000-4.000 Hm^3. El Canal de Isabel II dispone de 54 pozos en 6 zonas generales de extracción, con profundidades que alcanzan generalmente los 400-500 m, llegando en algunos casos hasta los 700 m. También se dispone de 68 pozos en sistemas locales, si bien la mayoría sólo sirven de garantía como fuente de suministro alternativo en caso de fallo en la conducción general.

Estas aguas son gestionadas como un recurso estratégico utilizándolas como fuente de suministro complementaria en períodos de escasez hídrica y/o en casos de incidencias en los sistemas de distribución. En los períodos húmedos la demanda hídrica se cubre normalmente con aguas superficiales, mientras que en épocas de sequía, cuando descienden los volúmenes almacenados en los embalses, entran en servicio —entre otros recursos— las aguas subterráneas.



Localización de los sistemas de pozos del Canal de Isabel II (Fuente: Canal Isabel II).

En un período de sequía como el de 1992 a 1995, el volumen de aguas subterráneas utilizado para el año 1995 fue de 47,1 Hm^3, un 9,5% del total abastecido por el Canal. Pasado este período seco, en 1997, la contribución de las aguas subterráneas al abastecimiento se redujo a 1,2 Hm^3.

Cabe señalar que el aprovechamiento de las aguas del acuífero terciario detrítico madrileño no se efectúa sólo por el Canal de Isabel II, evaluándose por parte de la Consejería de Medioambiente de la Comunidad de Madrid en 67 Hm^3 las extracciones realizadas por particulares en el año 1997 para diferentes aprovechamientos.

APROVECHAMIENTO	VOLUMEN (Hm^3)
Urbanizaciones	35
Industria y ganadería	13
Abastecimiento	10
Regadíos	9

Aprovechamiento por particulares de las aguas del acuífero detrítico madrileño en el año 1997 (Fuente: Consejería de Medioambiente de la Comunidad de Madrid).

Con estas cifras, y contando con posibles altos volúmenes de extracción por parte del Canal, se pondrían en peligro las reservas del acuífero, por lo que la intención del propio Canal es la utilización de estas aguas únicamente en períodos de sequía en los que las aguas superficiales puedan no ser suficientes. Asimismo, no hay que perder de vista que según datos de la Confederación Hidrográfica del Tajo en el 2006 existían 18.600 pozos ilegales en la Comunidad de Madrid, que se elevan a 510.000 para el total del país según datos de Adena-WWF para el mismo año (www.wwf.es). La apertura de pozos por particulares requiere una licencia que apenas solicita el 20% de los dueños de los terrenos.

La calidad del agua del acuífero detrítico es, en general, buena o muy buena, con baja mineralización (200 mg sales totales/l frente a los 1.500 mg sales totales/l de límite máximo que marca la normativa vigente), baja dureza y exenta de gérmenes patógenos. Las aguas del acuífero calizo de Torrelaguna son más duras, siendo tratadas en planta como ocurre con las aguas superficiales.

ADUCCÍÓN

Al proceso de conducir el agua desde su captación a la planta de tratamiento se le denomina *aducción*. El trazado a seguir por las obras de conducción debe contemplar *a priori* diferentes aspectos que se resumen del siguiente modo:

- Longitud.
- Condiciones geológicas y geomecánicas de los suelos que cruza.
- Usos del suelo por el corredor previsto.
- Tipo y número de cruces que se presentan (vías, fuentes superficiales, humedales, etc.).
- Vegetación predominante en las zonas por donde vaya a pasar la conducción.
- Infraestructura actual existente a lo largo del trazado y posibles proyectos futuros.

DENOMINACIÓN	PUESTA EN SERVICIO	LONGITUD (km)	CAPACIDAD (m^3/s)
Canal Bajo	1858	58,1	4
Canal de La Parra	1904	23,7	3
Canal Guadalix	1906	3,7	4
Canal Santillana	1912	36	4,5
Canal Villar	1912	16,7	8
Canal Alto	1940	56	6
Canal Este	1945	13,7	3,25
Canal Jarama	1960	34,4	8
Depósitos Pza. Castilla-Bravo Murillo	1952-66	3,7	6,5
Canal Atazar	1966-70	65,4	16
Canal Picadas	1967	49,2	3,8
Canal Oeste	1968	30,7	3
Canal Vellón	1968	6,7	8
Arteria Cintura Sur	1969-85-1991	21,5	6
Trasvase Navalmedio-Navacerrada	1969	4,5	5,8
Canal Sorbe	1971	9,3	8
Arteria Majadahonda-Retamares	1973-85	14	6
Arteria Principal Este	1973	17,1	6
Canal Valmayor	1976	17,4	6
Trasvase Las Nieves	1976	5,1	30
Trasvase Aceña-Jarosa	1991	10,2	10
Trasvase S. Juan-Valmayor	1993	32	6

Grandes conducciones en la Comunidad de Madrid (Fuente: Canal de Isabel II, www.cyii.es).

Las obras de conducción se pueden dividir en dos tipos principales:

- Conducciones en lámina libre, es decir, el agua circula por la propia pendiente de la conducción, desde el punto de toma, que tendrá más cota o altura, hasta el punto de entrada. En este caso hablamos de canales, acueductos, etc.
- Conducciones en carga o forzadas, generalmente llamados sifones, que se utilizan cuando el punto de toma está situado a una cota más baja que la entrada en planta, para salvar la diferencia de alturas, se emplean grupos de bombeo. Son conducciones que transcurren por tuberías cerradas, fabricadas con materiales resistentes que aguanten sin problemas la presión del agua.

Las conducciones destinadas para abastecimiento suelen estar cubiertas, para preservar al agua de contaminaciones, cambios de temperatura o desprendimientos y caídas de objetos. Son las aguas destinadas a riegos, trasvases u otras funciones en las que la calidad no es determinante, las que circulan a cielo abierto.

TRATAMIENTO.

ESTACIONES DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (E.T.A.P.)

La utilización de las aguas superficiales como fuente de abastecimiento para el consumo humano debe tener en cuenta la posibilidad de que puedan contaminarse y sea imposible su aprovechamiento. En general, la procedencia de estos contaminantes puede ser natural o de origen humano, siendo la más importante, sin duda, esta última. Según el punto 3, artículo 7 del Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, la calidad del agua de la captación deberá ser tal que pueda ser potabilizada con los tratamientos de potabilización. Para garantizar que la calidad del agua de abastecimiento es la adecuada para el consumo humano ha de pasar por una Estación de Tratamiento de Agua Potable (E.T.A.P.), en la que se eliminan tres tipos principales de sustancias: materia mineral, materiales orgánicos y contaminantes biológicos. Además, el agua debe ser incolora, inodora, sin sabor ni turbiedad que provoquen rechazo por parte de los que la consumen.

El proceso de tratamiento más usual que tiene lugar en las E.T.A.P. es el siguiente:

Preoxidación

Del agua bruta que entra en la estación de tratamiento se intenta eliminar en primer lugar las materias orgánicas e inorgánicas por oxidación. Para ello se

introduce una agente químico que reaccione con estas materias, siendo los agentes oxidantes utilizados aire atmosférico, cloro, dióxido de cloro, permanganato potásico, ozono y agua oxigenada, que actuarán solos o combinados.

Coagulación y floculación

Para eliminar las partículas muy pequeñas que flotan en el agua se añaden reactivos en forma de sales metálicas que, junto a procesos de agitación rápida y lenta, consiguen agrupar estas partículas en otras mayores que puedan decantar por gravedad.

Decantación

Las partículas y agrupaciones de coloides formadas en las fases anteriores circulan por los decantadores a baja velocidad donde, por gravedad, se depositarán en el fondo. Después son extraídas en forma de fango para un posterior tratamiento.

Filtración

Para extraer las partículas más pequeñas que no hayan quedado en el proceso de decantación, se hace pasar el agua por unas balsas con filtro de arena donde estas partículas quedarán retenidas. El lecho de arena se lava con aire a presión y con agua dirigida en dirección contraria al agua bruta que entra, recuperando esta agua de lavado y enviándola a la cabecera del tratamiento.

Neutralización

Tiene como misión neutralizar la acidez del agua, empleando para ello reactivos químicos de tipo alcalino, como cal o sosa.

Desinfección final

Proceso de gran importancia en el que se eliminan los microorganismos que puedan sobrevivir en el agua, añadiendo cloro o compuestos clorados, que garantizan la calidad del agua ante posibles contaminaciones accidentales en la red de distribución.

Estos serían los procesos de tratamiento de potabilización generales, pudiéndose realizar otros tratamientos más exigentes o *de afine*, entre los que se podrían destacar:

- Filtro de carbono activo, con el fin de retener moléculas que puedan dar malos olores o sabores al agua.
- Ozonización, utilizando el ozono como desinfectante y viricida en la cabecera de los tratamientos o bien al final de éstos.
- Ablandamiento, sobre aguas que por su dureza requieren de un tratamiento químico para la eliminación de sales de calcio y magnesio.

E.T.A.P.	AÑO ENTRADA EN SERVICIO	CAPACIDAD MÁXIMA DE TRATAMIENTO (m^3/día)	FASES DEL PROCESO DE TRATAMIENTO								
			Aireación	Preoxidación	Coagulación-floculación	Decantación	Filtración (arena)	Filtración (carbón)	Neutralización	Ozonización	Desinfección
Torrelaguna	1967	520.000		■	■	■	■		■		■
Majadahonda	1967	330.000		■	■		■		■		■
El Bodonal	1969	345.00		■	■	■	■		■		■
Navacerrada	1969	85.000	■	■	■	■	■		■		■
La Jarosa	1969	130.000	■	■	■	■	■		■		■
Santillana	1972	345.000		■	■	■	■		■	■	■
Colmenar	1976	1.380.000		■	■	■	■		■		■
Valmayor	1976	520.000		■	■	■	■		■	■	■
Rozas de Puerto Real	1988	15.000		■	■	■	■		■		■
Pinilla	1992	36.000		■	■	■	■		■		■
San Agustín	1992	3.500		■	■	■	■				■
La Aceña	1994	43.200		■	■	■	■		■	■	■

Plantas o Estaciones de Tratamiento de Agua Potable (E.T.A.P.) del Canal de Isabel II.

ALMACENAMIENTO

El agua está ya preparada para el consumo después de pasar por los procesos de potabilización, pero, antes de entrar en las redes de distribución que la harán llegar a nuestras casas, es almacenada en depósitos. Éstos cumplen la función de regular el caudal entre el consumo y la aportación, así como la de garantizar la reserva de agua frente a posibles averías entre captación y depósito. A la vez, son los encargados de dotar de una presión más o menos constante a la red de distribución.

En la Comunidad de Madrid el depósito de más capacidad es el de El Goloso, con una superficie de 69.400 m^2 y una altura de agua de 7,7 m, es decir, más de 534 millones de litros de agua. Los depósitos suelen situarse en puntos elevados de manera que el agua se distribuya por gravedad, y si este no fuera el caso, las estaciones de elevación toman el agua de los depósitos reguladores y la bombean a los puntos altos de la red de distribución. En general, el caudal que mueven estas

estaciones de elevación es inversamente proporcional a la altura a la que es elevado, excepto en algunas de gran potencia eléctrica, como las asociadas a los embalses de Picadas y San Juan, en el suroeste de la provincia de Madrid.

DISTRIBUCIÓN

La llamada red de distribución es el conjunto de tuberías y elementos de maniobra y control que conducen el agua desde los depósitos hasta las acometidas de los usuarios. Estas redes, por su forma, pueden ser de dos tipos:

- **Ramificadas o arborescentes**. Son de menor longitud y más económicas, pero presentan pocas garantías en caso de rotura.
- **Mallables.** Formando redes que garantizan un mejor servicio y reparto de presiones.

Ya podemos abrir el grifo en nuestras viviendas y disponer del preciado líquido para beber, lavarnos, cocinar, o dar de beber a nuestras mascotas. Ahora debemos asegurarnos de que el agua que estamos utilizando posee la calidad adecuada. Trabajo arduo éste de conseguir que todos podamos disponer de agua de calidad en nuestros domicilios. Sin duda, un gran invento que debemos valorar adecuadamente.

SANEAMIENTO

En este punto del ciclo integral del agua tenemos garantizado que en nuestras viviendas o industrias podemos disponer de agua con la calidad adecuada para el uso que le vayamos a dar. Así que abrimos el grifo y tras lavarnos los dientes, ducharnos, poner la lavadora o fregar los platos, el agua que con tanto mimo se nos ha preparado vuelve al medio tras haber sido utilizada. Comenzamos a partir de ahí el proceso de saneamiento que podríamos definir como aquel cuyo objetivo es la recogida y transporte del agua residual y el tratamiento tanto de ésta como de los subproductos generados en el curso de esas actividades, de forma que su evacuación produzca el mínimo impacto en el medio ambiente. Podemos deducir una relación entre los tratamientos del agua antes y después de un determinado uso, pues cuanto mejor sea el proceso de depuración de las aguas residuales, dotaremos de una mayor calidad a las aguas que en el medio natural puedan servir para el abastecimiento, dando así un enfoque global al uso del agua.

AGUAS RESIDUALES

Hablamos de agua residual como de aquella que procede de haber utilizado un agua natural, o de la red, para un uso determinado. Según su procedencia (Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre, aplicación de la Directiva 91/271

CEE por la que se establecen las Normas Aplicables al Tratamiento de las Aguas Residuales Urbanas) se clasifican y definen de la siguiente manera:

- *Aguas residuales urbanas.* Las aguas residuales domésticas o la mezcla de éstas con aguas residuales industriales o con aguas de escorrentía pluvial.
- *Aguas residuales domésticas.* Las aguas residuales procedentes de zonas de vivienda y de servicios, generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas.
- *Aguas residuales industriales.* Todas las aguas residuales vertidas desde locales utilizados para cualquier actividad comercial o industrial, que no sean aguas residuales domésticas ni aguas de escorrentía pluvial.

Es decir, las aguas residuales urbanas englobarían a unas aguas residuales de origen doméstico, otras de origen pluvial desde las calles y otras de origen industrial, que son recogidas todas juntas por las redes de alcantarillado.

Por la diferencia entre la naturaleza de los efluentes de origen doméstico y pluvial y los de origen industrial, y para una mejor comprensión del comportamiento de estas aguas residuales, trataremos como aguas residuales urbanas a las procedentes de viviendas y arrastre por lluvias y como aguas residuales industriales a las de origen propiamente industrial.

Aguas Residuales Urbanas

Aguas residuales domésticas

La procedencia de las aguas residuales domésticas se da desde dos puntos principales:

- Excretas, constituidas por los residuos líquidos y sólidos que son resultado de los procesos metabólicos humanos. Entre sus componentes se encuentran agua, celulosa, lípidos, prótidos, otros compuestos orgánicos como urea, aminoácidos y alcoholes, sales, y materia orgánica en general, con una parte importante de nitratos, fosfatos y sales de potasio. Es el tipo de vertido más importante por su composición y concentración, teniendo en cuenta que diariamente, una persona sana elimina 1,3 litros de orina y unos 77 g de heces. Esto viene a suponer unos 10,9 y 2,2 gramos de nitrógeno y fósforo por persona y día (Tchobanoglous, 1995).
- Residuos domésticos, procedentes de la evacuación de los residuos y manipulaciones de cocinas (desperdicios, residuos animales y vegetales, detergentes y partículas), de los lavados domésticos (jabones, detergentes, sales, etc.), y de la actividad general de las viviendas (celulosa, almidón, glucógeno, insecticidas, partículas orgánicas, etc.).

Aguas de arrastres de lluvia

Al caer el agua de lluvia arrastra en su posterior escorrentía las partículas y fluidos presentes en las superficies por donde discurre, como polvo de materiales de construcción de los tejados, hidrocarburos de los pavimentos, restos vegetales y animales, así como tierras de parques y jardines, etc.

Características físicas de las aguas residuales urbanas

Sólidos

En general los sólidos que contienen las aguas residuales urbanas no pasan de 1.000 ppm (partes por millón o mg/l), pudiendo ser de origen orgánico (restos animales y vegetales) o inorgánico (restos minerales como arenas, arcillas, lodos, gravas, etc.). Según su disposición en las aguas residuales podríamos clasificarlos en cuatro grupos:

Sólidos sedimentables

Partículas más gruesas que son susceptibles de depositarse por gravedad en el fondo de los receptores. Se componen de un 70% de sólidos orgánicos y un 30% de inorgánicos.

Sólidos en suspensión

Se trata de partículas flotantes, como trozos vegetales, animales, basuras, etc., y otras partículas perceptibles a simple vista y que pueden ser separadas por métodos físicos, como arcillas o arenas. Un 68% serían restos orgánicos y el resto inorgánicos.

Disoluciones coloidales

En este caso los sólidos serían cuerpos a medio camino entre las verdaderas disoluciones y las partículas de suspensiones más groseras, aproximadamente entre 1mμ y 0,2mμ de diámetro (0,001 y 0,0002 mm). Unas tres cuartas partes serían componentes orgánicos. Son fácilmente degradables y con gran capacidad de absorción, características a tener en cuenta para su posterior tratamiento.

Sólidos disueltos

Son los residuos no filtrables, que sólo se detectan cuando se evapora el agua que los contiene. Un 40% serían productos orgánicos y el 60% inorgánicos.

Todos estos sólidos, aparte de causar problemas en las propias conducciones, dañan los fondos de los cauces naturales, así como a los organismos vivos al reducir la penetración de la luz y, por tanto, la actividad fotosintética de las plantas macroscópicas y microscópicas.

Turbidez

Los sólidos en suspensión de pequeño tamaño, como limos y arcillas, vuelven turbia el agua en proporción directa: cuanto más sólidos, más turbia. Sus medidas se realizan mediante el efecto Tyndall, la opacidad (Ley de absorción de Beer-Lambert) o el índice de difusión.

Color

La coloración es indicadora de la concentración y composición de las aguas contaminadas, y puede variar del gris al negro según la cantidad de materia orgánica que contenga. Al oscurecerse el agua, disminuye la difusión de luz y, por tanto, la capacidad fotosintética, produciéndose una mayor absorción solar con el consiguiente aumento de temperatura. El color se evalúa mediante el método del platino-cobalto y la comparación con discos coloreados.

Temperatura

La temperatura de las aguas residuales urbanas suele hallarse entre los 10 y los 20ºC, no planteando en general ningún problema.

Olor

Los malos olores que se producen en las aguas residuales son fruto de reacciones anaerobias de la materia orgánica, resultando gases como el ácido sulfhídrico, con olor característico a "huevos podridos", mercaptanos, compuestos de carbono, hidrógeno y azufre con un fuerte olor a coles podridas, amoníaco y aminas que recuerdan al pescado en mal estado y otros gases de desagradable aroma como el indol y el escatol.

Características químicas de las aguas residuales urbanas

Materia orgánica

Es el factor característico de las aguas residuales urbanas debido al aporte de excretas y residuos domésticos de viviendas. El efecto más importante es la reducción del oxígeno disuelto en el agua, provocando la desaparición de especies exigentes en oxígeno disuelto, así como un cambio hacia ambientes anaerobios que se traduce en una composición química diferente, ya que los productos resultado de las reacciones biológicas no son los mismos que en condiciones aeróbicas. Estos productos son los causantes de los malos olores característicos de las aguas residuales.

La materia orgánica presente en estas aguas está formada fundamentalmente por restos de hidratos de carbono, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos (ADN, nucleótidos, etc.). Todos ellos son ricos en carbono e hidrógeno. Además, las proteínas son ricas en nitrógeno y los ácidos nucleicos en nitrógeno y fósforo.

La depuración consiste, a grandes rasgos, en transformar la materia orgánica en sus constituyentes inorgánicos. Por lo tanto, de la materia orgánica se generarán –mediante el proceso de depuración— dióxido de carbono, bicarbonato, amonio, nitrato y ortofosfato, que salen disueltos en el agua depurada hacia los ríos y arroyos tras el tratamiento secundario (véase más abajo). Si hubiera tratamiento terciario, lo cual encarece mucho la depuración, esas sustancias disueltas se eliminarían casi por completo.

La forma habitual de evaluar el grado de contaminación por materia orgánica es midiendo el oxígeno necesario para conseguir la oxidación de la materia orgánica, bien por vía biológica (DBO) o por vía química (DQO), o mediante la medición del dióxido de carbono producido en la incineración y pirólisis de la materia orgánica (COT). En general, el parámetro referencia de la contaminación por materia orgánica es el DBO_5, la demanda bioquímica de oxígeno a 5 días, expresada como la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por las bacterias que contiene una muestra líquida y que normalmente se mide transcurridos cinco días. Cuanta más alta sea esta cifra, mayor cantidad de oxígeno hará falta para consumir la materia orgánica, es decir, las aguas estarán más contaminadas.

Nutrientes

Los nutrientes existen de manera natural en el medio y favorecen el desarrollo de algas y plantas acuáticas más grandes. No obstante, un enriquecimiento excesivo en estos nutrientes, es decir, una eutrofización del agua, provoca un desarrollo demasiado abundante de los organismos vegetales, con el consiguiente aumento de materia orgánica que, al morir los individuos, se descompone consumiendo el oxígeno del medio. De este modo, las aguas pasan a no ser adecuadas para la vida de los seres vivos sensibles a la eutrofización.

Los nutrientes más determinantes cuando hablamos de aguas residuales son el fósforo y el nitrógeno. El fósforo es aportado a los efluentes urbanos a través de detergentes, materia orgánica y abonos. El nitrógeno puede aparecer en forma de amonio, como resultado de la transformación de la urea (en cada litro de orina hay 30 g de urea), así como de la descomposición de productos nitrogenados, o en forma de nitritos y nitratos, menos nocivos que el amonio pero importantes en los procesos de eutrofización.

pH

La concentración de iones de hidrógeno en el medio nos indica una alcalinización en caso de ser elevada, y una acidificación si es baja. En general, las aguas residuales son bastante alcalinas debido a la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos.

Cloruros

Siempre presentes en las aguas residuales urbanas. Provocan un aumento de la salinidad del agua, y a la concentración de 3.500 mg/l, inhiben la acción de determinados microorganismos.

Compuestos tóxicos

Se trata de metales y compuestos inorgánicos, necesarios para el desarrollo de la vida, pero que a partir de ciertas concentraciones pueden inhibirla. Provienen, sobre todo, de su uso como desinfectantes, insecticidas y biocidas en general. Entre ellos, podemos mencionar elementos como zinc, cobre, níquel y boro.

Oxígeno disuelto

Uno de los factores más importantes para la vida en el agua es la cantidad de oxígeno que ésta contenga en disolución. La cantidad puede ser incrementada por captación y difusión desde el aire a través de la superficie del agua, por la acción fotosintética o por el descenso de temperatura. Sin embargo, también puede disminuir por la propia actividad química y biológica asociada a estas aguas, por lo que la contaminación de cualquier tipo suele provocar una disminución de concentración de este gas en el agua.

Características biológicas de las aguas residuales urbanas

El componente biológico es de gran importancia en las aguas residuales por la actividad que estos seres vivos mantienen. Esta actividad se manifiesta en:

- Descomposición de los compuestos orgánicos.
- Eliminación de compuestos tóxicos orgánicos.
- Desaparición de microorganismos patógenos.
- Participación en los ciclos biogeoquímicos del carbono, nitrógeno, fósforo y azufre fundamentalmente.

Reacciones de la materia orgánica transformada y del componente microorgánico frente a los constituyentes minerales del suelo, participando en la promoción de microagregados organominerales, variando la solubilidad de determinados iones y la solubilidad a lo largo de los diferentes horizontes del perfil, etc.

Los componentes principales de este conjunto biológico podemos identificarlos como:

Hongos

Se desarrollan en la materia orgánica en descomposición, atacando a los hidratos de carbono y a productos nitrogenados. Podemos destacar entre ellos los géneros *Mucor, Oidium, Aspergilus* o *Penicillium*.

Bacterias

Las aguas residuales están pobladas por gran número de bacterias de diversos tipos morfológicos y modos de vida. Muchas de ellas están implicadas en los procesos de mineralización de la materia orgánica, destacando según su actividad:

- Bacterias nitrificantes, como *Nitrobacter* y *Nitrosomonas*, que oxidan el ácido nitroso y el amonio respectivamente, en condiciones aerobias.
- Bacterias ferruginosas y manganosas, que extraen su energía de la oxidación de sales de hierro y manganeso, como las de los géneros *Clonothrix* y *Leptothrix*.
- Tiobacterias, que oxidan el SH_2, y al agotar el gas oxidan el azufre producido a ácido sulfúrico, como los géneros *Thiothrix* y *Beggiatoa*.
- Bacterias oxidantes del hidrógeno, como *Hydrogenomonas*, que oxidan el hidrógeno producido por las bacterias heterótrofas en las fermentaciones de los glúcidos, produciendo agua.

Encontramos, asimismo, organismos coliformes y estreptococos fecales, indicadores de la presencia de materias fecales, pudiendo detectarse también la presencia de bacterias del género *Leptospira*, síntoma de contaminación por excrementos animales. Hay numerosas bacterias patógenas que pueden provocar graves cuadros clínicos, tanto en el ser humano como en animales.

Virus

La aparición de virus en las aguas residuales, provenientes de las excretas intestinales del hombre y los animales domésticos, debe tenerse en cuenta por su acción nociva como productor de enfermedades, como es el caso de los virus de la hepatitis B.

Protozoos

Aparecen rizópodos (amebas), flagelados y ciliados (géneros *Paramecium, Colpidium, Vorticella*), que se encargan de mantener el equilibrio natural con su actividad depredadora, si bien pueden aparecer patógenos como *Giardia lamblia* o *Cryptosporidium parvum*, que provocan importantes trastornos gastrointestinales.

Algas

En las aguas residuales pueden aparecer diversos tipos de algas, como cianofíceas (algas azules), clorofíceas (algas verdes), crisofíceas (algas marrones) y Euglenas, de gran importancia al consumir CO_2 y sales minerales, produciendo oxígeno en su metabolismo. En condiciones de exceso de nutrientes, pueden tener crecimientos explosivos con los problemas asociados, ya comentados.

Aguas Residuales Industriales

A diferencia de las aguas residuales domésticas, los efluentes industriales contienen con frecuencia sustancias que no se eliminan mediante un tratamiento convencional, bien por estar en concentraciones elevadas o bien por su naturaleza química. De hecho, muchos de estos contaminantes requieren de una regulación especial debido a su toxicidad o a sus efectos biológicos a largo plazo. Desde que entró en vigor en España la Ley 16/2002 de prevención y control integrados de la contaminación y la puesta en marcha de los EPER (Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes), la tendencia es reducir el vertido de algunos contaminantes específicos y emplear tratamientos avanzados de aguas residuales *in situ*.

La transposición de la Directiva Europea 91/271/CEE también propone unas condiciones concretas para las aguas residuales industriales que sean vertidas a los sistemas de colectores y tratamientos de aguas residuales urbanas:

Las aguas residuales industriales que entren en los sistemas colectores y en las instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas serán objeto del tratamiento previo que sea necesario para:

- *proteger la salud del personal que trabaje en los sistemas colectores y en las instalaciones de tratamiento.*
- *garantizar que los sistemas colectores, las instalaciones de tratamiento de aguas residuales y los equipos correspondientes no se deterioren.*
- *garantizar que no se obstaculice el funcionamiento de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales y de lodos.*
- *garantizar que los vertidos de las instalaciones de tratamiento no tengan efectos nocivos sobre el medio ambiente y no impidan que las aguas receptoras cumplan otras directivas comunitarias.*
- *garantizar que los lodos puedan evacuarse con completa seguridad de forma aceptable desde la perspectiva medioambiental.*

Las aguas residuales industriales vienen definidas desde tres puntos de vista, dependiendo de la actividad industrial:

- Líquidos residuales, derivados de la fabricación de productos, siendo principalmente disoluciones de productos químicos, tales como lejías negras, los baños de curtido de pieles, las melazas de la producción de azúcar, los alpechines, etc.
- Aguas de proceso, originadas por la utilización del agua como medio de

transporte, lavado o refrigeración directa, pudiendo contaminarse con los productos de fabricación o con los propios líquidos residuales.

- Aguas de refrigeración indirecta, que han intervenido en procesos de refrigeración sin entrar en contacto con los productos, siendo la temperatura el único agente contaminante posible.

Cada tipo de industria vierte un agua residual característica, determinada por los procesos de esa actividad industrial. En la siguiente tabla se resumen las contaminaciones originadas por los diferentes sectores industriales.

SECTOR INDUSTRIAL	CONTAMINACIÓN ORIGINADA
Lácteos, mataderos, alimentación, etc.	Materia orgánica, fósforo.
Petroquímica	Materia orgánica, aceites, fenoles, amoníaco, sulfuros.
Textil y del curtido	Materia orgánica, sólidos en suspensión, cromo, taninos, tensoactivos, sulfuros, colorantes, grasas, disolventes orgánicos, ácidos acético y fórmico, pH (alcalinidad).
Papelera	Materia orgánica, sólidos en suspensión y decantables, organoclorados, pH.
Minería	Sólidos en suspensión y decantables, metales pesados, cianuros, pH.
Acabado de metales	Cianuros, metales pesados (arsénico, cadmio, cobre, plomo, zinc, etc.), pH.
Siderurgia	Materia orgánica, fenoles, alquitranes, cianuros, sulfuros, sólidos en suspensión y decantables, hierro, aceites, pH.
Construcción	Sólidos en suspensión, metales, pH.
Automoción	Aceites lubricantes, pinturas y disolventes.
Fertilizantes	Nitratos y fosfatos.
Plaguicidas	Organohalogenados, organofosforados.
Pinturas, barnices y tintas	Compuestos organoestánnicos, compuestos de Zn, Cr, Se, Mo, Ti, Sn, Ba, Co, etc.

CONTAMINANTES MÁS FRECUENTES ORIGINADOS POR DIFERENTES TIPOS DE INDUSTRIAS.

RED DE ALCANTARILLADO

Las aguas residuales urbanas e industriales suelen ser recogidas por el sistema de estructuras y tuberías que conocemos como *red de alcantarillado*. Desde los primeros asentamientos humanos, se originó la necesidad de habilitar estructuras que facilitaran el drenaje de las aguas de lluvia, y es de nuevo el Imperio Romano el que nos muestra los mejores ejemplos. Hacia el 600 A.C. se comienza la construcción de la *Cloaca Maxima*, en realidad un canal abierto en buena parte de su trazado, para recoger los cursos naturales que descienden por las colinas de la ciudad de Roma, arrastrando las aguas de lluvia. Probablemente las únicas aguas residuales que vertían a esta gran alcantarilla provenían de baños y retretes públicos, aunque la costumbre de arrojar los desperdicios a la calle hacía que con el agua viajaran grandes cantidades de materia orgánica. En las residencias privadas las aguas fecales solían tener como destino pozos negros o similares.

Durante la Edad Media las políticas de saneamiento fueron prácticamente abandonadas, siendo arrojados a las calles todos los desperdicios, aguas fecales incluidas. Hacia el final de este período comienzan a surgir sistemas de pozos negros y letrinas privadas, desarrollándose esbozos de sistemas de desagües, canales y zanjas al aire con el objeto de evacuar las aguas pluviales. Esto se mantiene así durante siglos, en los que el grito de *¡agua va¡* resultaba habitual como aviso al transeúnte del arrojo de las aguas domésticas. En la segunda mitad del siglo XVIII el rey Carlos III se encuentra con un panorama de lodos, basura y excrementos en las calles de Madrid, iniciando una profunda reforma en torno al saneamiento de éstas y ordenando... *colocar canales en toda la anchura del arroyo, construir conductos para las aguas de la cocina y otras menores de limpieza, con sumideros o pozos para las aguas mayores*. Ya en la primera mitad del siglo XIX, ocho alcantarillas principales que vertían al río Manzanares tenían por objeto recibir las aguas pluviales y, de paso, arrastrar las inmundicias dispersas por las calles. La misma situación se daba en otras ciudades europeas, hasta el punto de que en Inglaterra estaba prohibido verter aguas residuales en el alcantarillado de pluviales.

La masificación de población en las ciudades que trajo la revolución industrial del XIX, junto con las penosas condiciones de salubridad provocó numerosas epidemias, que culminaron con el cólera que afectó a casi todas las poblaciones europeas entre 1830 y 1837, y tuvo mayor virulencia en las zonas con altas densidades de población y peores condiciones higiénicas. En una época de liberalismo económico en la que el gasto público no directamente productivo se rechazaba como no rentable, tuvo que ser una epidemia de considerables dimensiones la que alertara sobre la necesidad de una política de saneamiento en cuanto al tratamiento de las aguas residuales urbanas.

AÑO	EPIDEMIA	AVANCE
1832	Epidemia de cólera en París (Francia).	
1833		Construcción del primer colector de aguas residuales en París.
1854	Grandes epidemias de cólera con 10.675 defunciones en Londres (Inglaterra).	
1855		Creación de la Junta Metropolitana de Obras Públicas para construir los sistemas de alcantarillado.
1873	Epidemias de cólera en Memphis (EE.UU.).	
1879		George Waring Jr. Es contratado para desarrollar el Plan de Alcantarillado.
1892	Epidemias de cólera en Hamburgo (Alemania).	
1893		Extensión del sistema de alcantarillado de la ciudad de Hamburgo.
1892	Numerosas epidemias en Sao Paulo (Brasil).	
1892		Contratación del Profesor E. Fuertes (Cornell University) para desarrollar el sistema de alcantarillado de Sao Paulo.

Relación entre las epidemias y la construcción de sistemas de conducción de aguas residuales [Fuente: Azevedo Netto, 1992; Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud (OPS/OMS)].

El primer paso fue la construcción de desagües de los edificios, que hasta entonces sólo disponían, a lo sumo, de pozos negros, y su conexión a los conductos de drenaje, dando origen a los primeros alcantarillados de tipo unitario, sistema que fue adoptado por la mayor parte de las ciudades. De esta manera, con la ley de salubridad pública de 1848, se estableció en Inglaterra la obligatoriedad de conectar los edificios a las redes de alcantarillado. Es, en definitiva, a partir de la iniciativa británica cuando se establecen las bases modernas del saneamiento, específicamente en lo referente al primer aspecto del mismo: la recogida y transporte de las aguas residuales.

Las políticas de saneamiento llegaron con algo de retraso a nuestro país. En esta primera mitad del XIX en Madrid los pozos negros de las casas no tenían

comunicación con la alcantarilla de la calle, efectuándose la limpieza de estos pozos de cuando en cuando, a expensas del municipio, por medio de los llamados *carros de Sabatini*, dispuestos por Carlos III. Hay que tener en cuenta que las casas no disponían de agua ni para usos domésticos, y era imposible la limpieza de desagües y alcantarillas con agua corriente. Fueron los brotes de cólera de 1834 y 1854 los que hicieron ver la necesidad de un sistema de alcantarillado adecuado para alejar aguas sucias e inmundicias fuera de la ciudad. Así que, paralelamente al encargo de las obras de abastecimiento de agua a la capital, se impuso al Canal de Isabel II la obligación de construir una canalización para el saneamiento de la corte. Las obras del alcantarillado en Madrid supusieron un coste de 6.316.568 pesetas, con un período de realización entre 1856 y 1864 para 92 kilómetros de alcantarillas, si bien las buenas intenciones no se pudieron realizar del todo, pues sólo 1.603 viviendas comunicaban con las alcantarillas y, a su vez, éstas no estaban provistas de agua corriente, sobre todo en los barrios bajos.

CIUDAD	PROYECTO	OBRAS	INGENIERO
Barcelona	1888/1893	Terminan en 1907	García Faria
Valladolid	1889	-	Uhagón
Bilbao	1893	Comienzan 1895 Terminan 1901	Uhagón
Sevilla	1895	Adjudicación 1899	Ochoa
Zaragoza	1903	-	-
Alicante	1905	Terminan 1914	Montagut

Obras de saneamiento urbano (alcantarillado) en España (Fuente: Navarro Vera, 1995).

La introducción del saneamiento en las ciudades españolas es un largo proceso que comienza con la implantación de los abastecimientos de agua en el último cuarto de siglo XIX, generalizándose a finales de siglo y principios del XX, que es cuando comienzan las obras de alcantarillado y depuración.

Actualmente los sistemas de alcantarillado son de dos tipos, según el modo en que sean transportadas las aguas residuales:

- Sistema unitario, en el que las aguas pluviales y residuales son conducidas por la misma tubería. Para evitar que un exceso de aguas pluviales

llegue a las estaciones de depuración es necesario dotar a la red de una serie de aliviaderos de crecidas. Es el sistema que se utiliza en el 96% de los casos, según encuesta realizada para 22 ciudades españolas de más de 150.000 habitantes en 1995.

- Sistema separado, en el que la recogida de las aguas pluviales y residuales se realiza en sistemas de tuberías separados. En este caso las aguas de lluvia suelen ser vertidas a cauces naturales, mientras las residuales son conducidas hacia estaciones de depuración. Ambas opciones tienen ventajas e inconvenientes, que quedan reflejados en la tabla adjunta.

SISTEMA UNITARIO		SISTEMA SEPARADO	
VENTAJAS	INCONVENIENTES	VENTAJAS	INCONVENIENTES
Bajo costo en la construcción de tuberías.	Necesidad de aliviaderos de crecida.	No hay necesidad de aliviaderos.	Alto costo al tratarse de dos sistemas de tuberías.
Sistema de drenaje doméstico más sencillo.	E.D.A.R. más grandes, con mayor consumo energético.	E.D.A.R. más baratas y pequeñas.	Conexiones de drenaje doméstico más complicadas.
Economía de espacio.	Impactos sanitarios en caso de inundación.	Inundaciones sólo de pluviales, con menores implicaciones sanitarias.	Mayor ocupación de espacio.
Residuos sólidos lavados por pluviales durante tormentas.	Flujo más lento y escaso en tiempo seco, con depósitos y descomposición de sólidos.	La red de tuberías de aguas residuales pueden ser más pequeñas para mantener una velocidad de flujo mayor.	Los residuos sólidos de las aguas residuales no son lavados.
Parte de las aguas pluviales, que pueden estar contaminadas, son tratadas en las E.D.A.R.	Gran variación de caudales y de las características de las aguas que llegan a las E.D.A.R.	Menor variación de caudal y de las características de las aguas a tratar.	No se trata el agua pluvial.
	Necesidad de remoción de basuras y arenas.	No hay basuras ni arenas en las aguas residuales.	

VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO.

La red de colectores que forma el alcantarillado comienza en la conexión domiciliaria, pequeñas cámaras que unen el alcantarillado privado desde el interior de la propiedad con el de la vía pública, y continúa por los colectores terciario, secundario y primario, por orden de menor a mayor. Otros elementos que conformarían el sistema son los pozos de inspección, cámaras verticales que permiten el acceso a los colectores, así como las estaciones de bombeo, que garantizan una velocidad mínima de las aguas en situaciones de ausencia de pendiente. Para las aguas pluviales existen las bocas de tormenta que permiten la entrada de estas aguas a los colectores, así como arcas de expansión o pozos de tormentas para regular las avenidas producidas por estas tormentas.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Hacia mediados del siglo XIX comienzan a instaurarse, como vimos anteriormente, las redes de alcantarillado, con lo que el saneamiento en una población equivalía a la dotación de estas redes sin hacer aún mención al tratamiento de esas aguas. Efectivamente, se conseguía alejar las aguas residuales de la población, pero se producía una mayor concentración de éstas en los puntos de vertido, con lo que las condiciones higiénicas y ambientales de los ríos comenzaban a ser inaceptables, a lo que había que sumar el peligro de contaminación de las aguas de abastecimiento. Así surge la idea de utilizar los vertidos de aguas negras para fertilizar el suelo, proponiéndose el primer sistema de tratamiento, con lo que el concepto de saneamiento completa la recogida y transporte del agua residual con el de su depuración.

A partir de este punto comienzan a desarrollarse los primeros sistemas de depuración, inicialmente hacia la eliminación de materias sólidas y posteriormente con la de la materia orgánica soluble mediante los tratamientos biológicos, primero los filtros percoladores (1897) y, posteriormente, los fangos activados (1914). Es durante la primera mitad del siglo XX cuando se desarrollan, con las lógicas limitaciones tecnológicas, los sistemas y procesos que se utilizan en la actualidad, iniciándose en los años cincuenta y sesenta diversas investigaciones y estudios que dejan sentados los principios básicos de los procesos biológicos de depuración.

Durante estos años surge un nuevo objetivo en el tratamiento de las aguas residuales, al tomar conciencia de la importancia de la eliminación de los nutrientes, fundamentalmente fósforo y nitrógeno. Hasta ahora, la depuración se había centrado en la DBO_5 y, aunque el fenómeno de la eutrofización era ya conocido, hay que esperar hasta esta época para ver desarrollarse los procesos físico-químicos para eliminar los nutrientes que son causa de este pro-

ceso en las aguas receptoras. Desde los años ochenta esa eliminación se reconoce como una necesidad, con el consiguiente de adecuación de sistemas y procesos dirigidos a este fin.

En España el desarrollo de los tratamientos de las aguas residuales llegó con algún retraso y, salvo excepciones, las actuaciones en materia de saneamiento quedaban reducidas a la construcción de redes de alcantarillado. Fue a partir de la redacción del *Modelo de Pliego de Bases Técnicas para el concurso y ejecución de Obras de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales* por parte del CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas), recien creado en 1957, y las empresas del sector, cuando se establecieron los requisitos mínimos y las bases del diseño de las estaciones depuradoras, lo que tuvo su reflejo en los años setenta, tanto en el número de E.D.A.R. (Estación Depuradora de Aguas Residuales) construidas, como en el desarrollo de la investigación en este campo.

Actualmente la Directiva 91/271/CEE, del Consejo, de 21 de mayo, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas, transpuesta a España por la ley 11/1995, establece que los Estados miembros adoptarán las medidas necesarias para garantizar que dichas aguas sean tratadas correctamente antes de su vertido, imponiendo la obligación de someter dichas aguas residuales a tratamientos, más o menos rigurosos, en diferentes plazos. Uno de los criterios clave para fijar estas obligaciones es el concepto de habitante-equivalente, establecido para expresar la carga contaminante de un vertido, teniendo en cuenta, además de a la población, a la industria y a otros sectores de influencia sobre las aguas residuales, por lo que el número de habitantes-equivalentes es siempre superior al de la población real. Esta carga de contaminación de 1 h-e (habitante-equivalente) se establece por la Directiva 91/271/CEE en una DBO_5 de 60 g de oxígeno por día, es decir, para destruir en cinco días los desechos orgánicos equivalentes a un habitante hacen falta 60 g de oxígeno. Igualmente, la Directiva considera la sensibilidad del lugar receptor de las aguas residuales, así como el número de h-e de las aglomeraciones urbanas para establecer sus obligaciones.

La siguiente tabla, con cifras del INE (Instituto Nacional de Estadística, www.ine.es) para el año 2006, muestra la recogida y tratamiento de las aguas residuales en España y la Comunidad de Madrid, así como del uso de aguas reutilizadas del que más tarde hablaremos.

Igualmente, en la tabla adjunta se especifican los indicadores más habituales de calidad referidos a las aguas residuales antes y después de su tratamiento.

m^3/DÍA	ESPAÑA	COMUNIDAD DE MADRID
Volumen aguas residuales recogidas	15.365.775	2.295.755
Volumen aguas residuales tratadas	13.741.235	2.213.367
Volumen total aguas reutilizadas	1.361.450	41.696

Recogida, tratamiento y reutilización de las aguas residuales en España y la Comunidad de Madrid (Fuente: www.ine.es, 2006).

mg/l	ESPAÑA		COMUNIDAD DE MADRID	
	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS
DQO	613,6	84,8	521,7	52,8
DBO_5	319,2	27,6	244,8	15,7
SS	323,6	25,4	272,2	14,9
N	40,8	13,8	42,3	13,2
P	6,7	2,3	6,9	2,9
Metales	0,3	0,1	0,0	0,0

DQO: Demanda química de oxígeno; DBO_5: Demanda biológica de oxígeno; SS: Sólidos en suspensión; N: Nitrógeno total; P: Fósforo total.

Características de las aguas residuales antes y después de su tratamiento (Fuente: www.ine.es, 2006).

Procesos de tratamiento

Teniendo en cuenta la insuficiente capacidad de autodepuración de los cauces receptores ante el volumen de aguas residuales producido, se crean procesos de tratamiento que pretenden reproducir, con mayor o menor apoyo tecnológico, el papel que efectúa la naturaleza. Antes del retorno de estas aguas al medio natural, este tratamiento depurador ha de tener en cuenta tres aspectos principales. En primer lugar el posible uso posterior que se le pueda dar al agua resultante; después, la naturaleza de las propias aguas residuales y, por último, la capacidad del medio receptor para admitir este vertido. Así, según la magnitud de la tecnología aplicada los sistemas de depuración de aguas se dividen en dos grupos:

Depuración natural o blanda

Apenas utiliza equipos tecnológicos e intenta reproducir bajo condiciones especiales los procesos de autodepuración. Requiere poco gasto de instalación

y mantenimiento, puesto que apenas emplea equipos mecánicos o eléctricos, y es adecuada para pequeñas poblaciones con pocos recursos económicos. Podríamos clasificarla, según su disposición en el terreno como:

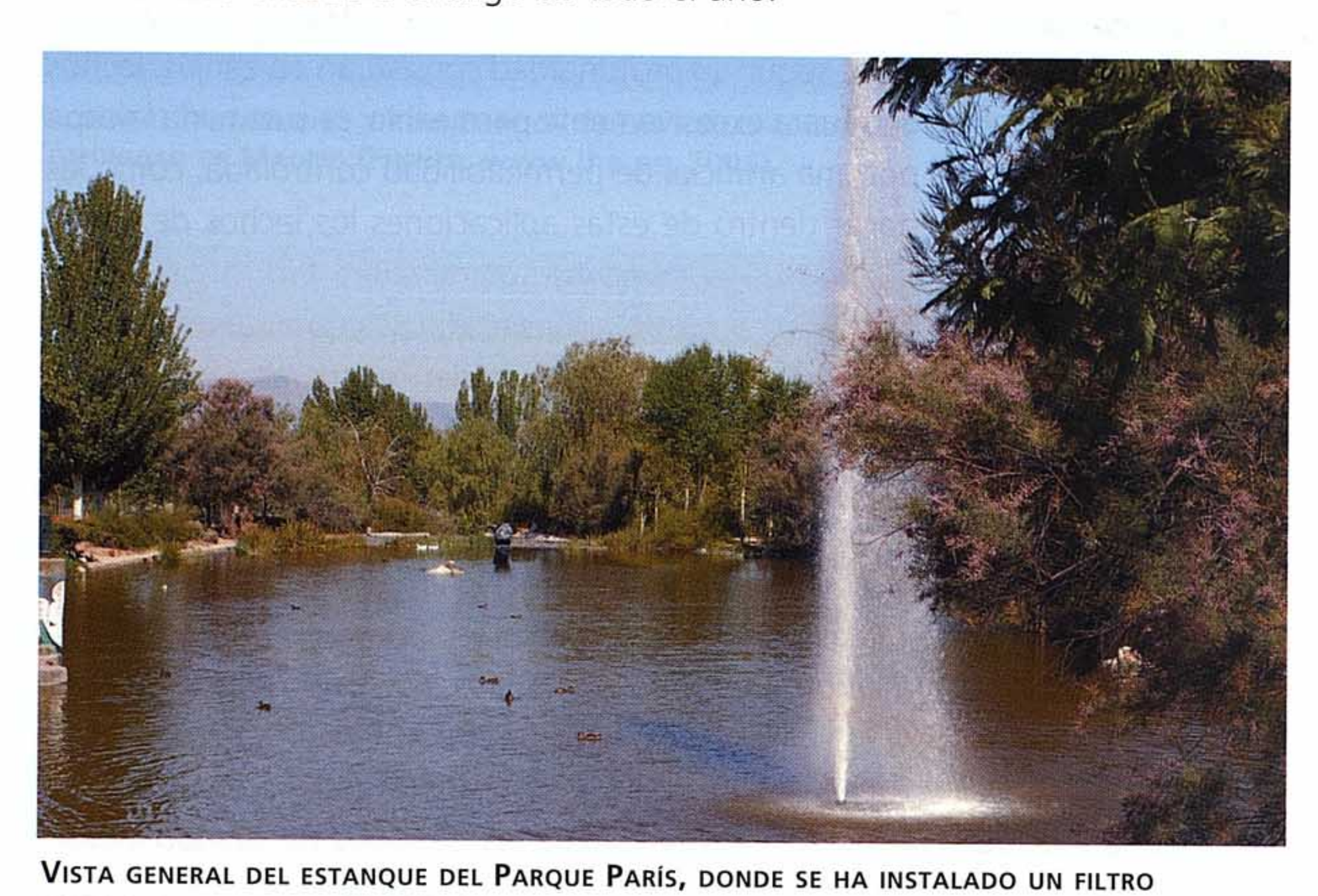
- De aplicación subsuperficial, a través de superficies filtrantes (tierra vegetal, grava y arena) que según su profundidad consistirán en zanjas, lechos o pozos. Si el terreno fuera excesivamente permeable, se sustituiría la capa de suelo natural por una artificial de permeabilidad controlada, como las arenas. Cabe destacar dentro de estas aplicaciones los lechos de turba, con una capa de esta turba de unos 40-50 cm. sobre otra capa de gravas y arena. La instalación recibe las aguas residuales durante un período de unos 15 días, para luego dejar secar y poder regenerar y oxigenar la capa de turba removiendo ésta.
- De aplicación superficial, como el riego con aguas residuales de extensiones de terreno donde se cultivan especies vegetales que actúan como un filtro verde. Los mecanismos de depuración en este caso vienen determinados por la intervención del suelo activo (edafodepuración) y la vegetación plantada (macrofitodepuración). En España se han realizado cultivos forestales para este fin, choperas sobre todo.
- Lagunajes, es decir, creación de lagunas o balsas artificiales donde se almacenan las aguas residuales durante amplios períodos de tiempo y que, dependiendo de la naturaleza de los procesos, pueden ser:

  - Lagunas anaerobias. Actúan como tanques de sedimentación-digestión en los que se retienen los sólidos sedimentables que son mineralizados en el fondo de la laguna.
  - Lagunas facultativas. Con una profundidad de entre 1 y 2 metros, permiten condiciones aerobias en la zona superior y anaerobias en el fondo.
  - Lagunas de maduración. Con profundidad menor que las anteriores, mantiene un ambiente aerobio en todo su volumen. El objetivo es la desinfección del efluente.

En realidad, los tres tipos de lagunaje deberían ir asociados, estableciendo los procesos de depuración en el orden en que hemos descrito las diferentes lagunas, si bien en muchos casos las facultativas son las únicas que se disponen para este fin.

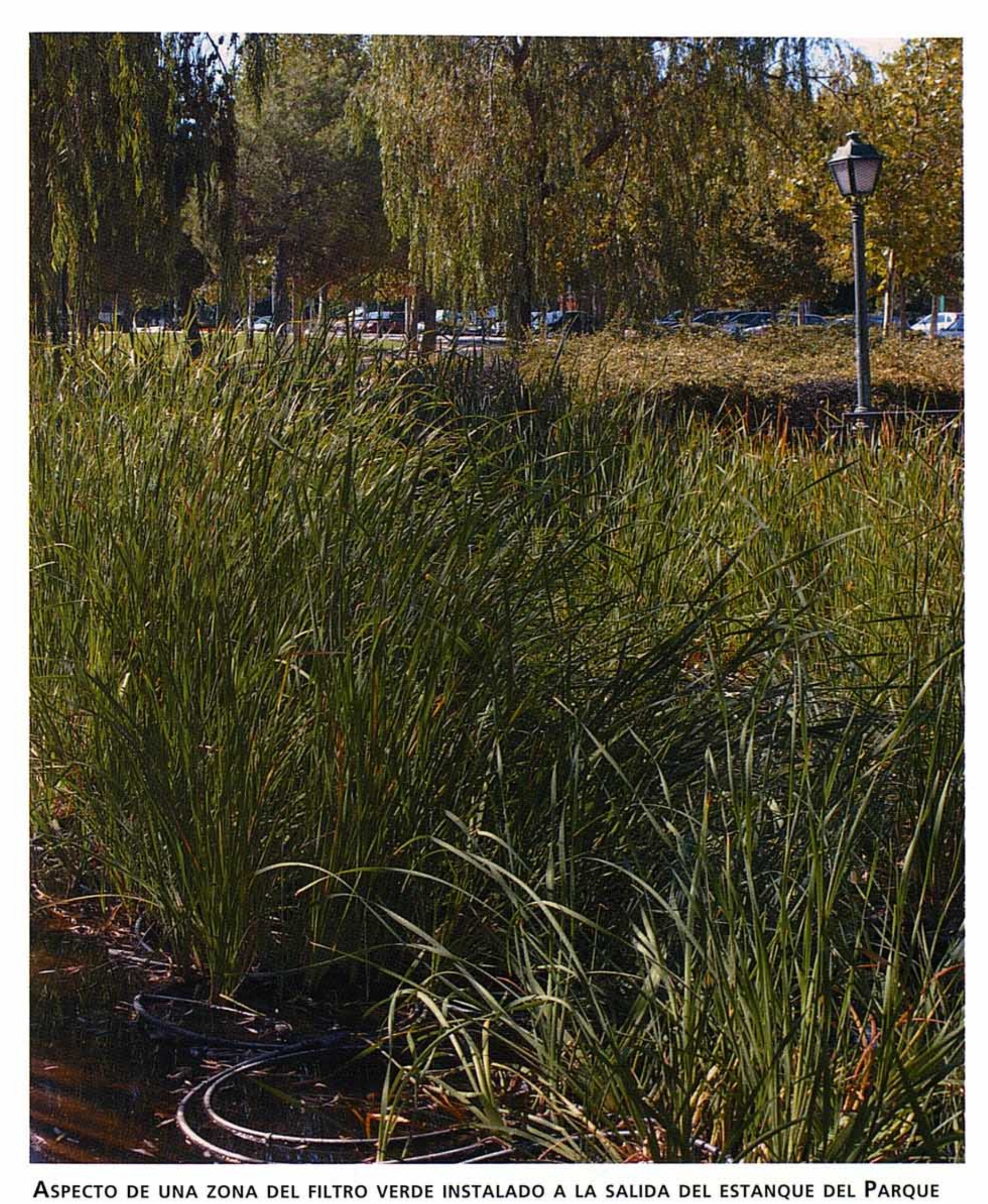
De más actualidad es un sistema de depuración blanda basado en el cultivo de macrofitas flotantes sobre las aguas contaminadas. En este modelo se utili-

zan plantas emergentes (esencialmente enea, *Typha domingensis*, y lirio acuático, *Iris pseudacorus*), que mediante un sistema de sujeción patentado forman auténticas islas flotantes. A su bajo coste de instalación y mantenimiento une una elevada eficacia a lo largo de todo el año.



Vista general del estanque del Parque París, donde se ha instalado un filtro depurador con plantas flotantes.

Aspecto general de los soportes sobre los que se colocan las plantas (enea, Typha domingensis, y lirio acuático, Iris pseudacorus) para que floten y depuren el agua (Fuente: www.macrofitas.com).



Aspecto de una zona del filtro verde instalado a la salida del estanque del Parque París con las eneas crecidas.

Depuración dura o tecnológica. E.D.A.R.

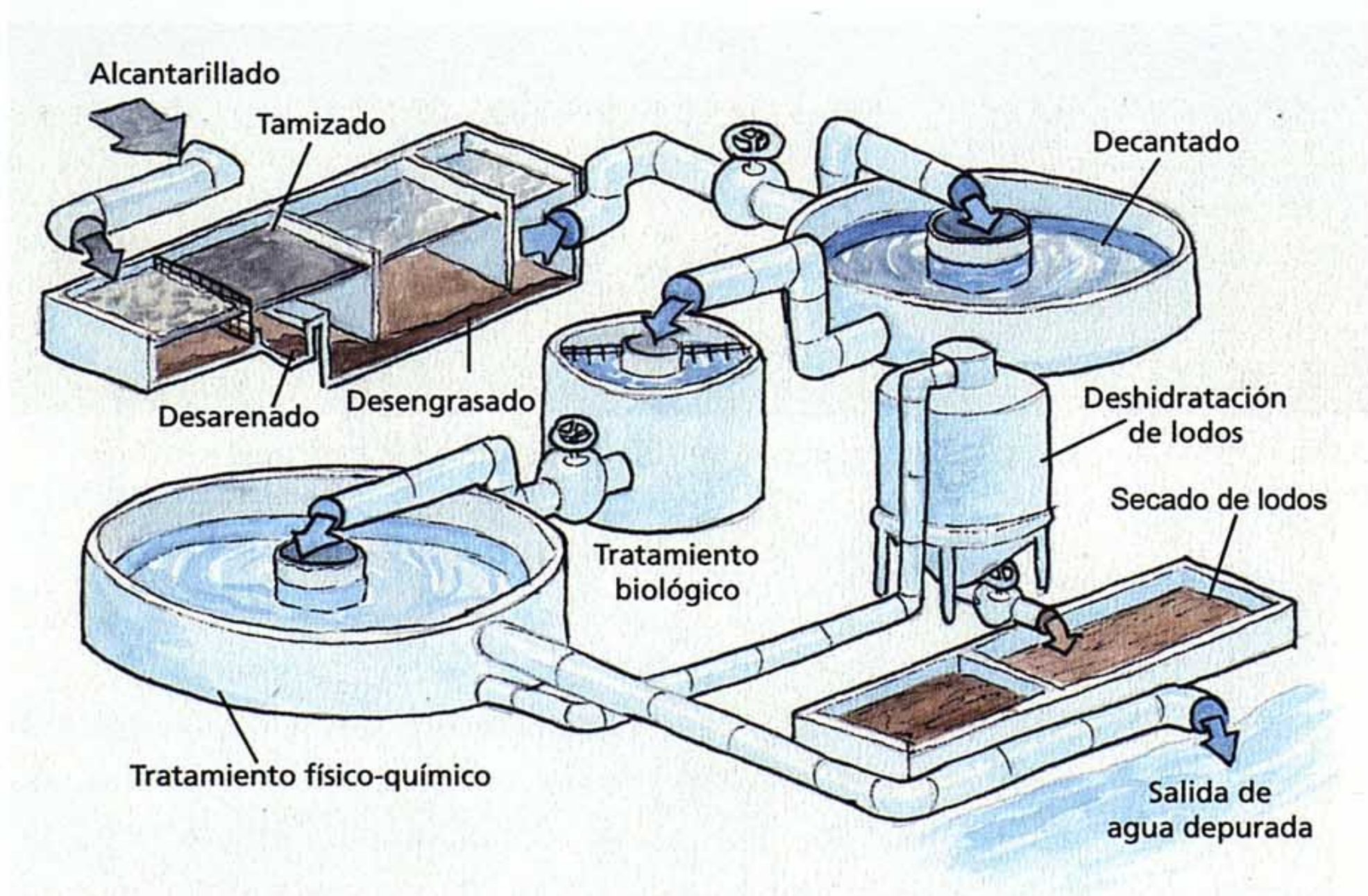
Las E.D.A.R. (Estación Depuradora de Aguas Residuales) son instalaciones en las que diversos equipos mecánicos, eléctricos e hidráulicos llevan a cabo una serie de procesos de depuración en las aguas residuales, para reducir la contaminación de estas aguas y ser devueltas al medio natural con un nivel óptimo de calidad. La construcción y el funcionamiento de una E.D.A.R. vienen marcados por dos directrices principales:

- La Directiva 271/91/CEE de la Unión Europea, que establece los plazos para construir depuradoras y los tamaños de población que deben contar con una. Igualmente, establece los mecanismos y frecuencias de muestreo y análisis de las aguas residuales, basando los controles en cuatro variables: sólidos en suspensión (SS), DBO_5 y las concentraciones de fósforo y nitrógeno.
- La Comisaría de Aguas correspondiente a la cuenca donde se vierte emite una autorización de vertido que puede reflejar los valores límite para las aguas vertidas.

Una vez se cuenta con los permisos legales, varios son los factores que influyen sobre la instalación y funcionamiento de una E.D.A.R., como el tamaño de la población servida en cuanto a habitantes-equivalentes, el uso de los residuos generados, la posible reutilización del agua efluente, el impacto ambiental, etc.

En el funcionamiento de una E.D.A.R. se establecen dos grandes líneas:

- Línea de agua, que es el conjunto de procesos que depuran el agua propiamente dicha, comenzando cuando el agua residual entra a la depuradora y terminando al ser vertida a su cauce receptor.
- Línea de fangos, formada por el conjunto de procesos al que son sometidos los fangos producidos en la línea de aguas. Las dos fuentes principales de producción de fangos son el tratamiento primario y el secundario.



Esquema del funcionamiento de una E.D.A.R. (Estación Depuradora de Aguas Residuales).

Tratamiento de la línea de aguas

Las aguas residuales se pueden someter a diferentes niveles y tipos de tratamiento, que resumimos a continuación para tratar de comprender el funcionamiento de una Estación Depuradora.

1. Pretratamiento

Con el pretratamiento se pretende separar del agua residual la mayor cantidad de materias que, bien su naturaleza (aceites, grasas) o por su tamaño (latas, botellas, ramas, etc.), puedan suponer un problema en los tratamientos posteriores. Estas operaciones de separación se llevan a cabo por medios físicos y mecánicos.

Pozo de gruesos, situado a la entrada del colector de la depuradora, concentra los sólidos de gran tamaño y las arenas decantadas, los cuales pueden extraerse gracias a unas cucharas bivalvas que depositan estos residuos en contenedores para ser posteriormente tratados. En este pozo, situado en la boca de entrada a la planta, se coloca una reja para materiales muy gruesos que impide el paso de sólidos de gran tamaño a la planta.

Aspecto de la zona de entrada de aguas residuales con la rejilla de desbaste en la depuradora de los Jardines del César.

Desbaste, haciendo pasar el agua residual a través de un sistema de rejas que, dependiendo de la separación entre los barrotes, realizarán un desbaste fino (10-25 mm de separación) o un desbaste grueso (50-100 mm de separación). Hay que tener en cuenta que la velocidad del agua al paso por este sistema debe ser la adecuada, pues una excesiva lentitud podría provocar atascos en la parte profunda de los barrotes y un paso demasiado rápido, una pérdida en la capacidad de carga. La velocidad media de paso se estima en 0,6-1,0 m/s a caudal máximo, pudiendo funcionar estas rejas de manera manual, con temporizador, por pérdida de carga o en función del caudal de entrada.

Tamizado, con el mismo objetivo que en los procesos anteriores, pero actuando sobre los sólidos más pequeños que no han sido retenidos en el desbaste. Así, el agua pasa a través de un macrotamizado, reteniendo residuos de más de 0,2 mm, y de un microtamizado de tela metálica o plástica de malla inferior a 100 micras. Los tamices suelen incluirse en pretratamiento de aguas residuales con excesiva carga de sólidos en suspensión y en aguas con residuos provenientes de la industria alimenticia.

Desarenado, para eliminar arenas y partículas de granulometría superior a 200 µm ya que pueden suponer un volumen considerable en sistemas de alcantarillado unitarios de calles sin asfaltar o en obras, pudiendo ocasionar serios problemas de funcionamiento en la depuradora. Esta función puede realizarse por canales desarenadores, de flujo variable o constante, pero lo normal en las E.D.A.R. es la utilización de desarenadores rectangulares aireados. El funcionamiento de éstos consiste en inyectar una cantidad de aire que provoca un movimiento helicoidal del líquido y crea una velocidad de barrido de fondo constante, perpendicular a la velocidad de paso al colocar los difusores de aire en un lateral del desarenador. Además, se favorece la separación de las partículas orgánicas que puedan quedar adheridas a las partículas de arena. La arena, desprovista casi en su totalidad de materia orgánica, sedimentará y será evacuada a través de bombas hacia el clasificador de arenas y, posteriormente, a un contenedor.

Desaceitado-desengrasado, con el que se pretende eliminar grasas, aceites, espumas y demás materiales flotantes más ligeros que el agua, que podrían distorsionar los procesos de tratamiento posteriores. El mecanismo utilizado es la insuflación de aire para desemulsionar las grasas y mejorar su flotabilidad. El tratamiento de desengrasado puede coincidir con el de desarenado por aire, al quedar las grasas en superficie y sedimentar la arena en el fondo, si bien se recomiendan tratamientos por separado para conseguir una mayor calidad del agua o cuando ésta procede de sectores industriales con residuos de grasas y aceites (refinerías, alimentación, etc.). Las grasas y materiales flotantes extraídos de los

desengrasadores, unidos a los flotantes extraídos en la decantación primaria, suelen tratarse posteriormente en un concentrador de grasas, pasando este concentrado a contenedores especiales y posteriormente a un vertedero.

Preaireación, que es en realidad un proceso transversal a todo el pretratamiento, aplicándose tanto en cabecera como en desarenadores, con el fin de controlar olores, favorecer la separación de grasas y la floculación de sólidos, así como mantener una concentración de oxígeno con disminución de la DBO_5. Esta preaireación se consigue a través de difusores y aireadores mecánicos.

2. Tratamiento primario

El tratamiento primario pretende eliminar los sólidos en suspensión que no han podido ser separados en el pretratamiento. Estas partículas pueden presentarse de manera que puedan separarse por decantación o por flotación, como veremos más adelante. Pero también pueden aparecer como coloides, es decir, partículas de un tamaño entre 0,001 y 1 µm, que se repelen entre ellas debido a la misma carga electrostática, lo cual las impide agruparse para sedimentar, provocando una enorme estabilidad en relación con el agua. En este caso, es necesaria la aplicación de un tratamiento físico-químico que altere la naturaleza de estos sólidos para convertirlas en partículas susceptibles de separación por sedimentación. Mediante este tratamiento puede llegar a eliminarse del 80 al 90% de la materia total suspendida, del 40 al 70% de la DBO_5 y del 30 al 40% de la DQO (Demanda Química de Oxígeno).

Aspecto general de las instalaciones de una E.D.A.R.

Tratamiento físico-químico

Podemos dividir este tratamiento en dos etapas.

La primera etapa, de coagulación, en la que neutralizando las cargas de los coloides se dará lugar a la formación de un precipitado. Esta coagulación se consigue añadiendo al agua un electrolito coagulante, normalmente sales de hierro o aluminio. Este proceso requiere que los tanques de mezcla estén provistos de electroagitadores para difundir el reactivo con la mayor rapidez posible, así como de un pH adecuado, pudiendo emplear coadyuvantes para tal fin.

La segunda etapa, de floculación, que trata de unir los flóculos formados para aumentar su tamaño y peso y así hacer posible su decantación. En los tanques de floculación los electroagitadores agitan la mezcla lentamente con el fin de unir estos agregados, que pasan a ser sólidos en suspensión sedimentables.

Decantación primaria

Se trata de actuar sobre la materia sedimentable, a través de una decantación primaria que haga sedimentar los sólidos por gravedad. Para ello se emplean decantadores que pueden ser circulares o rectangulares, en los que los fangos resultantes serán recogidos por gravedad o mediante equipos mecánicos. En el primer caso son depositados en el fondo en forma de tolva del decantador, pero cuando las dimensiones de éste son excesivamente grandes, es necesaria la intervención de equipos mecánicos que acumulen el fango sedimentado por arrastre mediante rasquetas que barren el suelo del decantador. El sistema de funcionamiento de estas rasquetas se basa normalmente en un puente radial de accionamiento periférico, que recoge y conduce los fangos sedimentados hacia una arqueta desde donde se realizan las purgas de los mismos. Del mismo modo, los flotantes son arrastrados hacia una pequeña tolva donde pasan a otra arqueta para ser evacuados por medio de bombas sumergibles. En ciertas situaciones se puede provocar la aparición de estos materiales flotantes a través de la flotación por aire disuelto, consistente en la creación de microburbujas de aire en el seno del agua, a las cuales se unen las partículas a eliminar formando agregados capaces de flotar por tener una densidad inferior a la del agua.

3. Tratamiento secundario

La materia orgánica disuelta y en suspensión, así como el resto de las partículas sólidas que no se han eliminado en los tratamientos anteriores, son eliminadas mediante procesos biológicos de depuración aerobia, que en la línea de aguas constituyen los tratamientos secundarios. Estos procesos los realiza por un determinado grupo de microorganismos, principalmente bacterias y pro-

tozoos, que en presencia de oxígeno actúan sobre la materia orgánica e inorgánica existente en el agua residual, para transformarla en gases y materia celular, la cual puede separarse fácilmente mediante sedimentación. La unión de materia orgánica, bacterias y sustancias minerales forma los flóculos y el conjunto de flóculos es lo que todos conocemos como fango biológico.

Básicamente, existen dos tipos de tratamientos biológicos aerobios:

Fangos (lodos) activos

Es un proceso continuo en el que el agua se estabiliza biológicamente en unos tanques o balsas de activación que se mantienen en condiciones aerobias gracias al suministro de aire que realizan turbinas o difusores en el interior de la balsa. El sistema se basa en el desarrollo de un cultivo biológico en flóculos alimentado por el agua a depurar, denominándose a la combinación *licor de mezcla*. Después de un tiempo de contacto que oscila entre 5 y 10 horas, el licor de mezcla pasa a un decantador secundario donde se separará el agua depurada de los fangos. De los decantadores sale un efluente en el que la DBO_5 se ha reducido entre un 75 y un 90%, mientras que para los lodos suele ser preciso un tratamiento posterior.

Aspecto de un tanque de aireación, a la derecha se observa el decantador.

Lechos bacterianos y biodiscos

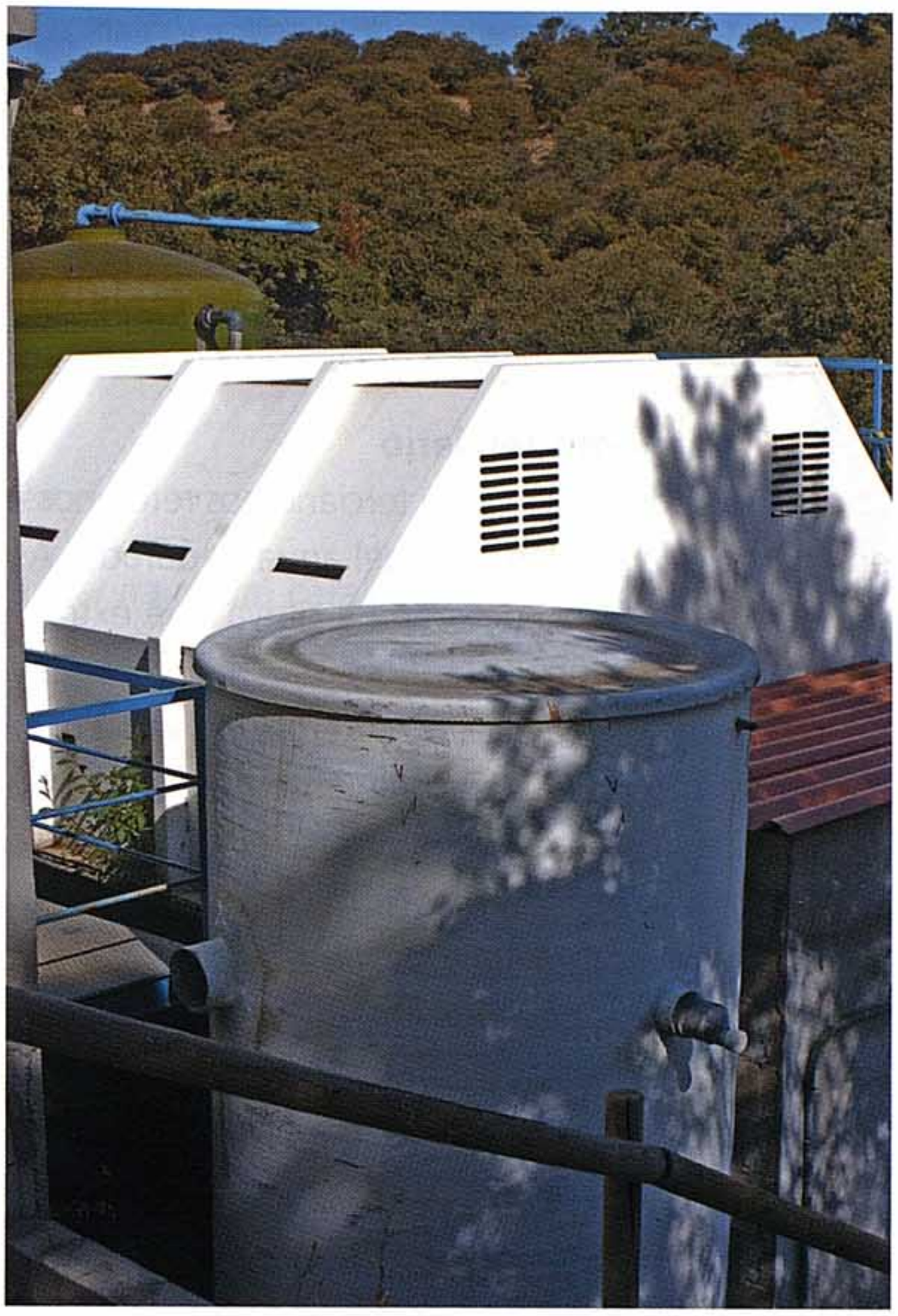
El sistema de lechos bacterianos se basa en que los microorganismos que van a actuar sobre la materia presente en el agua residual se encuentran sobre un

Aspecto general de un tanque para el tratamiento biológico. El objetivo es la transformación de la materia orgánica disuelta o coloidal en materia decantable (lodos) por gravedad.

soporte físico. Este soporte, de gran superficie específica y porosidad, se dispone dentro de tanques circulares formando un filtro con gran volumen de huecos por los que se hace pasar el agua. De esta manera, el agua a tratar baña los materiales filtrantes para que, a su paso, los microorganismos actúen sobre la materia orgánica del agua residual. Este método suele emplearse en depuradoras de poblaciones pequeñas, al igual que los biodiscos, en los que el disco o cilindro en el que se hallan los microorganismos se sumergen parcialmente en tanques con el agua a depurar, actuando las bacterias sobre la materia orgánica contenida en ésta.

A continuación el efluente resultante pasa a la denominada *decantación secundaria o clarificación final*. Esta fase se realiza generalmente en decantadores circulares dotados de unas rasquetas que, suspendidas de un puente radial, arrastran el fango hacia la zona central del tanque para luego, a través de bombas sumergibles o *tornillos de Arquímedes*, reintegrar este fango a la entrada del tratamiento biológico. El decantador, a su vez, dispone de un sistema de recogida superficial de espumas y flotantes. El exceso de lodos será sometido a un tratamiento específico en la línea de fangos que detallaremos más adelante.

La depuradora de los Jardines del César es una EDAR que utiliza biodiscos para la depuración del agua procedente de las urbanizaciones próximas.



Aspecto general de un decantador.

Aquí termina el proceso de depuración de aguas en la mayoría de plantas depuradoras, vertiendo el resultado al cauce receptor con unos niveles de contaminación que deben ser adecuados desde el punto de vista ambiental. Pero, a veces, se requiere una mayor calidad del agua depurada, dependiendo de un uso posterior o de las exigencias del medio al que se va a realizar el vertido. En este caso se realizará un tratamiento terciario.

4. Tratamiento terciario

Al hablar de tratamiento terciario nos referimos a tratamientos de afinamiento en cuanto a la calidad final del agua depurada. Así, por ejemplo, una filtración rápida por un lecho de arena y grava que extrae pequeños flóculos de fango difícilmente decantables, supone una mejoría en la calidad del efluente. Pero normalmente estos tratamientos terciarios van encaminados a la eliminación de nutrientes disueltos, principalmente nitrógeno y fósforo. Se trata de impedir el aporte excesivo de estos nutrientes al agua, es decir, la eutrofización del medio receptor, ya sean ríos, arroyos o humedales. La Directiva 91/271/CEE, de 21 de mayo, sobre tratamiento de aguas residuales urbanas, de la que ya hemos hablado en estas páginas, determina las zonas sensibles, atendiendo a criterios de eutrofización actual o potencial, capacidad de absorción del medio y usos posteriores de las aguas. Se establece así una gradual clasificación de las zonas: sensibles, normales y menos sensibles, que implican en ese orden, de un mayor a un menor grado de depuración exigible. En la transposición a la legislación estatal se recoge la siguiente declaración de zonas sensibles y menos sensibles:

I. Zonas sensibles.

Se considerará que un medio acuático es zona sensible si puede incluirse en uno de los siguientes grupos:

a) Lagos, lagunas, embalses, estuarios y aguas marítimas que sean eutróficos o que podrían llegar a ser eutróficos en un futuro próximo si no se adoptan medidas de protección.

(Se entenderá por eutrofización el aumento de nutrientes en el agua, especialmente de los compuestos de nitrógeno o de fósforo, que provoca un crecimiento acelerado de algas y especies vegetales superiores, con el resultado de trastornos no deseados en el equilibrio entre organismos presentes en el agua y en la calidad del agua a la que afecta).

b) Aguas continentales superficiales destinadas a la obtención de agua potable que podrían contener una concentración de nitratos superior a

la que establecen las disposiciones pertinentes del Real Decreto 927/1988, de 29 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica.

Masas de agua en las que sea necesario un tratamiento adicional al tratamiento secundario establecido en el artículo 5 del Real Decreto-ley y en este Real Decreto para cumplir lo establecido en la normativa comunitaria.

II. Zonas menos sensibles.

Un medio o zona de agua marina podrá catalogarse como zona menos sensible cuando el vertido de aguas residuales no tenga efectos negativos sobre el medio ambiente debido a la morfología, hidrología o condiciones hidráulicas específicas existentes en esta zona.

Al determinar las zonas menos sensibles, se tomará en consideración el riesgo de que la carga vertida pueda desplazarse a zonas adyacentes y ser perjudicial para el medio ambiente.

Para determinar las zonas menos sensibles se tendrán en cuenta los siguientes elementos:

Bahías abiertas, estuarios y otras aguas marítimas con un intercambio de agua bueno y que no tengan eutrofización o agotamiento del oxígeno, o en las que se considere que es improbable que lleguen a desarrollarse fenómenos de eutrofización o de agotamiento del oxígeno por el vertido de aguas residuales urbanas.

La eliminación del nitrógeno se consigue por sistemas biológicos empleando variantes de los fangos activos y tiene lugar en dos fases: una primera en la que una serie de bacterias nitrificantes, con oxígeno disuelto en el agua, convierten el nitrógeno orgánico y el amoniacal en nitratos y nitritos, y una segunda en la que en ausencia de oxígeno otras bacterias, que son capaces de usar nitratos y nitritos para respirar, convierten éstos en diversos gases (nitrógeno molecular, óxido nitroso) que se liberan a la atmósfera.

En el caso del fósforo, son sistemas físico-químicos que utilizan agentes coagulantes, como el cloruro férrico, que agregan el fósforo a los sólidos en suspensión para hacerlos luego precipitar en los decantadores.

Existen otros tipos de tratamientos de afinamiento en la calidad del agua como tecnologías de ultrafiltración y ósmosis inversa a través de membranas

semipermeables, o procesos de oxidación activa con intervención de ozono, peróxido de hidrógeno y luz ultravioleta. Todos estos métodos de tratamiento terciario no están suficientemente extendidos por resultar demasiado caros, por lo que suelen quedar en procesos de desinfección para eliminar patógenos, normalmente a través de cloración, si bien comienza a utilizarse en mayor medida el ozono como agente desinfectante para evitar la formación de organoclorados cancerígenos.

Tratamiento de la línea de fangos

En el tratamiento de las aguas residuales, tanto primario como secundario, se generan una serie de subproductos que denominamos fangos y que concentran la contaminación eliminada del agua. Además, estos fangos poseen un 90-95% de agua, por lo que ocupan gran volumen dificultando así su manejo. Su evacuación y tratamiento pasa por varias fases:

Espesamiento. Durante este proceso se pretende concentrar estos fangos para hacerlos más densos y reducir su volumen. Este resultado se puede obtener a través de dos métodos principales:

- Por gravedad, actuando de manera parecida a los decantadores, con unos peines giratorios que actúan en el fondo para barrer estos fangos y arrastrarlos hacia una poceta central desde donde serán extraídos.
- Por flotación, de manera análoga a la flotación por aire disuelto que veíamos en la decantación primaria, con la aplicación de aire a presión cuyas burbujas arrastrarán los sólidos hacia la superficie. Un rascador superficial se encarga de recoger este residuo flotante.

Digestión o estabilización. El proceso de digestión de fangos se puede llevar a cabo por vía aerobia o por vía anaerobia, reservándose la primera para estaciones de menor importancia en las que no se ha producido tratamiento primario. Por lo tanto, al hablar de una E.D.A.R. se hace referencia a la digestión anaerobia, que es la que aquí vamos a tratar.

Los fangos, tras pasar por los espesadores, son conducidos a unos depósitos o digestores anaerobios donde se procede a su estabilización. La estabilización se consigue a partir de procesos biológicos que degradan la materia orgánica mediante fermentaciones producidas por microorganismos en estos depósitos cerrados y en ausencia de aire. Estos microorganismos son dos grupos diferentes de bacterias, unas que convierten los sólidos en otros más simples (ácidos orgánicos) y otras que convierten éstos últimos en gas metano. La acción de estos microorganismos requiere una temperatura de unos 35°C,

para lo que el lodo se pasa por un intercambiador de calor que obtiene su energía del propio biogas generado en las reacciones biológicas.

Deshidratación. Después de los anteriores tratamientos, los fangos aún poseen gran cantidad de agua, por lo que se debe proceder a su deshidratación para convertirlos en una pasta sólida fácilmente manejable y transportable. Estos fangos, por su estructura coloidal, son poco filtrables a la hora del secado, por lo que con reactivos floculantes, como sales de hierro (Cl_3Fe), sales de aluminio, cal (CaO) y/o polielectrolito, se les confiere un carácter granular de mayor filtrabilidad.

Para su secado se comenzó utilizando *eras de secado* por su simplicidad y bajo coste. El procedimiento disponía a secar los fangos sobre una superficie al aire libre dotada de buen drenaje. En el caso de E.D.A.R. de grandes poblaciones se suelen utilizar mecanismos como filtros de banda o de prensa y centrífugas. En el caso de los primeros, los fangos son *escurridos* bien entre bandas transportadoras y rodillos o a través de un conjunto de placas acanaladas, separando el sólido del agua. Las centrífugas consisten en un tambor cilíndrico-cónico que gira a gran velocidad, separando el sólido, que queda en las paredes, del elemento líquido. El fango, una vez seco, puede ser transportado a un vertedero e incinerado (aguas urbanas con aporte industrial) o utilizado como corrector de suelos (aguas exclusivamente urbanas).

Con todos estos procesos se trata de conseguir que las aguas tratadas por las E.D.A.R. salgan con una calidad adecuada para que puedan reintegrarse a la naturaleza. Pero la realidad es que las E.D.A.R., en ocasiones, no están dimensionadas para depurar todo el agua que les llega, ya que el aumento de la población o la instalación de nuevas industrias hace que sean incapaces de procesar y limpiar toda el agua que les llega. Por otro lado, aunque las E.D.A.R. cumplan la normativa vigente, las aguas que salen suelen tener unas concentraciones de fósforo demasiado elevadas para que los ecosistemas acuáticos a los que llegan puedan conservarse o recuperarse.

En este sentido, se considera que las aguas son hipereútrofas, esto es que tienen un exceso de fósforo, cuando la concentración supera los 0,1 mg de fósforo por litro. Pero el límite legal autorizado para las aguas que salen de las E.D.A.R. y que vierten a zonas sensibles es de 2 mg fósforo por litro. Con estas concentraciones, es imposible conservar la diversidad biológica de las zonas húmedas a las que llegan los vertidos. Es necesario investigar mucho más en sistemas de depuración que permitan obtener aguas de mejor calidad.

LA DEPURACIÓN EN LA COMUNIDAD DE MADRID

La depuración de las aguas residuales en nuestra comunidad, a excepción de la capital, se puede decir que comienza con la redacción del Plan Integral de Aguas de Madrid (PIAM), aprobado a finales de 1984. Hasta ese momento la competencia en materia de aguas residuales pertenecía a los ayuntamientos, hasta que la Ley 17/1984 de Abastecimiento y Saneamiento considera los servicios de traída del agua y la depuración como de interés para la Comunidad, mientras que los servicios de distribución y alcantarillado son de competencia municipal. De nuevo, la excepción de la ciudad de Madrid, en la que las depuradoras son gestionadas por el consistorio municipal.

Este PIAM se redactó atendiendo a unos objetivos de calidad que dependían del uso posterior del caudal receptor del vertido, realizándose Planes Directores para las cuencas del Guadarrama Medio, Arroyo del Soto, Alto Manzanares, Lozoya, Jarama Alto, Jarama Medio y Henares. En ellos se determinaban las depuradoras a construir, los colectores y emisarios para agrupar los vertidos y los tipos de tratamientos previstos, los cuales se dividieron en:

- Terciarios para vertidos de importancia a embalses.
- Mixtos físico-químico-biológico para vertidos medios a embalses y vertidos de grandes núcleos con contaminación industrial.
- Secundarios convencionales para vertidos urbanos de tamaño medio.
- Lechos de turba, lagunajes, filtros verdes, etc. en vertidos menores.

Actualmente el Canal de Isabel II gestiona más de 60 depuradoras en la Comunidad de Madrid, que van desde las diseñadas para 300 habitantes-equivalentes, como la del municipio de Venturada con una capacidad de depuración de 45 m^3/día a través de un tratamiento de lecho de turba, hasta las de 325.000 habitantes-equivalentes con una capacidad de depuración de 105.000 m^3/día, como la de Madrid Sur, que da servicio a los municipios de Fuenlabrada, Parla, Pinto, Getafe y Humanes. En estas grandes E.D.A.R. el tratamiento suele ser físico-químico con adición de reactivos y biológico de fangos activos convencional para la línea de aguas y digestión anaerobia o estabilización aerobia más deshidratación en filtro de banda para la línea de fangos.

Las depuradoras con tratamientos terciarios para la eliminación de nutrientes en zonas sensibles, se resumen en la tabla adjunta.

NITRÓGENO	FÓSFORO	NITRÓGENO Y FÓSFORO
Guadalix (Guadalix de la Sierra)	Los Escoriales (San Lorenzo del Escorial, Villa del Escorial)	El Chaparral (Cercedilla, Los Molinos, Guadarrama)
Bustarviejo (Bustarviejo)	Santillana (Becerril, Cerceda, El Boalo, Manzanares el Real, Soto del Real)	Miraflores (Miraflores de la Sierra)
Navalafuente (Navalafuente)	Pinilla (Pinilla, Rascafría, Oteruelo del Valle, Lozoya, Alameda del Valle)	Riosequillo (Canencia, Garganta de los Montes, Gargantilla de Lozoya)
	Puentes Viejas (Buitrago de Lozoya, Villavieja de Lozoya)	Robledo (Robledo de Chavela)
	Picadas (San Martín de Valdeiglesias, Pelayos de la Presa)	El Endrinal (Collado Villaba, Collado Mediano, Alpedrete, Moralzarzal, Navacerrada)
	Navarrosillos (Colmenar Viejo)	Cuenca Media Guadarrama (Villanueva del Pardillo, Las Rozas)
		Navalcarnero (Navalcarnero)

DEPURADORAS CON TRATAMIENTOS TERCIARIOS PARA LA ELIMINACIÓN DE NUTRIENTES EN ZONAS SENSIBLES (ENTRE PARÉNTESIS, MUNICIPIOS SERVIDOS).

REUTILIZACIÓN DE AGUAS DEPURADAS

En la búsqueda de ciudades *ambientalmente sostenibles*, las administraciones públicas establecen la reutilización del agua regenerada como una de sus prioridades, y poder así emplear un agua previamente usada y debidamente tratada en diferentes aplicaciones:

- Urbanas (riego jardines, baldeo de calles, sistemas contra incendios, etc.).
- Agrícolas (riego de los diferentes tipos de cultivos, pastos, etc.).
- Industriales (aguas de proceso, refrigeración, calderas, etc.).
- Recreativos (riego campos de golf, estanques, etc.).
- Ambientales (recarga de acuíferos, riego de bosques, barreras contra la intrusión salina, etc.).

Como ya se ha señalado en el apartado dedicado al tratamiento de las aguas residuales, y según los datos del INE para 2006, en España se tratan casi el 90% de las aguas residuales recogidas y de estas aguas tratadas, el 10% son reutilizadas. En la Comunidad de Madrid se tratan el 96% de las aguas residuales recogidas, si bien apenas un 2% de éstas son reutilizadas para alguno de los fines que se exponían anteriormente.

Actualmente, el Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, establece el régimen jurídico de utilización de las aguas depuradas, impulsando los planes de reutilización y un uso más eficiente del recurso hídrico. Igualmente define una serie de conceptos clave para entender la reutilización, de los que transcribimos directamente del BOE nº 294 del sábado 8 de diciembre de 2007 los que se han considerado más interesantes y obviando los que hacen referencia a aspectos más jurídicos o formales.

A los efectos de este real decreto se entiende por:

a) ***Reutilización de las aguas:*** *aplicación, antes de su devolución al dominio público hidráulico y al marítimo terrestre para un nuevo uso privativo de las aguas que, habiendo sido utilizadas por quien las derivó, se han sometido al proceso o procesos de depuración establecidos en la correspondiente autorización de vertido y a los necesarios para alcanzar la calidad requerida en función de los usos a que se van a destinar.*

b) ***Aguas depuradas:*** *aguas residuales que han sido sometidas a un proceso de tratamiento que permita adecuar su calidad a la normativa de vertidos aplicable.*

c) ***Aguas regeneradas:*** *aguas residuales depuradas que, en su caso, han sido sometidas a un proceso de tratamiento adicional o complementario que permite adecuar su calidad al uso al que se destinan.*

d) ***Estación regeneradora de aguas:*** *conjunto de instalaciones donde las aguas residuales depuradas se someten a procesos de tratamiento adicional que puedan ser necesarios para adecuar su calidad al uso previsto.*

Además, recoge los criterios de calidad mínimos obligatorios exigibles para la utilización de las aguas regeneradas según los usos, de manera que el agua residual debe someterse a un tratamiento de regeneración para alcanzar los requisitos sanitarios y ambientales necesarios para el uso que se destina. Asimismo, se prohíben aquellos usos que puedan presentar riesgos para la salud humana y el medio ambiente, como son:

a) Para el consumo humano, salvo situaciones de declaración de catástrofe en las que la autoridad sanitaria especificará los niveles de calidad exigidos a dichas aguas y los usos.

b) Para los usos propios de la industria alimentaria, tal y como se determina en el articulo 2.1 b) del Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, salvo lo dispuesto en el anexo I.A.3.calidad 3.1c) para el uso de aguas de proceso y limpieza en la industria alimentaria.

c) Para uso en instalaciones hospitalarias y otros usos similares.

d) Para el cultivo de moluscos filtradores en acuicultura.

e) Para el uso recreativo como agua de baño.

f) Para el uso en torres de refrigeración y condensadores evaporativos, excepto lo previsto para uso industrial en el anexo I.A.3.calidad 3.2.

g) Para el uso en fuentes y láminas ornamentales en espacios públicos o interiores de edificios públicos.

h) Para cualquier otro uso que la autoridad sanitaria o ambiental considere un riesgo para la salud de las personas o un perjuicio para el medio ambiente, cualquiera que sea el momento en el que se aprecie dicho riesgo o perjuicio.

En las siguientes tablas se exponen los criterios de calidad para la reutilización de las aguas según sus usos, que establece el Real Decreto.

CRITERIOS DE CALIDAD PARA LA REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS SEGÚN SUS USOS, QUE ESTABLECE EL REAL DECRETO 1620/2007, DE 7 DE DICIEMBRE (B.O.E. Nº 294 DEL SÁBADO 8 DE DICIEMBRE DE 2007).

USO DEL AGUA PREVISTO	NIVEL DE CALIDAD		VALOR MÁXIMO ADMISIBLE				
			Nemátodos intestinales	*Escherichia coli* (huevo/10 l)	Sólidos en suspensión (UFC[1]/100 ml)	Turbidez (UNT[2]) (mg/l)	Otros criterios
1.URBANOS	1.1	RESIDENCIAL: -Riegos de jardines privados. -Descarga de aparatos sanitarios.	1	0	10	2	OTROS CONTAMINANTES[3] contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas[4] deberá asegurarse el respeto de las NCAs[5]. *Legionella spp.* 100 UFC/l (si existe riesgo de aerosolización.
	1.2	SERVICIOS: -Riego de zonas verdes urbanas (Parques, campos deportivos, etc.). -Baldeo de calles. -Sistemas contra incendios. -Lavado industrial de vehículos.	1	200	20	10	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido de aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. *Legionella spp.* 1.000 UFC/l (si existe riesgo de aerosolización) Es obligatorio llevar a cabo la detección de Patógenos Presencia/Ausencia (Salmonella, etc.) cuando se repita habitualmente que c=3 para M=1.000.
2. AGRÍCOLAS	2.1	-Riego de cultivos con sistema de aplicación del agua que permita el contacto directo del agua regenerada con las partes comestibles para la alimentación humana en fresco.	1	100	20	10	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. *Taenia saginata* y *Taenia solium*: 1 huevo/l (si se riegan pastos para consumo de animales productores de carne) Es obligatorio llevar a cabo detección de patógenos Presencia/Ausencia (Salmonella, etc.) cuando se repita habitualmente que c=3 para M=10.000.
	2.2	-Riego de productos para consumo humano con aplicación que no evita el contacto directo del agua regenerada con las partes comestibles, pero el consumo no es en fresco sino con un tratamiento industrial posterior. -Riego de pastos para animales productores de leche o carne. -Acuicultura.	1	1000	35	No se fija límite	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. *Legionella spp.* 100 UFC/l

USO DEL AGUA PREVISTO	NIVEL DE CALIDAD		VALOR MÁXIMO ADMISIBLE				
			Nemátodos intestinales	*Escherichia coli* (huevo/10 l)	Sólidos en suspensión (UFC[1]/100 ml)	Turbidez (UNT[2]) (mg/l)	Otros criterios
2.AGRÍCOLAS (continuación)	2.3	a) Riego localizado de cultivos leñosos que impida el contacto del agua regenerada con los frutos consumidos en la alimentación humana. -Riego de cultivos de flores ornamentales, viveros, invernaderos sin contacto directo del agua regenerada con las producciones. -Riego de cultivos industriales no alimentarios, viveros, forrajes ensilados, cereales y semillas oleaginosas.	1	10.000	35	No se fija límite	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. *Legionella spp.* 100 UFC/l
3. INDUSTRIAL	3.1	-Aguas de proceso y limpieza excepto en la industria alimentaria. -Otros usos industriales.	No se fija límite	10.000	35	15	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. *Legionella spp.*: 100 UFC/l
		-Aguas de proceso y limpieza para uso en la industria alimentaria.	1	1.000	35	No se fija límite	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. *Legionella spp.*: 100 UFC/l Es obligatorio llevar a cabo detección de patógenos Presencia/Ausencia (Salmonella, etc.) cuando se repita habitualmente que c=3 para M=10.000.

USO DEL AGUA PREVISTO	NIVEL DE CALIDAD		VALOR MÁXIMO ADMISIBLE				
			Nemátodos intestinales	*Escherichia coli* (huevo/10 l)	Sólidos en suspensión (UFC[1]/100 ml)	Turbidez (UNT[2]) (mg/l)	Otros criterios
3. INDUSTRIAL (continuación)	3.2	-Torres de refrigeración y condensadores evaporativos.	1	0	5	1	*Legionella spp:* Ausencia UFC/l Para su autorización se requerirá: - La aprobación, por la autoridad sanitaria, del Programa especifico de control de las instalaciones contemplado en el Real Decreto 865/2003, de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénicosanitarios para la prevención y control de la legionelosis. - Uso exclusivo industrial y en localizaciones que no estén ubicadas en zonas urbanas ni cerca de lugares con actividad pública o comercial.
4. RECREATIVO	4.1	-Riego de campos de golf.	1	200	20	10	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. Si el riego se aplica directamente a la zona del suelo (goteo, microaspersión) se fijan los criterios del grupo de Calidad 2.3. *Legionella spp.* 100 UFC/l (si existe riesgo de aerosolización).
	4.2	-Estanques, masas de agua y caudales circulantes ornamentales, en los que está impedido el acceso del público al agua.	No se fija límite	10.000	35	No se fija límite	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. PT : 2 mg P/l (en agua estancada).
5. AMBIENTAL	5.1	-Recarga de acuíferos por percolación localizada a través del terreno.	No se fija límite	1.000	35	No se fija límite	N_{total} :10 mg N/l NO_3 : 25 mg NO3/l
	5.2	-Recarga de acuíferos por inyección directa.	1	0	10	2	Art. 257 a 259 del RD 849/1986
	5.3	-Riego de bosques, zonas verdes y de otro tipo no accesibles al público. -Silvicultura.	No se fija límite	No se fija límite	35	No se fija límite	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido: se limitará su entrada al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs.
	5.4	-Otros usos ambientales (mantenimiento de humedales, caudales mínimos y similares).	La calidad mínima requerida se estudiará caso por caso.				

[1]UFC: Unidades Formadoras de Colonias
[2]UNT: Unidades Nefelométricas de Turbiedad
[3] Ver Contaminantes en Anexo II del Real Decreto 849/1986 del Reglamento del Dominio Público Hidráulico
[4] Ver Lista de sustancias peligrosas del Anexo IV del Real Decreto 907/2007 del Reglamento de Planificación Hidrológica
[5]NCA: Norma de Calidad Ambiental. Según el artículo 245.5 del RD 849/1986 se entiende por norma de calidad ambiental a la concentración de un determinado contaminante o grupo de contaminantes en el agua, en los sedimentos o en la biota, que no debe superarse con el fin de proteger la salud humana y el medio ambiente

EL PRECIO DEL AGUA

Hemos comprobado durante nuestro recorrido por el Ciclo Integral del Agua todos los procesos, mecanismos e infraestructuras que entran en juego, tanto para ofrecer al usuario una buena calidad en el suministro de agua, como para garantizar la calidad ambiental necesaria del agua ya utilizada. Y sí, ahora toca pagar la cuenta. Todo lo dispuesto en torno a este ciclo urbano del agua queda reflejado en forma de euros en nuestra factura del agua.

En general, son los ayuntamientos los encargados de fijar el precio del agua, reflejando todos los servicios que comprenden el Ciclo Integral, desde la recogida y almacenamiento, pasando por su potabilización y posterior suministro, y finalizando con la red de colectores que la conducirá hacia los procesos de depuración. No siempre la gestión viene desde el ayuntamiento, compartiéndose en ocasiones con la comunidad autónoma, como sucede en Madrid.

En cualquier caso, una factura tipo engloba cuatro elementos principales, que son los que, sumados, dan como resultado la cantidad a pagar de nuestro recibo del agua.

1. Cuota fija (o cuota de servicio o cuota por suministro). Corresponde a los gastos de construcción y mantenimiento de las infraestructuras necesarias para el suministro, así como gastos administrativos y de personal. Se deduce que el importe de esta cuota es el mismo para todos los usuarios de una misma localidad.

2. Cuota variable (o consumo de agua). Refleja la cantidad de agua consumida, aumentando el precio del m^3 proporcionalmente al volumen gastado. Es lo que se conoce como tarifa de bloques, en la que el precio va creciendo según se sobrepasan unos límites de consumo fijados por cada ayuntamiento. Se trata de bonificar el ahorro y el consumo responsable, aunque no siempre resulte efectivo.

3. Saneamiento (o vertido o residuales). Es la parte correspondiente a los gastos de alcantarillado y depuración de aguas residuales, si bien resulta más variable al no estar aún del todo asentada la depuración en todas las capitales de provincia. No obstante, ante las cada vez mayores exigencias en materia de depuración por parte de la Unión Europea, puede ocurrir que esta tasa varíe en función del criterio aplicado. Así, la Comunidad Valenciana ha establecido tramos en función del número de habitantes, mientras que en Murcia tienen una cuota fija de 23 euros por hogar al año y un canon variable en función del consumo de 0,24 euros/m^3. En Cantabria existe una cuota fija de 4,8868 euros por

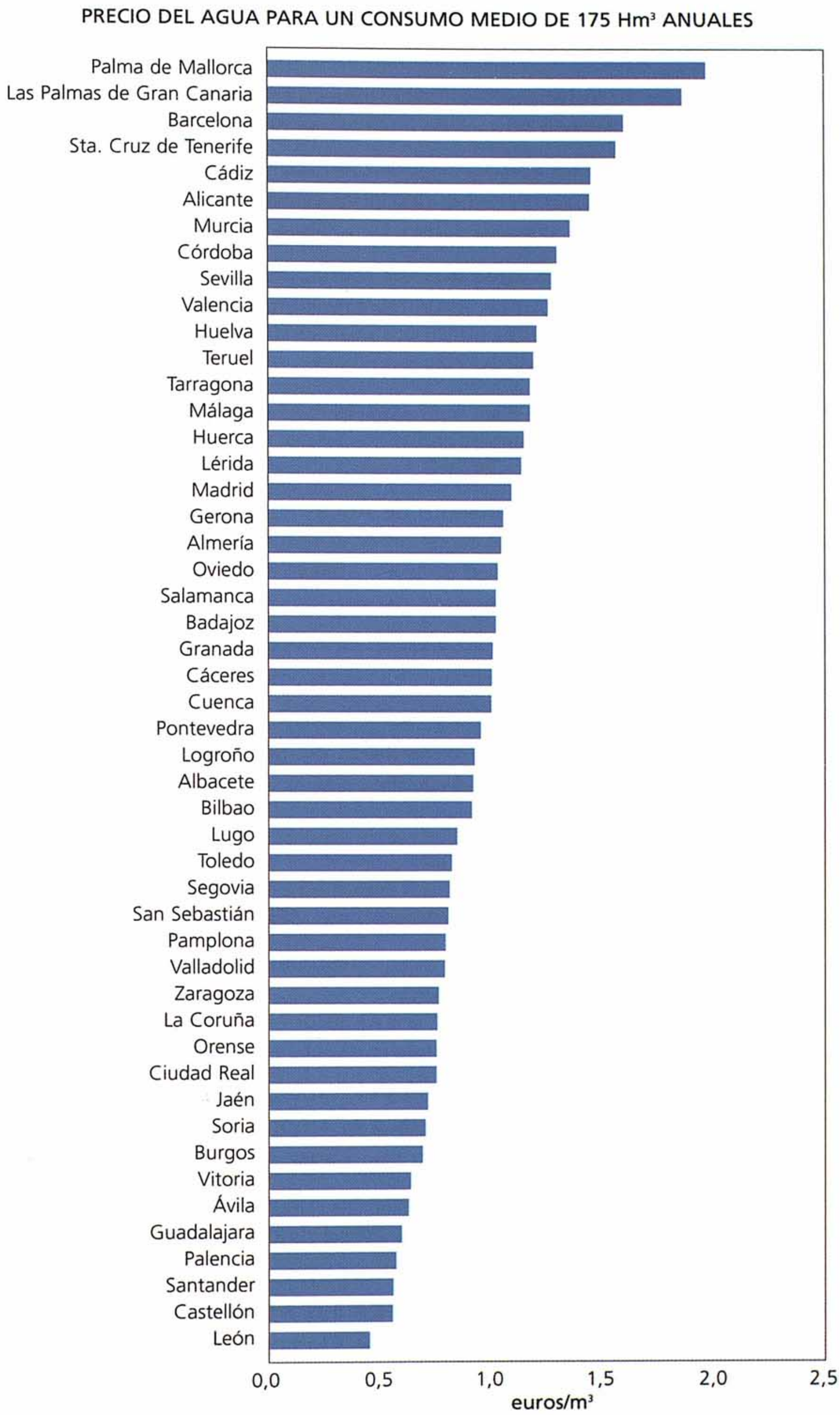
abonado al mes y una variable de 0,2437 euros/m^3. Aragón tiene una tasa de fija de 3,90 euros por abonado al mes y 0,47 en función del consumo. En el País Vasco y Castilla y León se paga en función del consumo y varía según la empresa suministradora, y en Galicia sólo pagan los ciudadanos de poblaciones de más de 2.000 habitantes, con una tasa de 0,209 euros/m^3. Cataluña y Madrid capital han optado por establecer tarifas de saneamiento y depuración en función del gasto que realiza cada ciudadano para primar la eficiencia. Las comunidades que han elegido la fórmula más sencilla son La Rioja, Castilla-La Mancha y Navarra, con un canon por depuración igual para toda la comunidad y sin divisiones por consumos, lo mismo que pretenden Andalucía y Extremadura (Datos del diario *Público*, 9 de marzo 2009).

4. Contador de agua. El aparato que mide la cantidad de agua que consumimos puede ser alquilado o de propiedad, pero en cualquier caso conlleva unos gastos de mantenimiento. Otras veces existe un contador general compartido por la comunidad de vecinos que en general no contribuye demasiado al ahorro.

Por último, pueden existir una serie de cánones o costes fijos adicionales en concepto de mejoras o mantenimiento de diferentes infraestructuras, que están incluyéndose con mayor frecuencia en las ciudades españolas. En Cataluña y Galicia este canon es de carácter autonómico.

Aunque parezca que por todo hay que pagar en esta vida, lo que no se aleja mucho de la realidad, lo cierto es que los datos de 2005 de la Asociación Internacional del Agua (IWA) publicados por la Asociación Española de Abastecimientos de agua y Saneamiento (AEAS), sitúan la factura del agua urbana que pagamos los españoles como la tercera más barata de la Unión Europea, a razón de 1,28 euros/m^3, sólo más cara que lituanos (0,64 euros) e italianos (1,14 euros). A la cabeza figuran Suiza (2,38 euros) y Alemania (2,15 euros). Bien es verdad que los ciudadanos suizos también ocupan el primer lugar en cuanto al consumo, con unos 250 litros por habitante y día, mientras que en Madrid se estima en 124 litros, y en Las Rozas supera los 300 litros.

Dentro de nuestro país, las capitales insulares resultan las de precio más elevado por m^3 de agua consumida, con 1,98 euros en Palma de Mallorca y 1,87 en Las Palmas de Gran Canaria. En la Península, Barcelona se sitúa en primer lugar con 1,61 euros/m^3. Las capitales de agua más barata son Santander, Castellón y León con 0,58, 0,57 y 0,47 euros /m^3 respectivamente. En Madrid, la factura del Canal de Isabel II, que también es la del municipio de Las Rozas, alcanza los 1,11 euros /m^3.



Precio del agua en las capitales de provincia españolas (Fuente: OCU, 2006).

CICLO INTEGRAL DEL AGUA EN LAS ROZAS

En el presente capítulo intentaremos establecer el recorrido hecho por el agua desde la captación en la Naturaleza hasta que llega disponible y potabilizada a nuestros hogares, para volver en sentido inverso a reintegrarse convenientemente depurada a la Naturaleza, y que conocemos por Ciclo Integral del Agua en Las Rozas. Es decir, describimos su curso desde las conducciones principales de la red de abastecimiento que traen el agua a los núcleos de viviendas, pasando por los colectores que recogen el agua una vez usada, para llevarla finalmente a las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales presentes en nuestro municipio.

RED DE ADUCCIÓN

La red general de abastecimiento en servicio actualmente en Las Rozas tiene las siguientes conducciones principales:

a) Desde la Estación de Tratamiento de Aguas Potables (E.T.A.P.) y el Canal de Valmayor:

- Conexión de tubería que discurre paralela a la carretera de Villanueva del Pardillo hasta cruzar la M-50 y conectarse con el suelo urbano consolidado.
- Conexión de tubería que discurre paralela a la carretera de Villanueva del Pardillo, cruza la M-50 y, atravesando el polígono Europólis y El Montecillo se conecta con la tubería paralela a la N-VI (margen izquierda).

b) Desde la E.T.A.P. de Majadahonda:

- Conducción que abastece el casco urbano y El Abajón.

c) Desde la E.T.A.P. de Collado Villalba:

- Conducción que discurre paralela a la vía de servicio de la margen izquierda de la N-VI hasta la M-50 y el Parque Empresarial.
- Conducción que discurre paralela a la N-VI (margen izquierda) hasta conectar con el casco urbano y El Montecillo.

Existen una serie de urbanizaciones cuya red de distribución de agua potable hasta los domicilios no se encuentra asumida por el Canal de Isabel II, como las urbanizaciones de Monterrozas (que cuenta con un campo de pozos y una conexión en alta para la distribución de agua), Club de Golf y Molino de la Hoz. Estas urbanizaciones, constituidas en Entidades de Conservación Urbanística, tienen sus propios convenios con el Canal.

RED DE SANEAMIENTO

Después de haber puesto una lavadora, ducharnos y lavar una lechuga para la ensalada, vemos desaparecer por el sumidero el agua que acabamos de usar. Ahora vamos a seguir la pista a esta agua que no volveremos a ver, por lo menos conscientemente, pues quizá podamos reconocerla en alguna fuente ornamental de nuestro municipio o sirviendo como riego para las plantas de alguno de nuestros parques.

Los desarrollos urbanos de baja densidad e inconexos bajo los que ha crecido el municipio de Las Rozas, creando así un modelo urbano de manchas más o menos aisladas entre sí, ha dificultado históricamente el desarrollo de una red de saneamiento continua. El resultado es una serie de depuradoras compactas asociadas a su red de colectores para tratar las aguas residuales en el punto más cercano a la urbanización en que se producían.

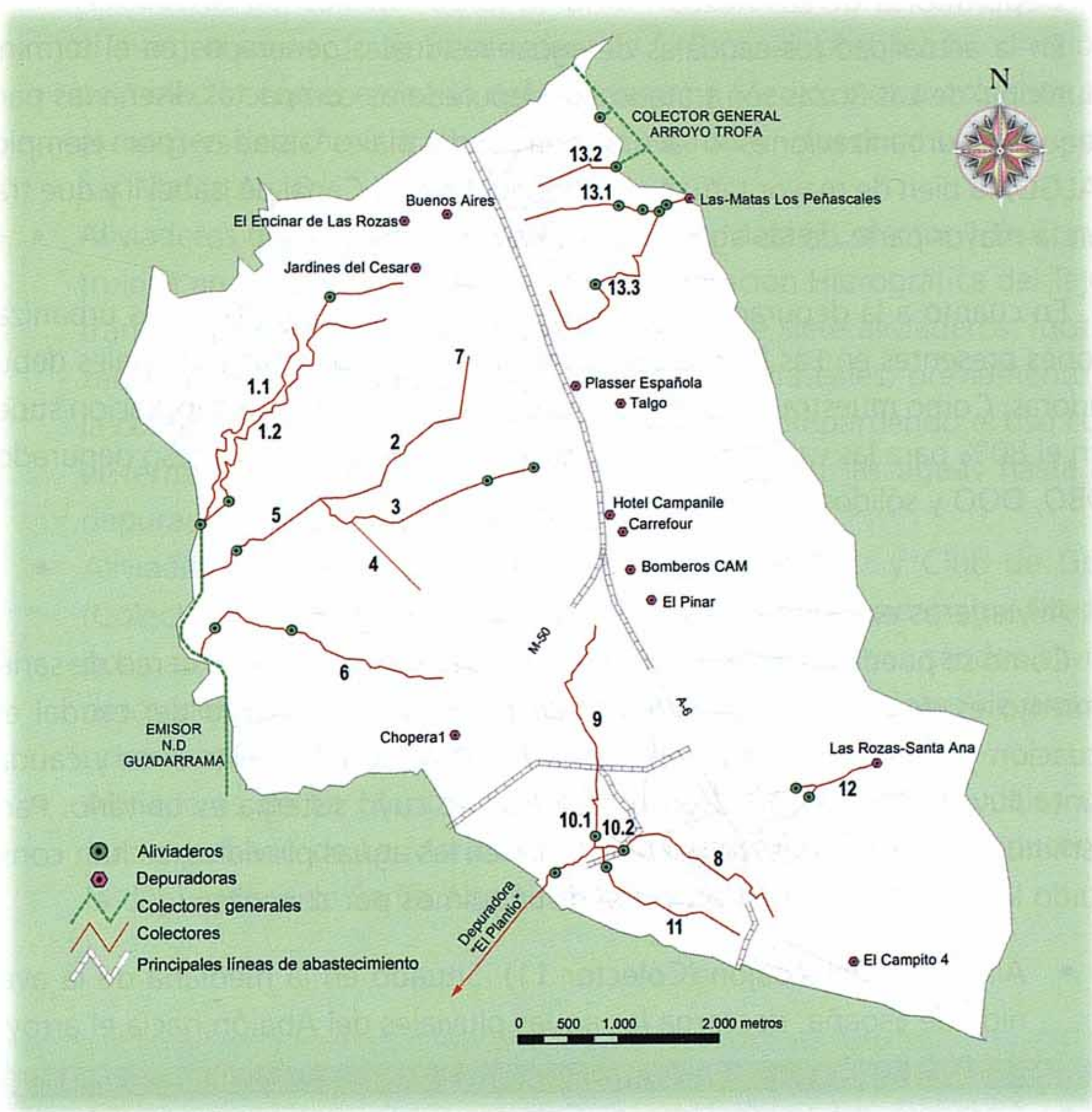
A partir del rápido crecimiento urbanístico, en el término municipal se ha realizado un importante esfuerzo para tratar de conectar las redes dispersas de saneamiento y así reducir a la vez los puntos de tratamiento. Igualmente, resulta necesario acoplar estas depuradoras asociadas a urbanizaciones a las grandes infraestructuras ya existentes través de nuevos colectores Dentro de esta voluntad se encuadran la firma del Convenio de Colaboración entre el Canal de Isabel II y el Ayuntamiento de Las Rozas así como la construcción y desarrollo de las principales depuradoras gestionadas por el Canal.

LÍNEAS PRINCIPALES DE COLECTORES

Los principales colectores de aguas residuales de la red de saneamiento municipal van siguiendo la línea de las grandes vaguadas que la orografía del terreno ofrece, destacando los siguientes:

- Colector 1: Cuenca de la Torre. Dos colectores generales discurren paralelos al arroyo de La Torre, uno por cada margen, recogiendo las aguas del Molino de la Hoz y del Club de Golf. Estos colectores van a unirse con el emisario del Guadarrama Medio, ya del Canal de Isabel II.
- Colector 2: Cuenca Miguel Martín. Colector construido como consecuencia del Plan de Sistemas Generales de Colectores de Las Rozas Noroeste en 1991, recoge los vertidos del Sector IX, de Punta Galea y de parte del Pinar de Las Rozas, para conectar con el colector general del arroyo Lazarejo.
- Colector 3: Cuenca de Perales. Este colector, también construido como consecuencia del Plan de Sistemas Generales de Colectores de Las Rozas Noroeste, recoge parte de los vertidos del Parque Empresarial y los conecta con el colector general del Lazarejo.

- Colector 4: Cuenca del arroyo de los Barros. Transcurre entre la urbanización Villarozas y la urbanización Monterrozas paralelo a la calle Micenas, para ir a parar al colector de arroyo Lazarejo.
- Colector 5: Cuenca del Lazarejo. Construido como consecuencia del Plan de Sistemas Generales de Colectores de Las Rozas Noroeste, actúa como colector general recogiendo los vertidos de los colectores 2, 3 y 4 para conducirlos hasta el emisario del Guadarrama Medio.
- Colector 6: Arroyo de la Retorna. Este antiguo colector conduce las aguas residuales de parte de Las Matas A y B y La Chopera hasta la antigua depuradora de Las Matas A y B, actualmente conectada con el emisario del Guadarrama Medio.
- Colector 7: Conexión Sector IX con el Colector General de Miguel Martín. Recoge las aguas residuales del Sector IX atravesando zonas de espacios libres en la cabecera de la cuenca de Miguel Martín hasta su conexión con el colector general.
- Colector 8. General del casco urbano. Transcurre por la calle Real y avenida del Polideportivo, recogiendo las aguas residuales y pluviales generadas en el casco urbano y conduciéndolas hasta el aliviadero situado en la margen derecha de la carretera del Escorial, junto al Abajón.
- Colector 9. General del Geriátrico. Recoge caudales de la residencia de ancianos situada en la vía de servicio de la margen izquierda de la N-VI, junto a la Dehesa de Navalcarbón. A este colector se conectan las aguas residuales del polígono Europólis y del V-2 para llegar a los colectores exteriores (colectores 10).
- Colectores 10. Exteriores del Sector V-2, Europólis y El Montecillo. Como consecuencia del desarrollo urbanístico del sector V-2 y de El Montecillo, se ejecutan tres colectores que recogen las aguas de los dos núcleos anteriores, así como el caudal unitario del aliviadero del casco urbano, llevándolo hasta el emisario de Arroyo del Plantío y hasta la depuradora del mismo nombre.
- Colector 11. General del Abajón. Discurre por la calle España y recoge los caudales unitarios generados en la urbanización hasta el aliviadero del Abajón y conectar con los colectores exteriores del Sector V-2.
- Colector 12. Exteriores de La Marazuela. Recoge los caudales de La Marazuela hasta la depuradora de Santa Ana.
- Colector 13. Las Matas – Los Peñascales. Colectores separativos que recogen las aguas residuales del barrio de Las Matas conduciéndolas hasta un colector general con origen en la urbanización Los Peñascales (término municipal de Torrelodones), para discurrir paralelo al arroyo de Trofa hasta la depuradora de Las Matas – Los Peñascales.



Localización de las principales líneas de abastecimiento, colectores, colectores generales, depuradoras y aliviaderos, en el término municipal de Las Rozas.

Depuradoras de Las Rozas

En la actualidad los caudales de aguas residuales generados en el término municipal de Las Rozas son tratados en depuradoras compactas diseñadas para pequeñas urbanizaciones o actuaciones industriales aisladas (por ejemplo, TALGO), o bien de mayor tamaño gestionadas por el Canal de Isabel II y que tratan la mayor parte de las aguas residuales del municipio.

En cuanto a la depuración de las aguas residuales urbanas de las urbanizaciones presentes en Las Rozas, disponemos de datos para las principales depuradoras. Como muestra la siguiente Tabla, los rendimientos de depuración superan el 80% para las variables principales medidas durante el proceso depurador (DBO, DQO y sólidos en suspensión).

Aliviaderos existentes

Como se puede observar en los cuadros anteriores, parte de la red de saneamiento es de carácter unitario, lo que provoca un aumento del caudal en situación de lluvias. Basta comparar las cifras de caudal punta seco y caudal punta lluvia en aquellos núcleos del municipio cuyo sistema es unitario. Para disminuir este exceso de caudal que suponen las aguas pluviales, se han construido los siguientes aliviaderos que distinguimos por cuencas:

- Aliviadero del Abajón (Colector 11). Situado en la mediana de la avenida de España, descarga las aguas pluviales del Abajón hacia el arroyo del Plantío.
- Aliviadero del Casco Urbano (Colector 8). Se encuentra en el margen izquierdo, sentido norte, de la carretera de El Escorial, descargando las aguas pluviales del sistema unitario del casco urbano al arroyo del Plantío. Recientemente se ha procedido a su remodelación con la inclusión de un tanque de retención que permita un tratamiento de los caudales vertidos.
- Aliviadero Sector Norte Abajón (Colector 10.2). Se localiza en el nuevo sector La Cumbre, junto al Punto Limpio del Abajón, y desagua las pluviales agregadas del casco urbano y del Abajón previamente a la incorporación de las aguas residuales del emisario del arroyo del Plantío, que las conduce a la depuradora del Plantío.
- Aliviadero de Europólis (Colector 10.1). Situado en el margen izquierdo de la carretera de El Escorial, a la altura de la calle Rufino Lázaro, recoge las aguas residuales que, como consecuencia de conexiones ilegales a la red de aguas pluviales del sector Europólis, provocaban un vertido directo a cauce.

- Aliviaderos del colector de La Retorna (Colector 6). Uno construido en el margen izquierdo de la carretera de El Escorial, previo a la conexión del colector con el emisario del Guadarrama Medio, y otro posterior en el margen derecho a la altura de la depuradora – fuera de servicio – de Las Matas A y B.
- Aliviaderos del sistema de colectores de Las Matas (Colector 13). Construidos en los años ochenta por la Confederación Hidrográfica del Tajo, transcurren cercanos a arroyos con un total de siete aliviaderos, localizados en los colectores de Las Matas y Los Peñascales, previamente a la conexión con el emisario del arroyo Trofa, y compartiendo el uso con el término municipal de Torrelodones. Conducen las aguas hasta la depuradora de Las Matas–Los Peñascales.
- Aliviaderos de las urbanizaciones Molino de La Hoz y Club de Golf (Colector 1). Con la construcción del emisario del Guadarrama Medio por parte del Canal de Isabel II, se construyeron a la vez sendos aliviaderos donde previamente se encontraban las depuradoras de ambas urbanizaciones.
- Aliviaderos de La Marazuela (Colector 12). Conecta los caudales del núcleo urbano de La Marazuela con los emisarios que los conducen a la depuradora de Santa Ana-Las Rozas Este.

NOMBRE E.D.A.R.	ENTIDAD RESPONSABLE	HAB. EQUIVALENTES
Jardines del César	Ayto. de Las Rozas	550
El Encinar de Las Rozas	Ayto. de Las Rozas	600
TALGO	TALGO	1.000
Buenos Aires	EUCC Buenos Aires	800
Chopera 1	Ayto. de Las Rozas	800
El Pinar	Ayto. de Las Rozas	1.000
Carrefour	Centro Comercial Carrefour	3.700
Bomberos CAM	Bomberos CAM	Desconocido
Hotel Campanile	Hotel Campanile	250
Arizónica, Jardín de las Avenidas, El Campito 4	EUCC Urbanizaciones	1.200
Plasser Española	EUCC Urbanizaciones	60

Depuradoras de menor entidad ligadas a urbanizaciones y actividades comerciales o industriales.

NOMBRE DE E.D.A.R.	TÉRMINO MUNICIPAL	ENTRADA EN SERVICIO	HABITANTES EQUIVALENTES	PROCESOS DE TRATAMIENTO
Arroyo Plantío	Majadahonda	1988 2000 (ampliación)	87.500	Agua: biológico de fangos activados con reducción de nutrientes Fango: digestión anaerobia.
Guadarrama Medio	Brunete	1993	70.000	Agua: biológico de fangos activados con reducción de nutrientes en carrusel Fango: digestión anaerobia+ deshidratación en centrifugadora.
Las Matas- Los Peñascales	Las Rozas	1993	10.000	Agua: biodiscos Fangos: digestión anaerobia+ deshidratación en centrifugadora.
Santa Ana- Las Rozas Este	Las Rozas	1992 2006 (ampliación)	3.720 (actual) 21.000 (ampliación)	1) Actual: lecho de turba 2) Ampliación: agua: biológico de fangos activados con reducción de nutrientes Fango: digestión anaerobia.

Depuradoras gestionadas por el Canal de Isabel II y que tratan la mayor parte de las aguas residuales del municipio.

DEPURADORA ARROYO PLANTIO				
Tipo de sistema	Barrio	Caudal medio (l/sg)	Caudal punta seco (l/sg)	Caudal punta lluvia (l/sg)
Separativo	Sector V-2	24,5	57,46	57,46
Separativo	El Montecillo	26,7	66,22	66,22
Separativo	Europólis	20,5	52,82	52,82
Unitario	Casco Urbano	56,3	155,05	562,26
Unitario	El Abajón	36,3	93,93	362,88
Total caudales		**164,2**	**425,5**	**1101,6**

Caudales de llegada a la EDAR Arroyo Plantío (Fuente: Guzmán Folgueras, 2006).

DEPURADORA GUADARRAMA MEDIO				
Tipo de sistema	Barrio	Caudal medio (l/sg)	Caudal punta seco (l/sg)	Caudal punta lluvia (l/sg)
Separativo	Parque Empresarial	51,7	122,55	122,55
Separativo	El Cantizal	37,0	84,86	84,86
Separativo	Sector IX	18,6	46,53	46,53
Separativo	Kodak	10,1	23,96	23,96
Separativo	Molino de La Hoz	13,0	41,16	41,16
Separativo	Avda. de Mallorca, Punta Galea y Pinar	26,2	68,61	68,61
Separativo	Monte Rozas, Cantón-Monte Alto y Los Barros	21,8	53,26	53,26
Unitario	Encinar de Las Matas[1], Jardines del César[1] y Las Encinas	13,7	38,83	136,59
Unitario	Club de Golf	10,4	30,91	104,23
Unitario	La Chopera[1]	2,3	6,89	23,09
Total caudales		**204,8**	**517,6**	**704,8**

[1] Estas urbanizaciones tienen además depuradoras compactas.

Caudales de llegada a la EDAR Guadarrama Medio (Fuente: Guzmán Folgueras, 2006).

DEPURADORA LAS MATAS - LOS PEÑASCALES				
Tipo de sistema	Barrio	Caudal medio (l/sg)	Caudal punta seco (l/sg)	Caudal punta lluvia (l/sg)
Unitario	Casco Urbano de Las Matas	20,2	57,85	201,89

Caudales de llegada a la EDAR Las Matas-Los Peñascales (Fuente: Guzmán Folgueras, 2006).

DEPURADORA TALGO				
Tipo de sistema	Barrio	Caudal medio (l/sg)	Caudal punta seco (l/sg)	Caudal punta lluvia (l/sg)
Separativo	Patentes TALGO	12,9	29,75	29,75

Caudales de llegada a la EDAR de Talgo (Fuente: Guzmán Folgueras, 2006).

DEPURADORA SANTA ANA-LAS ROZAS ESTE				
Tipo de sistema	Barrio	Caudal medio (l/sg)	Caudal punta seco (l/sg)	Caudal punta lluvia (l/sg)
Separativo	La Marazuela	24,4	60,91	60,91
Unitario	Marazuela Antigua	10,5	31,47	104,8
Unitario	Vía de servicio	3,4	10,67	34,03
Total caudales		**38,3**	**103,0**	**199,8**

Caudales de llegada a la EDAR de Santa Ana - Las Rozas Este (Fuente: Guzmán Folgueras, 2006).

PRINCIPALES DEPURADORAS MUNICIPALES. RENDIMIENTO				
	JARDINES DEL CESAR	EL ENCINAR DE LAS ROZAS	EL PINAR DE LAS ROZAS	LA CHOPERA
DQO a la entrada (mg O_2/l)	371 ± 113	418 ± 111	493 ± 195	369 ± 109
DQO a la salida (mg O_2/l)	65 ± 30	76 ± 31	93 ± 26	56 ± 19
Rendimiento promedio de depuración (DQO) (%)	82	82	81	85
DBO a la entrada (mg O_2/l)	185 ± 55	199 ± 48	283 ± 54	186 ± 54
DBO a la salida (mg O_2/l)	16 ± 6	18 ± 7	22 ± 6	14 ± 5
Rendimiento promedio de depuración (DBO) (%)	91	90	92	93
Sólidos en suspensión a la entrada (mg/l)	198 ± 81	222 ± 90	212 ± 63	198 ± 126
Sólidos en suspensión a la salida (mg/l)	19 ± 9	21 ± 10	31 ± 9	17 ± 7
Rendimiento promedio de depuración de sólidos en suspensión (%)	**90**	**90**	**85**	**91**

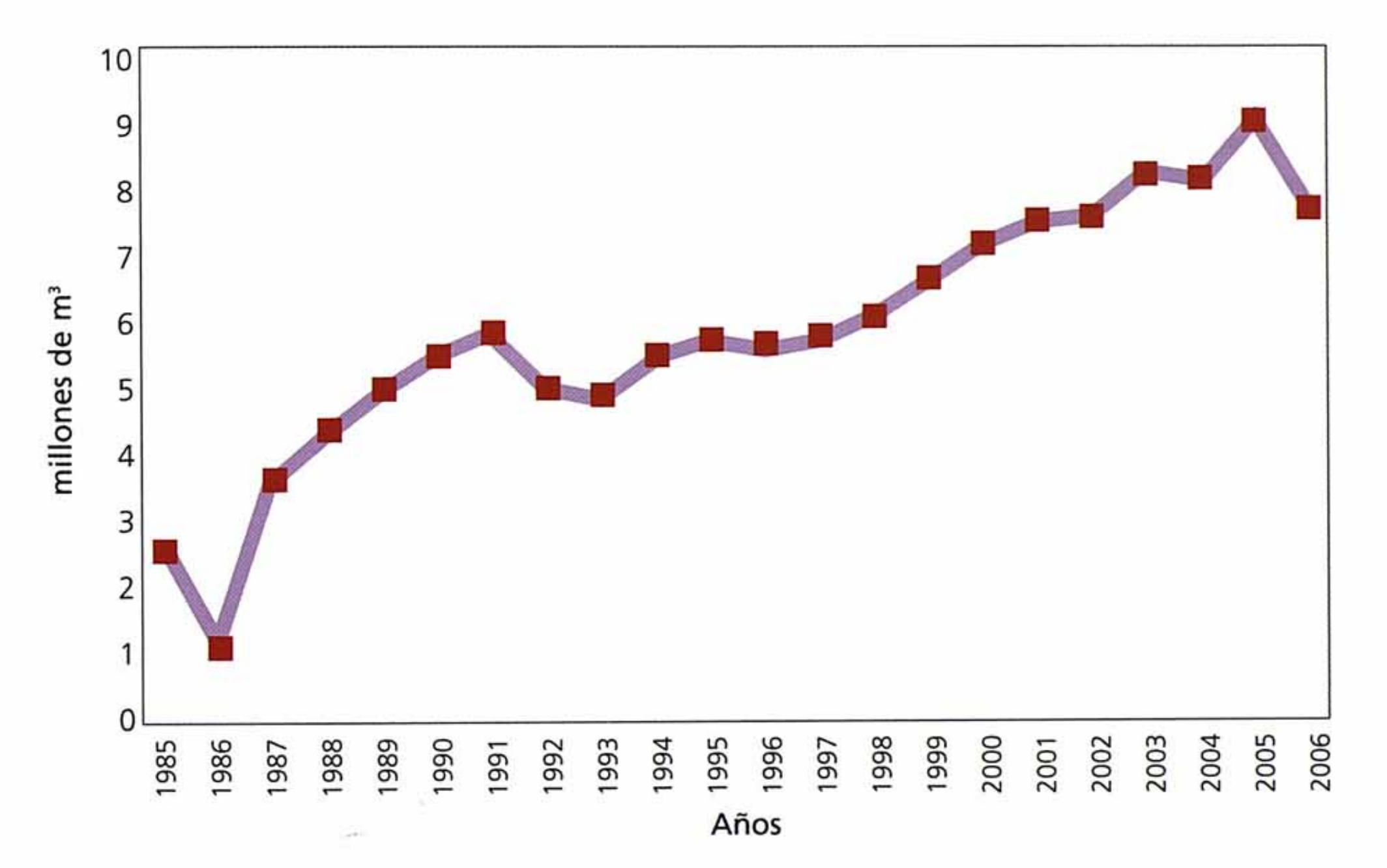
Calidad química y rendimiento de depuración de las principales depuradoras gestionadas por el Ayuntamiento de Las Rozas. Se muestran los promedios y las desviaciones típicas de la DQO, la DBO y los sólidos en suspensión a la entrada de cada depuradora y después del proceso de depuración, a la salida de la misma. Los análisis se han hecho con periodicidad aproximadamente mensual desde 2004 a 2007 (Fuente: Colmenarejo & al., 2008).

Hemos cerrado el Ciclo Integral del Agua en Las Rozas devolviéndola a su medio natural en las condiciones de calidad que se requieren. Toda la gestión ambiental que del agua se hace en el municipio, como depuración, calidad, optimización de recursos y reutilización de las aguas depuradas, es labor del Ayuntamiento de Las Rozas a través de la Concejalía de Vías Públicas, Entono Natural y Embellecimiento Urbano, como se describe posteriormente.

EL CONSUMO DE AGUA EN LAS ROZAS

Según datos del Foro Mundial del Agua, promovido por la Organización Mundial de la Salud, un ser humano necesita 50 litros de agua al día para sobrevivir, empleados en beber, cocinar, lavar y asearse. Con esta estimación, resulta fácil trasladar el dato a nuestro municipio y establecer comparaciones.

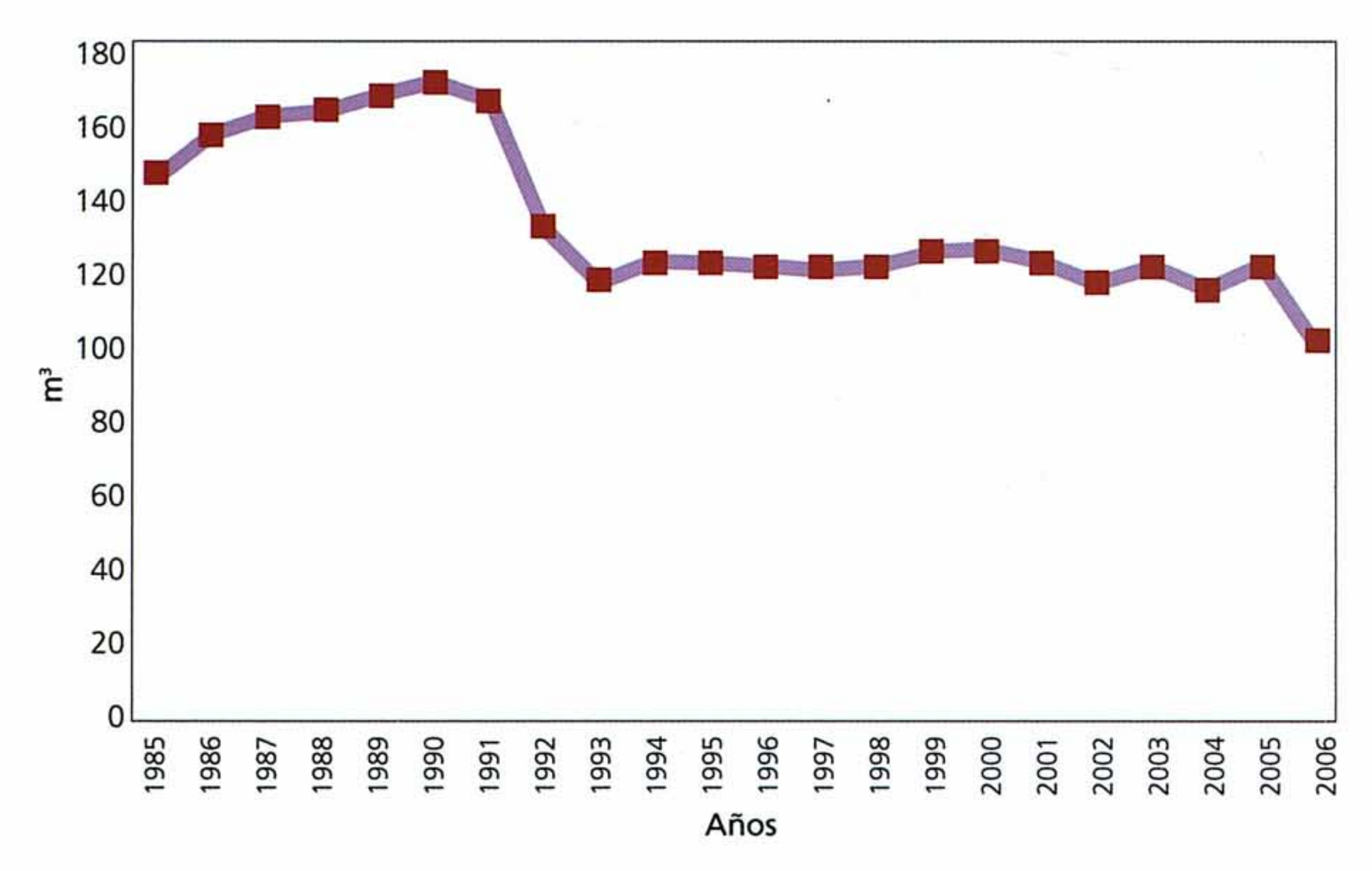
De acuerdo con las cifras suministradas por el Canal de Isabel II, empresa abastecedora de agua en el municipio, el término de Las Rozas ha facturado a lo largo del año 2005 cerca de 9 millones de m^3 de agua. Si tenemos en cuenta que la población, según el último censo de ese mismo año, es de 71.937 personas, podemos calcular que el gasto por persona durante ese año fue de unos 124 m^3, es decir 124.000 litros/persona/año, lo que suponen casi 340 litros/persona/día, es decir, una cantidad de agua entre seis y siete veces superior a las estimaciones mínimas indicadas por la OMS.



Volúmenes totales de agua facturados en el municipio de Las Rozas de Madrid en el período 1985 -2006 (Fuente: Canal de Isabel II).

Vivienda y consumo de agua

Para una planificación urbana sostenible, vivienda y consumo de agua deben ir de la mano, es decir, dicha planificación debe considerar una determinada tipología de las viviendas acorde con los recursos hídricos de la zona. Modelos desarrollistas con casas unifamiliares, rodeadas de jardines particulares, que se identifican con especies vegetales no autóctonas y que requieren un mayor aporte



Volumen anual de agua facturado por persona/año en Las Rozas de Madrid en el período 1985 -2006 (Fuente: Canal de Isabel II).

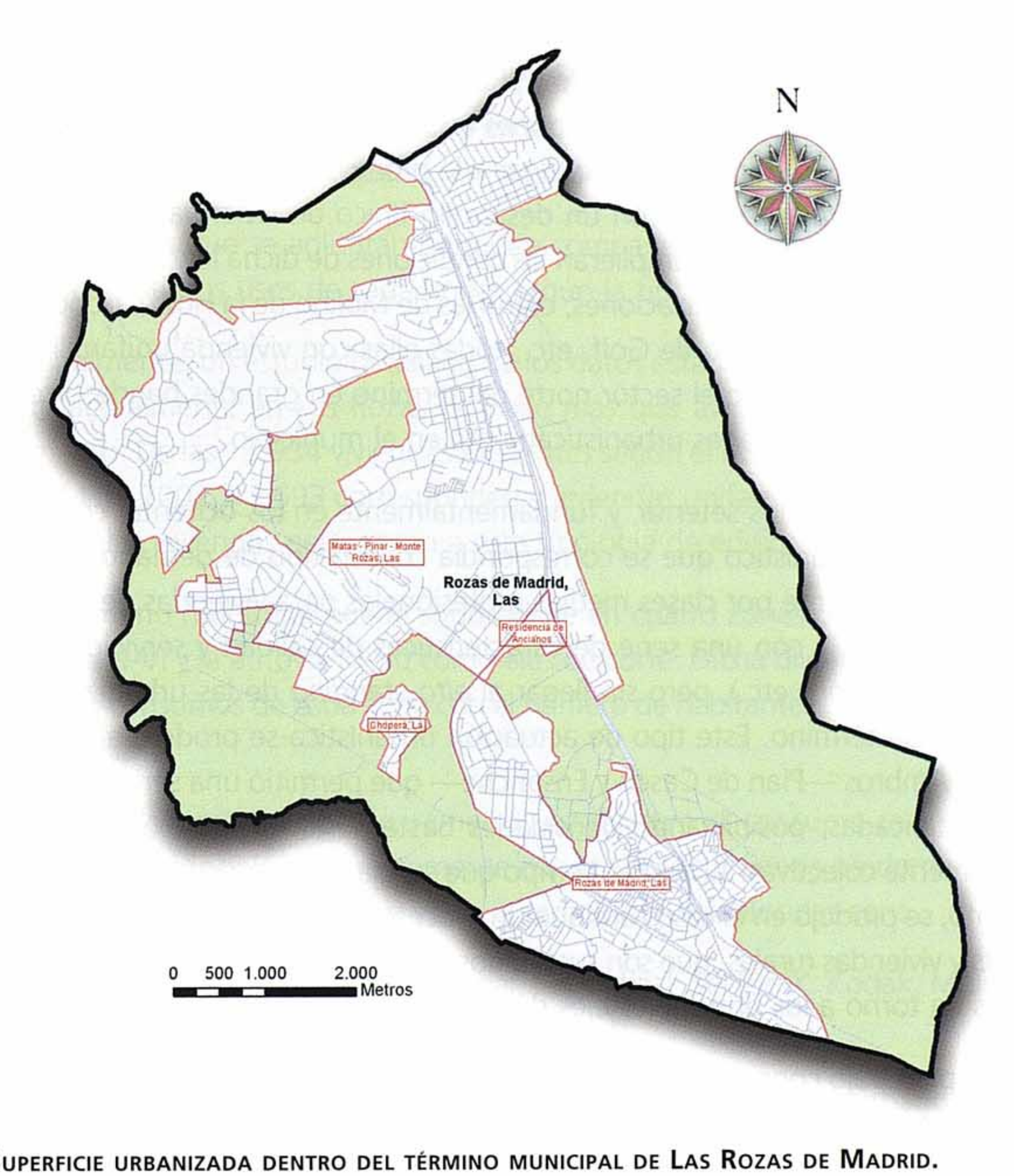
de agua, sumando, además, la más que probable presencia de piscinas privadas, son incompatibles con la disponibilidad de agua de buena parte de las regiones españolas.

El desarrollo urbanístico en Las Rozas

Actualmente, el 47,5 % del término de Las Rozas está urbanizado y el 52,5% restante se reparte entre un 49% que queda incluido en parques regionales (el del Curso Medio del Río Guadarrama y su entorno, y el de la Cuenca Alta del Río Manzanares) y un 3,5% que pertenece a otras áreas naturales de gestión municipal (Cirujano & *al.*, 2003).

Este desarrollo urbano y, por tanto, el proceso de diferenciación social y residencial es un hecho reciente. Las Rozas, como el resto de los municipios del noroeste del Área Metropolitana Madrileña, mantuvo durante siglos una estructura urbana típica de núcleo rural, donde se asentaba una población dedicada a la explotación ganadera y agrícola.

A comienzos del siglo XX, y como consecuencia de la creación de una estación de clasificación de la Línea Norte del ferrocarril, surge el núcleo de Las Matas, ori-



Superficie urbanizada dentro del término municipal de Las Rozas de Madrid.

ginándose un barrio ferroviario. Sin embargo, el núcleo de Las Rozas continuó siendo fundamentalmente rural. Tras la guerra civil, este núcleo quedó destruido y reconstruido parcialmente por la Dirección General de Regiones Devastadas.

En plena posguerra comienzan las primeras fases de desarrollo urbanístico, localizadas en torno al apeadero del ferrocarril de Las Matas. Se trata de un asentamiento de viviendas unifamiliares típicamente serranas, aunque habrá que esperar hasta mediados de la década de los sesenta para contemplar el despegue inicial de la transformación del municipio. En estos años se empiezan a promover una serie de urbanizaciones al oeste de la carretera N-VI, entre ésta y el río Guadarrama, en uno de los parajes más interesantes desde el punto de vista paisajístico.

Estas actuaciones se localizan fundamentalmente sobre grandes fincas rústicas al amparo de la Ley de Suelo de 1956, aprovechando la flexibilidad de su normativa que permitía realizar actuaciones en suelo rústico, siempre que se cumplieran ciertas condiciones. Esto dio lugar a la promoción de una serie de urbanizaciones de *alto standing*, con un desarrollo típico de vivienda en gran parcela, de tal manera que se cumplieran las condiciones de dicha ley. De este modo surgieron numerosas urbanizaciones, como las de Molino de la Hoz, La Chopera, Club de Golf, Nuevo Club de Golf, etc., todas ellas con vivienda unifamiliar de gran lujo, fragmentando el sector norte del término en grandes bandas irregulares, muy poco integradas urbanísticamente en el municipio.

A partir de los años setenta, y fundamentalmente en los ochenta, comenzó un desarrollo urbanístico que se correspondía con un tipo de demanda constituida principalmente por clases medias profesionales para viviendas de residencia permanente, y con una serie de características de calidad y servicios (piscinas, jardines, tenis, etc.), pero sin llegar al *alto standing* de las urbanizaciones del norte del término. Este tipo de actuación urbanística se produjo al amparo del Plan Ambros —Plan de Casco y Ensanche— que permitió una serie de actuaciones salpicadas, posibilitando densidades bastante altas y tipologías fundamentalmente colectivas. Al mismo tiempo que surgían estas nuevas áreas de crecimiento, se produjo en el casco antiguo un proceso de remodelación de antiguos chalets y viviendas rurales, que son sustituidos por edificaciones más densas, localizadas en torno a los principales ejes del mismo.

Este plan trajo consigo un nuevo tipo de promociones inmobiliarias más densas y más próximas al núcleo urbano más antiguo. Se crearon los diversos ensanches del centro, entre los que cabe destacar por sus dimensiones El Abajón. Un tercer tipo de actuaciones de este periodo fue la implantación de centros terciarios (oficinas, comercio y servicios) en las márgenes de la N-VI y que son los pioneros de lo que hoy es un corredor terciario, que se inicia en Aravaca (Madrid) y termina en el kilómetro 26 de la N-VI.

El Plan General de 1988 asumió el modelo urbano existente en el momento de su redacción, que quedaba definido como el "correspondiente a una ciudad extensiva con grandes desarrollos de viviendas unifamiliares", "modelo de continuo urbano disperso dentro de una estructura eminentemente residencial". El Plan, redactado en plena crisis económica, limitó el crecimiento a un techo máximo de viviendas y el desarrollo de suelo residencial se concentró, fundamentalmente, en la construcción de algunas urbanizaciones de vivienda unifamiliar, aislada y adosada, en la zona de Monte Rozas (Azcárate Luxán & *al.*, 2000).

Tipología de la vivienda en Las Rozas

El Plan actual vigente de 1994 ha optado, claramente, por un cambio tipológico hacia el bloque plurifamiliar o en altura. Actualmente las viviendas deben ser de tamaño medio y pequeño, en bloque plurifamiliar.

Las figuras que se adjuntan permiten comparar las diferencias de consumo entre los distintos usos de cada hogar según la tipología constructiva.

Igualmente, un estudio detallado de los datos estadísticos de la vivienda existente actualmente en Las Rozas no hace más que avalar lo expuesto hasta el momento. De las 13.934 viviendas existentes según el Instituto de Estadística de la CAM de 2002, 11.693 corresponden a viviendas unifamiliares, es decir casi el 84% de las viviendas pertenecen a esta tipología de edificación.

El término municipal puede subdividirse en cuatro zonas diferenciadas utilizando la N-VI y la autovía M-50 como ejes de corte. Dicha división permite comparar los consumos de cada zona con el número de habitantes existentes en cada una de ellas.

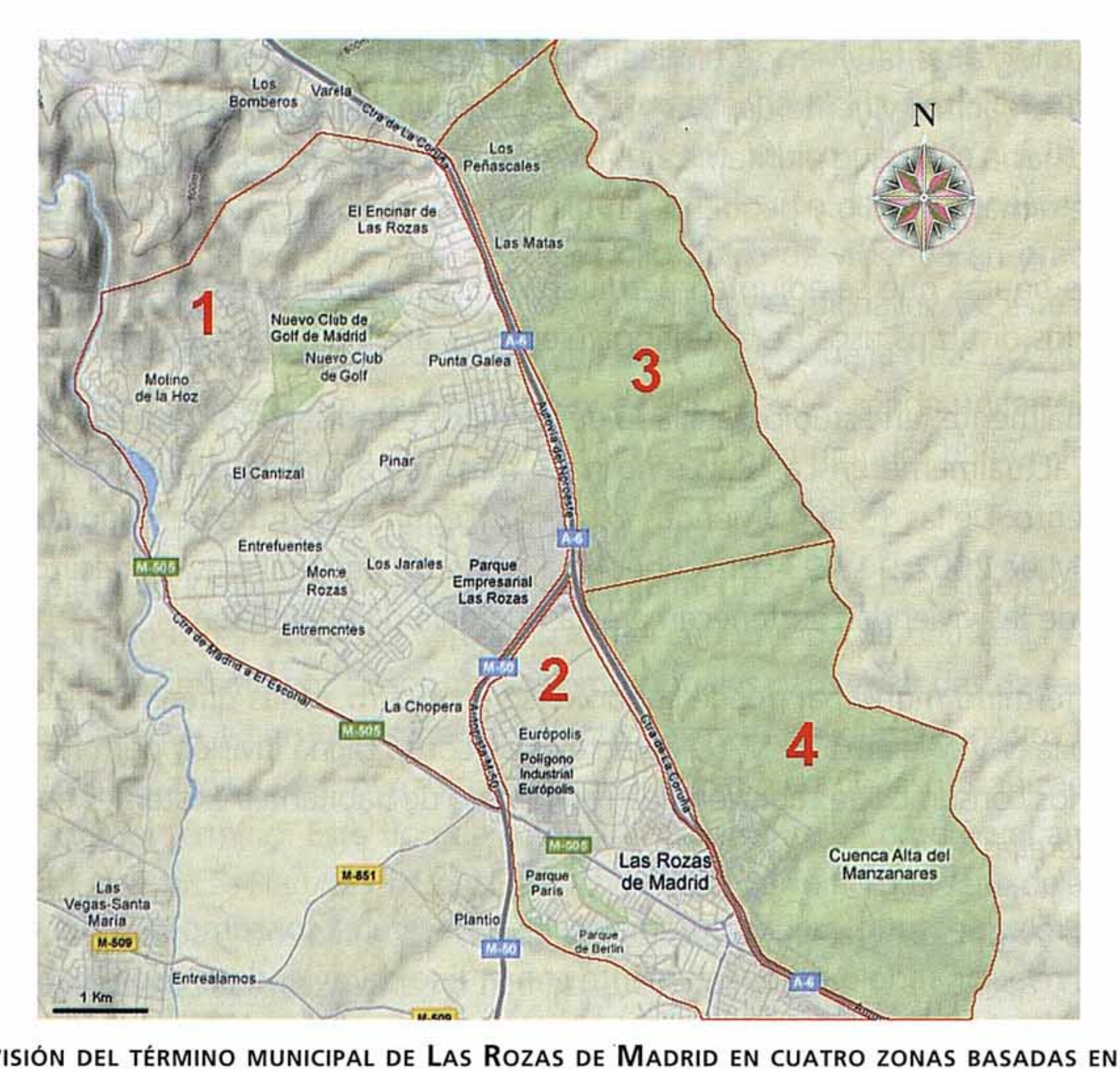
La relación entre ambos parámetros establecerá el consumo real por habitante, relacionándolo así directamente con el tipo de vivienda predominante en cada uno de los cuatro sectores. Las cuatro zonas establecidas son:

1. **Zona Noroeste.** Parque Empresarial, El Cantizal, Sector IX, Kodak, Molino de la Hoz, Club de Golf, La Chopera.

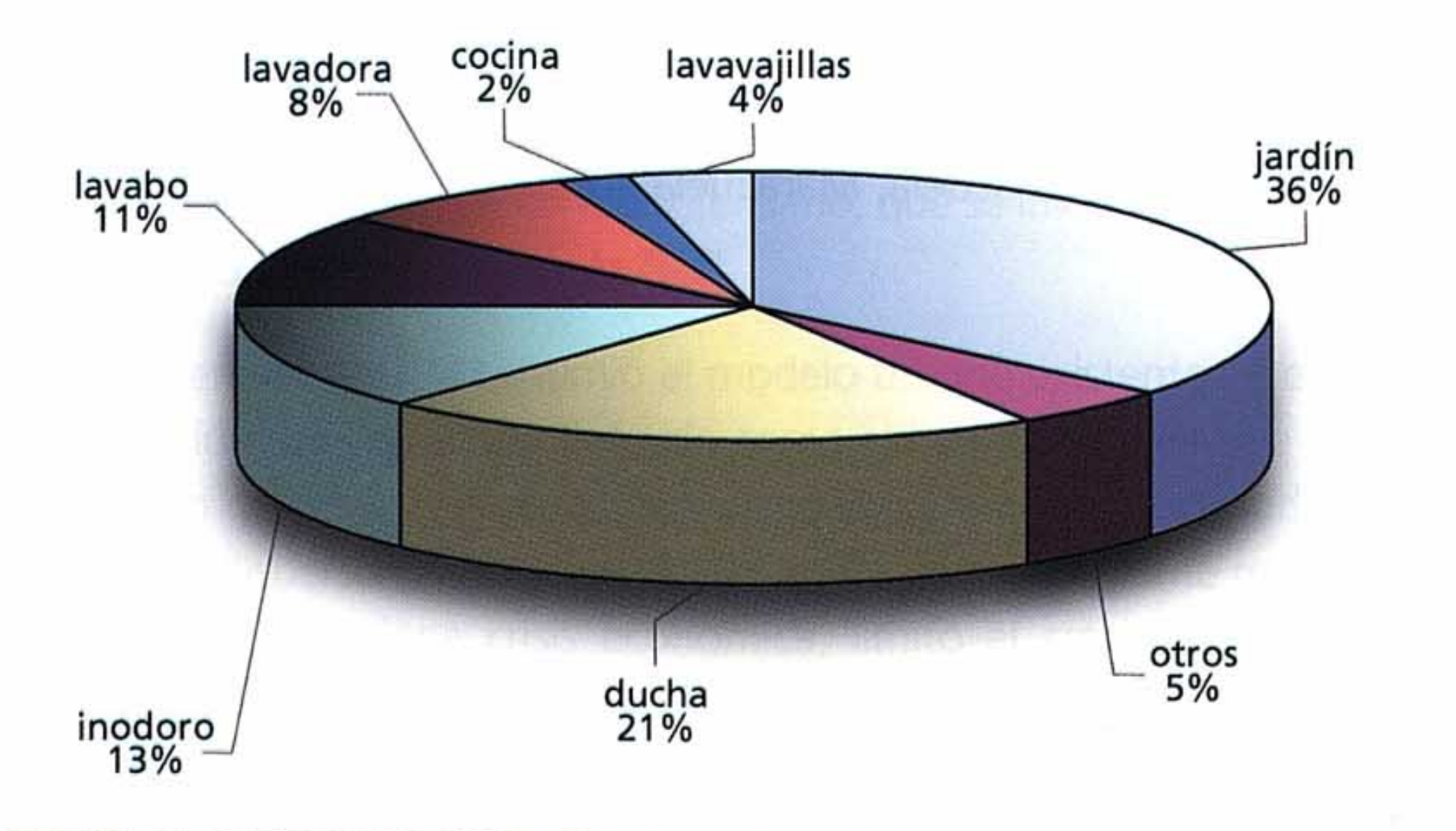
2. **Zona Suroeste.** Sector V-2, El Montecillo, Europólis, Casco urbano, El Abajón.

3. **Zona Noreste.** Casco urbano de las Matas, Patentes TALGO.

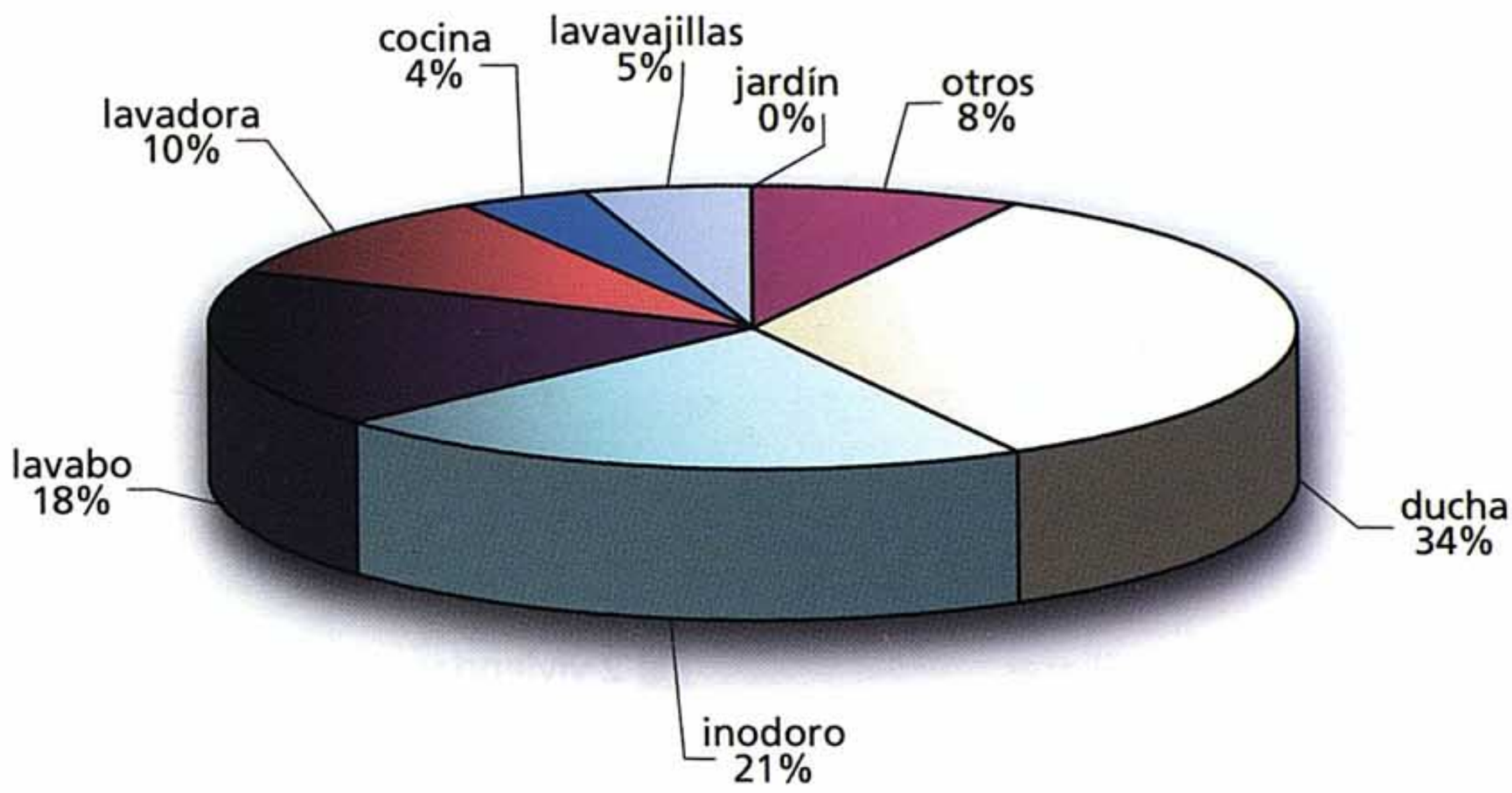
4. **Zona Sureste.** La Marazuela, Marazuela antigua, Vía de servicio.



División del término municipal de Las Rozas de Madrid en cuatro zonas basadas en los ejes de corte conformados por la carretera de La Coruña y la autopista M-50. 1, Zona Noroeste; 2, Zona Suroeste; 3, Zona Noreste; 4, Zona Sureste (Fuente: elaboración propia).



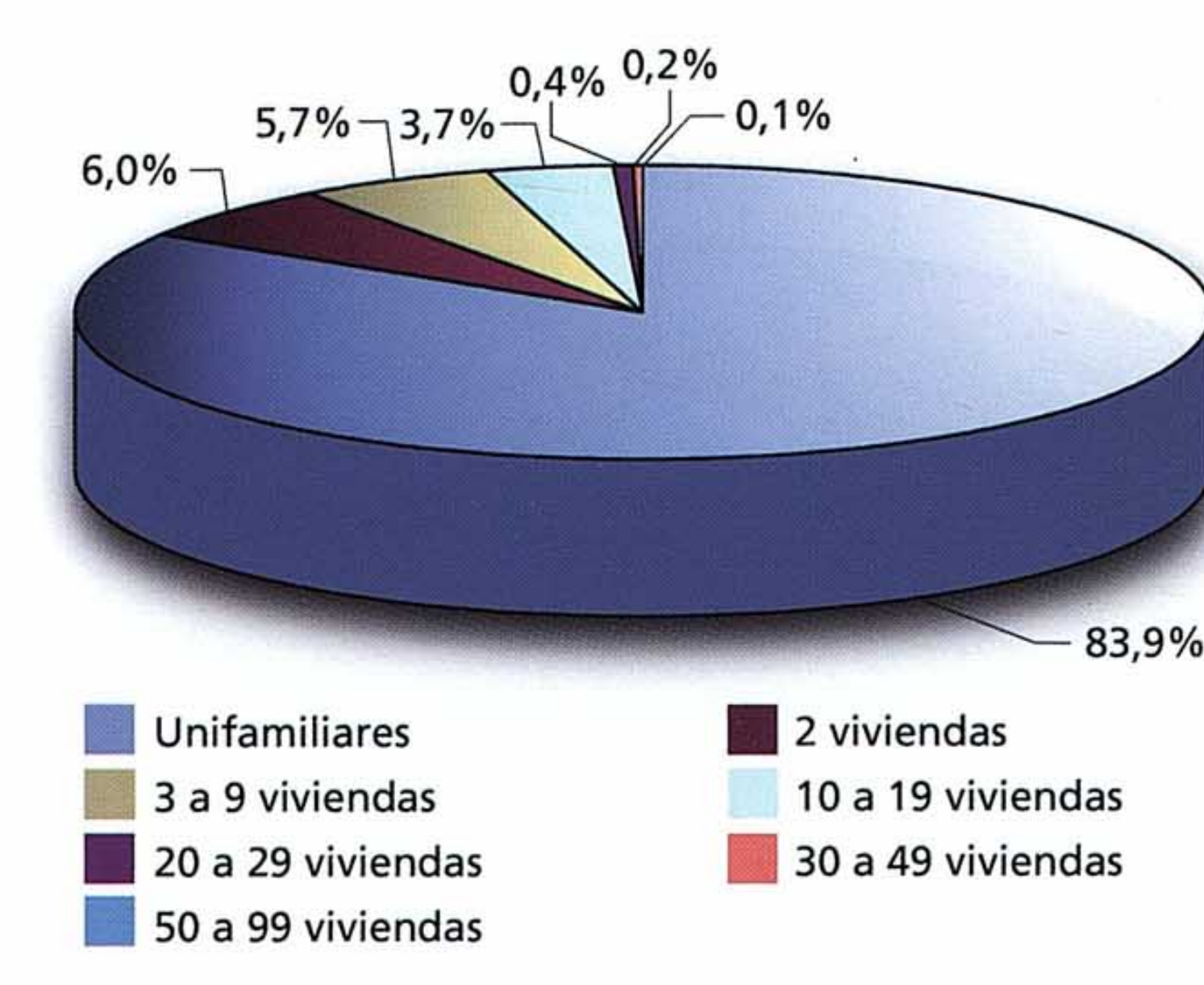
Porcentaje de consumo de agua para vivienda unifamiliar.



PORCENTAJE DE CONSUMO DE AGUA PARA VIVIENDA EN ALTURA.

TIPO DE VIVIENDA	Nº DE VIVIENDAS	%
De 1 vivienda (unifamiliares)	11.693,0	83,9
De 2 viviendas	832,0	6,0
De 3 a 9 viviendas	796,0	5,7
De 10 a 19 viviendas	514,0	3,7
De 20 a 29 viviendas	50,0	0,4
De 30 a 49 viviendas	25,0	0,2
De 50 a 99 viviendas	19,0	0,1
De 100 a 199 viviendas	5,0	0,0
De 200 a 299 viviendas	0,0	0,0
De 300 y más viviendas	0,0	0,0

TIPOLOGÍA DE LAS VIVIENDAS EN EL MUNICIPIO DE LAS ROZAS (FUENTE: INSTITUTO DE ESTADÍSTICA DE LA CAM).



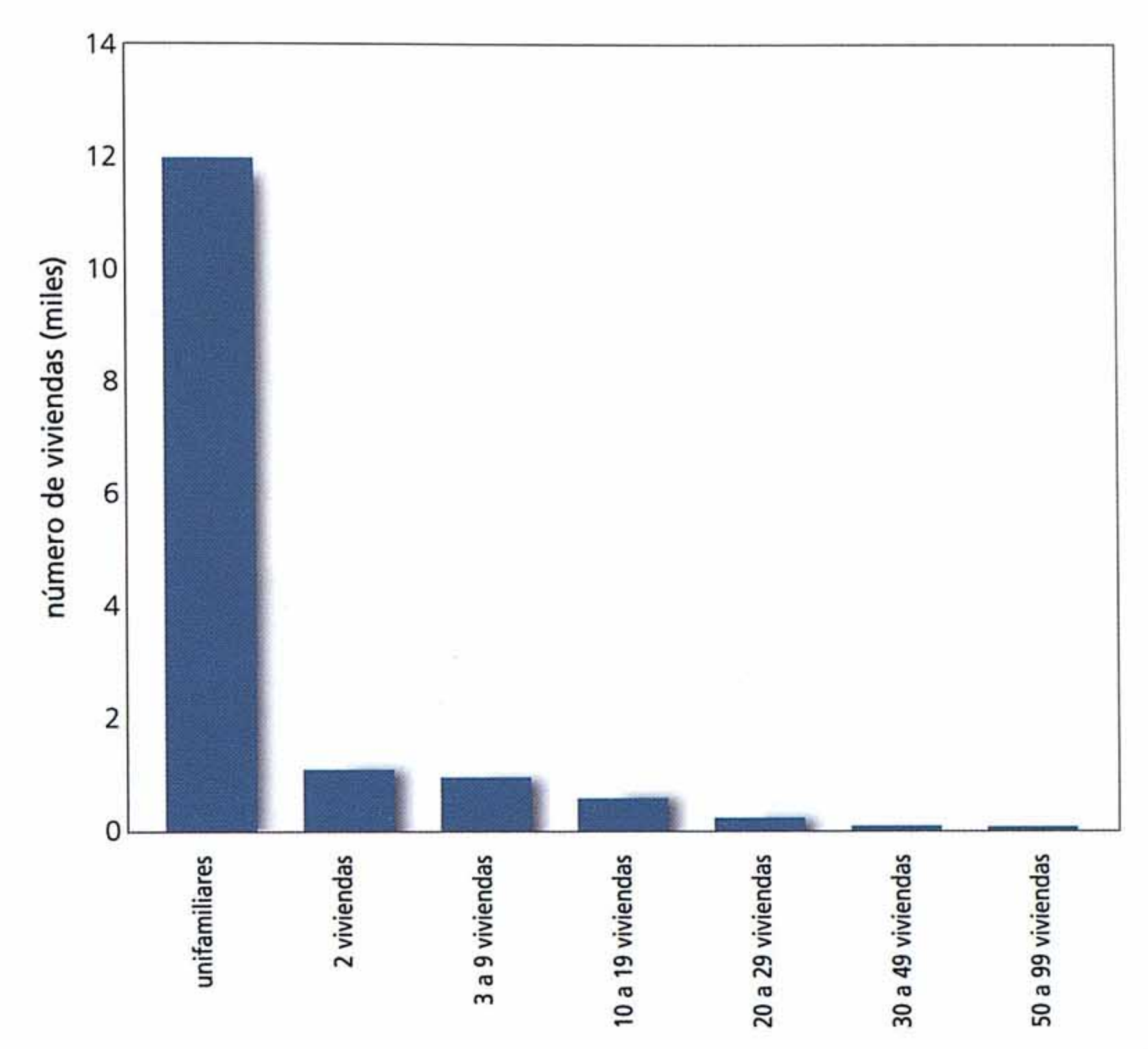
Porcentaje de viviendas según su topología (Fuente: Instituto de Estadística de la CAM).

La zona noroeste es la que necesita de mayores aportes de agua, al tener los niveles de consumo más elevados. Esta situación es debida al tipo de vivienda existente en la zona, en la que predominan las de tipo unifamiliar que, en general, están dotadas de jardín y piscina, y por tanto el consumo de agua es mayor.

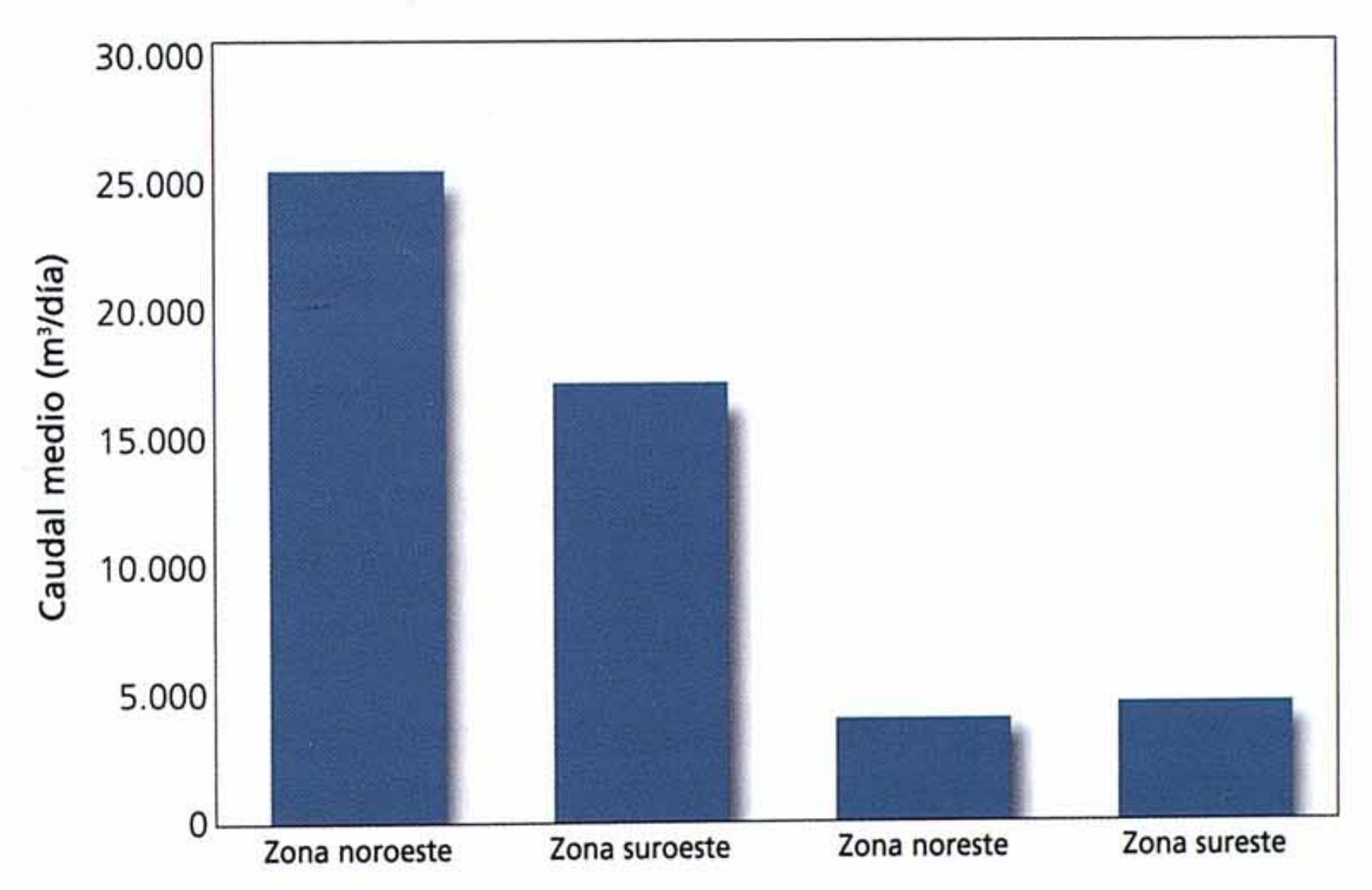
La apuesta por la vivienda unifamiliar no sólo aumenta la ocupación del territorio, sino que dispara los consumos de agua, al menos con los usos y características actuales. Paradójicamente éste es el tipo de vivienda más demandado a la hora de construir y el modelo más característico en el término de Las Rozas, asociado a niveles de renta elevada.

Por el contrario, la Zona Noreste es la de menor consumo, correspondiendo fundamentalmente al núcleo de Las Matas, donde los bloques de viviendas dominan sobre las construcciones de tipo unifamiliar, con la consiguiente reducción de consumos. Debe tenerse en cuenta que el consumo de agua de una vivienda unifamiliar oscila entre los 130–380 litros/habitante/día frente a los 80 litros de media en las viviendas plurifamiliares o en altura.

Si bien se puede asociar a la vivienda unifamiliar, predominante en Las Rozas, el elevado consumo de agua en el municipio, no podemos cambiar de momento la tendencia que favorece esta tipología. Por eso, habría que incidir sobre una política de ahorro a través de la concienciación de los propios vecinos del municipio, y así favorecer unos hábitos de consumo encaminados a reducir la demanda de un recurso tan preciado y escaso como es el agua.



Edificios residenciales según el número de viviendas que albergan (Fuente: Instituto de Estadística de la CAM).



Consumo de caudal estimado según por zonas (Fuente: elaboración propia).

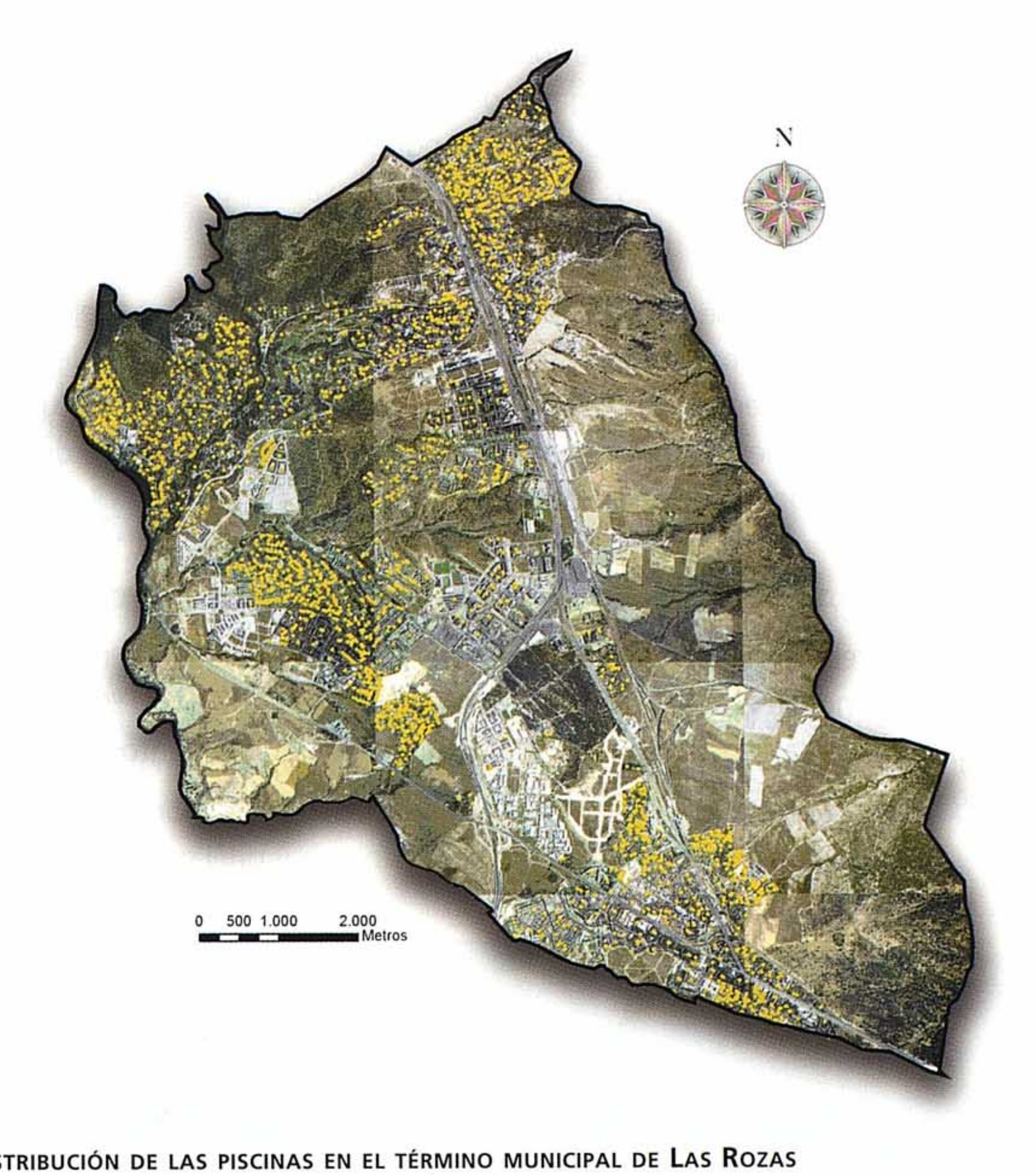
Piscinas

Como ya se ha indicado, el consumo de agua resulta más elevado en viviendas unifamiliares, señalando como posible causa la existencia de jardines y piscinas que acompañan a este tipo de vivienda. Las piscinas son un elemento común que está presente en la mayoría de las viviendas unifamiliares, aunque las viviendas plurifamilares de nueva construcción también suelen tenerlas, ya que van asociadas a una idea de mayor calidad de la vivienda. Si sobrevoláramos el término municipal se nos presentaría un panorama más que revelador en cuanto a la densidad que llegan a alcanzar estas piscinas. Por tanto, cabe preguntarse qué gasto supone este nuevo factor de demanda de agua para el conjunto del término.

Vista aérea de algunas zonas de Las Rozas donde se aprecia claramente la densidad de piscinas existentes.

Resulta difícil llegar a una cifra exacta, puesto que no existe ningún tipo de dato al respecto. Con todo, se ha realizado un cálculo aproximado en función de las piscinas localizadas mediante la foto aérea realizada en el año 2004.

Si tenemos en cuenta que se identificaron alrededor de unos 2.600 vasos de piscina, y si suponemos que cada piscina tiene unos 150 m^3 de media (15 x 5 x 2), el resultado sería de unos 390.000 m^3 al año, es decir, casi cuatrocientos millones de litros dedicados al llenado de piscinas. Esto si consideramos que las pis-



Distribución de las piscinas en el término municipal de Las Rozas (Fuente: elaboración propia).

cinas se llenan sólo una vez al año. Si se tuviesen en cuenta las recomendaciones de los fabricantes, que por lo general no se siguen, de renovar el agua al menos 2 o 3 veces en el verano y una vez en invierno, el consumo se triplicaría.

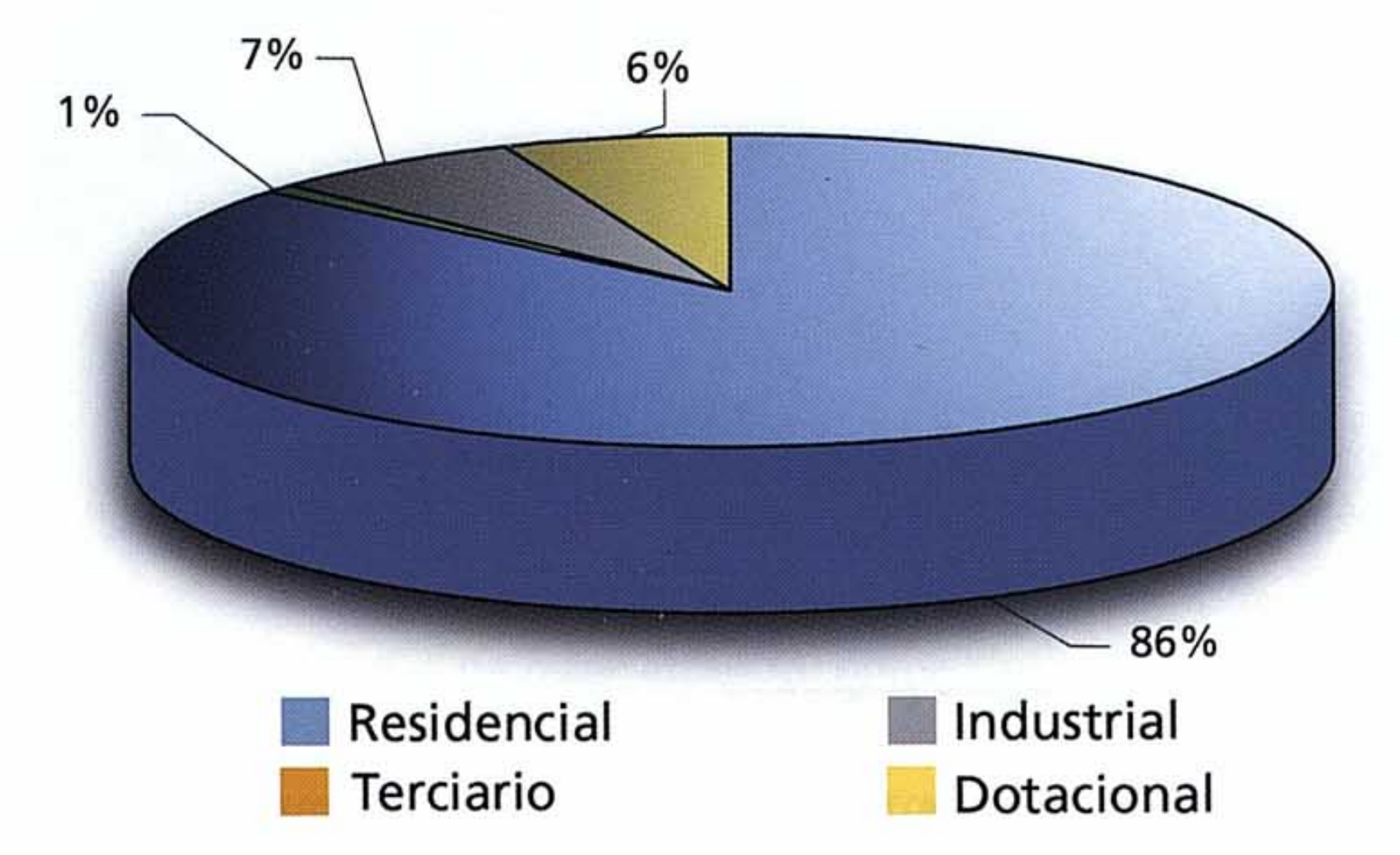
Otro aspecto relacionado con el agua de piscina es la regeneración. Según la ley, el 5% de esta agua debe ser renovado diariamente para mantener los parámetros de salubridad. Con dicha regeneración, aplicada únicamente al periodo estival —90 días aproximadamente— y contando con el número de piscinas existentes, la cifra de gasto al año resulta alarmante: 1.775.000 m^3 al año. La evaporación natural de cada piscina no ha sido incluida en el cálculo, pero podría estimarse de una manera aproximada teniendo en cuenta que cada quince días se vacían dos centímetros de piscina por evaporación (1,5 m^3 por piscina), es decir la evaporación del total de las piscinas en el periodo estival supondría perder 23.600 m^3.

En total, entre llenado y regeneración se habrían consumido más de dos millones de metros cúbicos, es decir el gasto de las piscinas sería aproximadamente un 25% del total consumido en todo el año por el municipio. Esta cantidad de agua podría dar de beber a todos los ciudadanos de Las Rozas durante casi tres meses.

Como puede deducirse, el uso indiscriminado del agua en el manejo de las piscinas trae, como consecuencia, serios problemas medioambientales que, durante periodos de sequía, obligan a las autoridades a prescindir del uso de estas instalaciones, que por otra parte tan saludable y merecido resulta durante nuestro tiempo de ocio o de vacaciones.

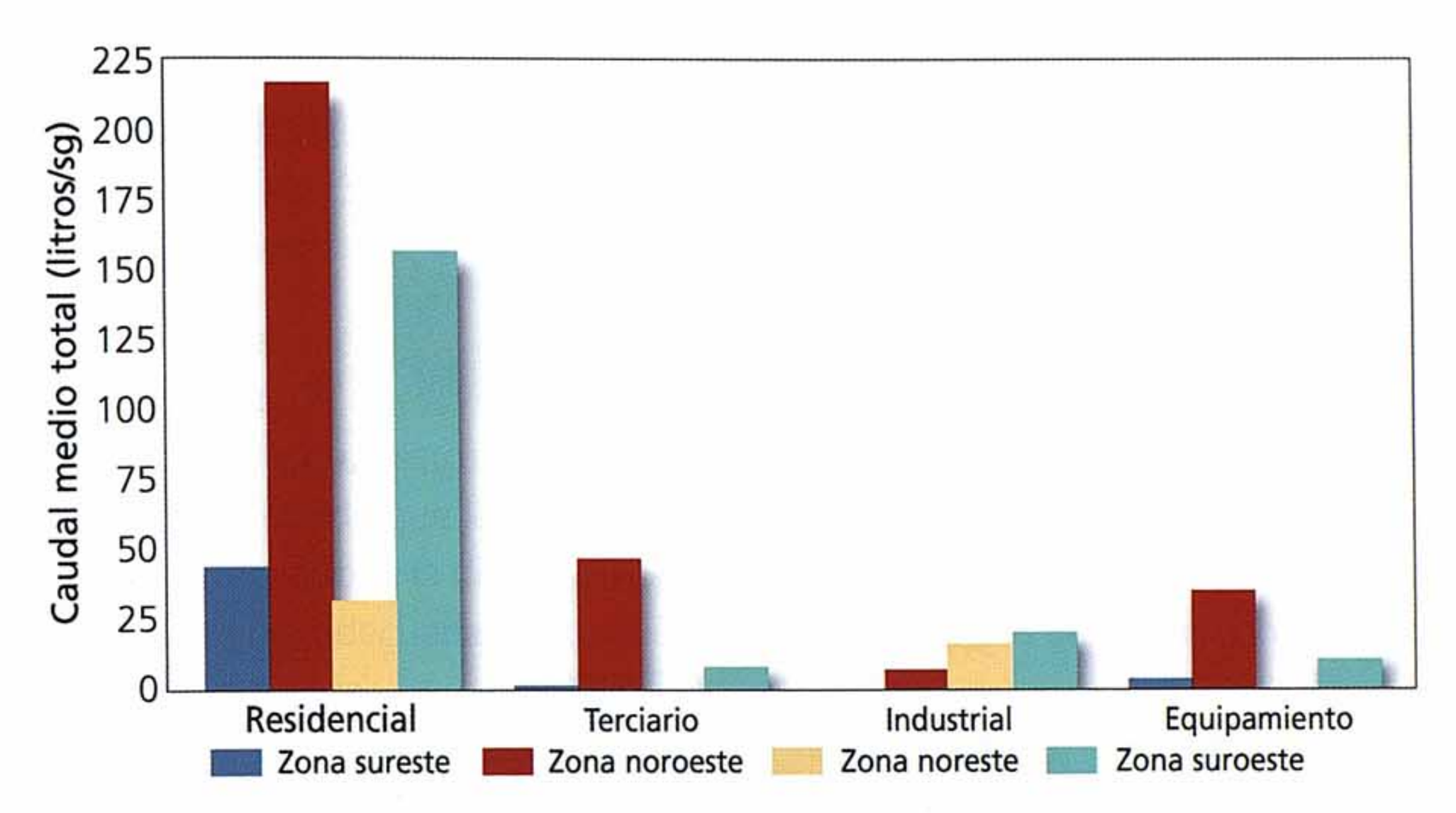
Consumo por sectores

En los hogares se consume el 86% del total de agua que llega al municipio. En los sectores industrial y comercial el consumo alcanza el 7% y 1% respectivamente. El 6% restante corresponde a la dotación de equipamientos (aguas de riego, polideportivos, campos de golf, etc.).



Porcentajes del consumo de agua por sectores en Las Rozas (Fuente: elaboración propia).

Si se realiza la valoración de los datos según las cuatro zonas en que fue dividido el término, el cuadrante noroeste quedaría definido como un área en la que el consumo de origen terciario y el de dotaciones de equipamiento adquieren notable relevancia, al margen del predominio del residencial como en el resto del municipio. Instalaciones como el Club de Golf y similares pueden explicar el porcentaje de consumo que suponen las dotaciones de equipamiento, así como un importante desarrollo de las zonas comerciales en el caso del terciario.



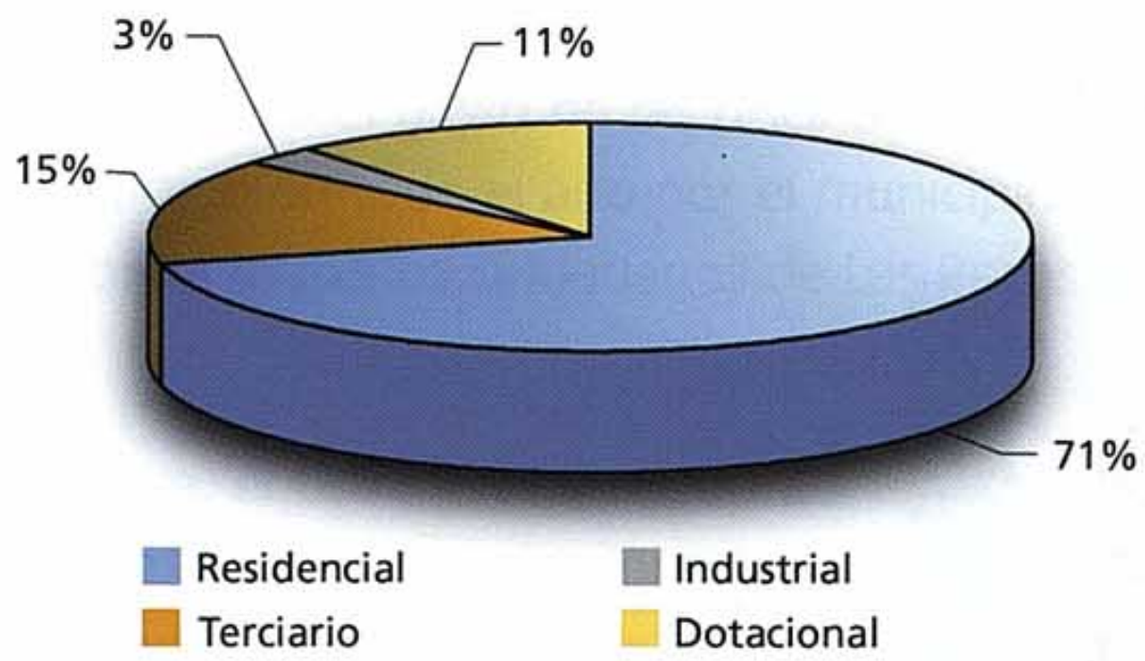
Al entrar en el área noreste, debemos hablar de un consumo industrial de más de un tercio del total, lo que define claramente esta parte del municipio, apoyado en industrias instaladas en la zona como TALGO. Los consumos a partir del sector terciario y de dotaciones son prácticamente nulos.

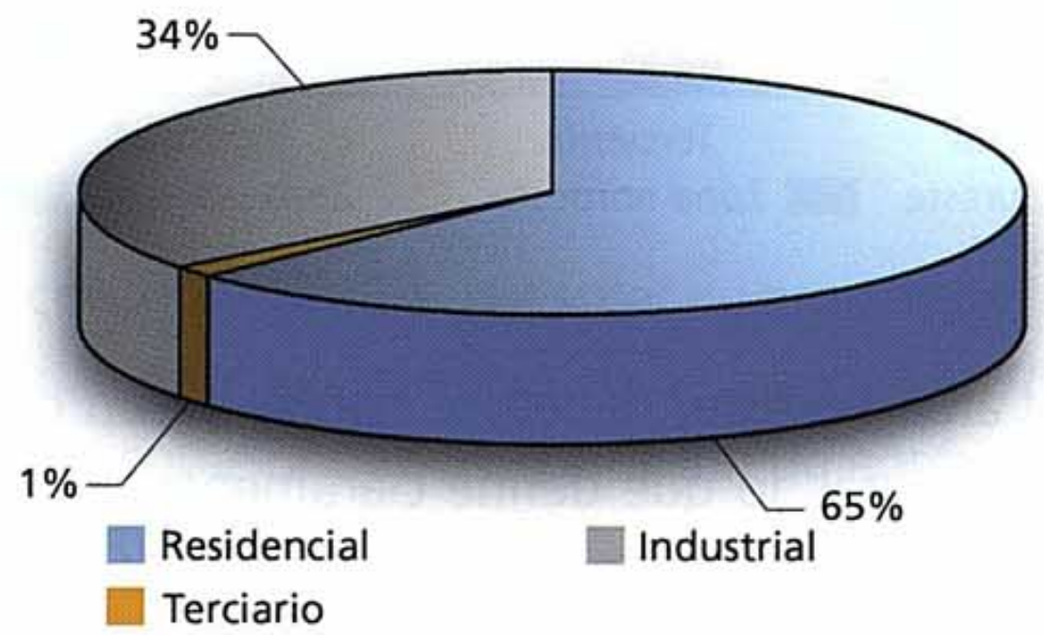
	RESIDENCIAL	TERCIARIO	INDUSTRIAL	D. EQUIPAMIENTO
Zona Sureste	44,34	0,80	0,00	4,40
Zona Noroeste	212,08	46,57	8,28	34,64
Zona Noreste	31,54	0,46	16,20	-
Zona Suroeste	154,71	9,41	21,24	12,60

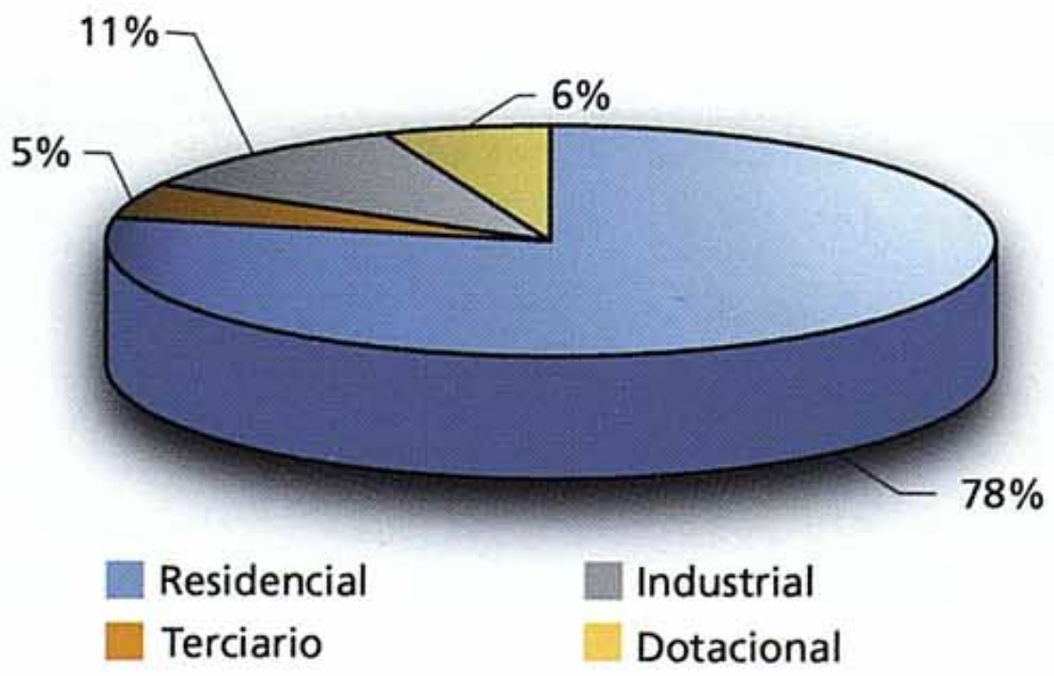
Caudales medios totales (l/sg) estimados por sectores y zonas (Fuente: elaboración propia).

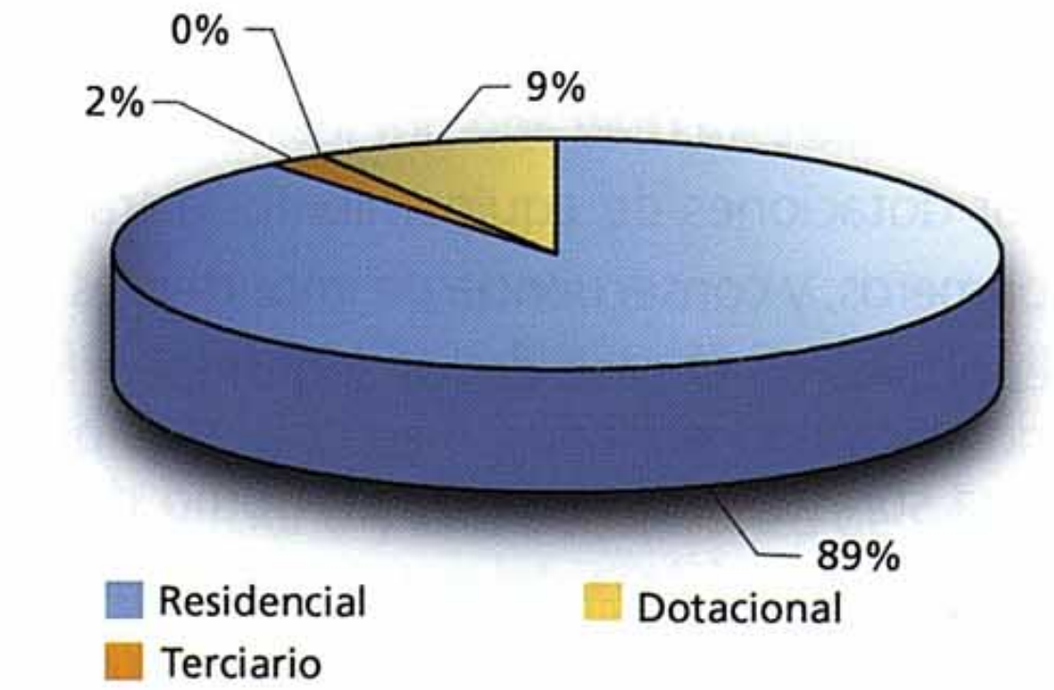
El suroeste de Las Rozas está marcado por los consumos industriales y los provenientes del sector dotaciones de equipamiento, a través del Polígono Industrial Europólis los primeros, y consecuencia de importantes zonas verdes, así como equipamientos deportivos en el caso de los segundos.

En cuanto al área sureste, a un elevado consumo de origen residencial relacionado con la ubicación en el área del propio casco urbano, se une un importante porcentaje relacionado con el sector terciario, así como con el sector de dotaciones de equipamiento, lo que habla de un núcleo de población con importantes equipamientos deportivo-sociales sobre un bien establecido tejido comercial.









Porcentaje de caudales medios estimados por sectores y zonas (Fuente: elaboración propia).

Espacios verdes urbanos

En Las Rozas existen 34 parques municipales urbanos con una extensión total aproximada de 35 hectáreas según datos del Ayuntamiento de Las Rozas (www.ayto-lasrozas.com).

Se estima que sólo en el riego del césped se gastan en un año 15.000 m^3 por hectárea. De nuevo, se plantea la cuestión, al igual que al hablar de los jardines, del diseño de éstos. No se trata de renunciar ni mucho menos a estas zonas verdes. Se trata de que las plantas elegidas para estos jardines y su diseño sean los más adecuados a la disponibilidad de agua de nuestra región. El objetivo final sería mantener adecuadamente nuestros jardines y zonas de recreo con el menor consumo de agua.

Vista aérea del Parque París.

PARQUES	CALLES	SUPERFICIE (m^2)
1° de Mayo	Paseo de Los Alemanes	14.423
Avda. Peñascales	Avda. Peñascales	6.633
El Garzo	Amadeo Vives	5.093
Velázquez	Velázquez	5.853
Monte Ulía	Monte Ulía	835
Majalacabra	Avda. Los Rubios	3.622

Parques de Las Matas.

PARQUES	CALLES	SUPERFICIE (m^2)
Bulevar 1	Camilo José Cela	5.287
Bulevar 2	Camilo José Cela	22.243
Bulevar 3	Severo Ochoa	9.585
Bulevar 4	Severo Ochoa	11.440
Bulevar 5	Severo Ochoa	9.423
Bulevar 6	Camilo José Cela	29.864
Bulevar 7	Camilo José Cela	15.463
Grecia	Paseo de Corinto	38.190
La Retorna	Avda. de Esparta	10.223
El Mirador	Fidias	23.641
Los Jarales	Avda. Esparta	6.945
Monte Alto	Avda. Esparta	10.098

Parques de Entremontes, Cantizal y Parque Empresarial.

PARQUES	CALLES	SUPERFICIE (m^2)
Javeriana	Real	4.504
San Miguel	Doctor Toledo	8.484
Fuente de El Caño	Del Caño	1.500
Siete Picos	Siete Picos	7.000
Collado Mediano	Collado Mediano	1.016
Marazuela	Acebo	5.517
Balsaín	Juan Baroja	4.879
La Bandera		2.630
Castillo de Atienza	Castillo de Atienza	2.953

Parques del casco urbano.

PARQUES	CALLES	SUPERFICIE (m^2)
Paris I	Avda. de España	68.914
Paris II	Comunidad Aragón	10.539
Paris III	Comunidad de Aragón	16.667
Botánico	Avda. de España	2.125
Lineal	Ctra. Rozas Majadahonda	8.311
Otero Besteiro	Comunidad Castilla-León	13.129
Dublín	Segovia	8.589

Parques del Abajón.

Parque San Miguel.

Campos de Golf

Al hablar de consumo de agua no podemos dejar de lado la potencial demanda que supone crear y mantener un campo de golf.

El consumo mínimo anual de los campos de golf es de aproximadamente unos 700 m^3 al día, es decir unos 700.000 litros/día. Si tomáramos como referencia el valor máximo de consumo, el gasto anual de los campos de golf supondría alrededor de 8% del volumen total facturado por el municipio, porcentaje aún mayor que la suma de los consumos de los sectores industrial y terciario.

Vista aérea del campo de golf de la urbanización Molino de la Hoz.

LA GESTIÓN AMBIENTAL DEL AGUA EN EL AYUNTAMIENTO DE LAS ROZAS

Dentro del Departamento de Medio Natural, la Sección del Agua, está encargada de asegurar una calidad de agua aceptable para los cauces naturales, especialmente los situados en espacios naturales protegidos, de acuerdo a lo indicado en la Ley de Aguas. Para ello se ha establecido el cumplimiento de una serie de requisitos:

- Que los vertidos a estos cauces no presenten problemas de tipo sanitario.
- Cumplir con las regulaciones establecidas por la Comunidad Europea en relación con la depuración de aguas residuales urbanas y los límites de vertido establecidos por la propia normativa municipal.
- Que las aguas naturales cumplan con las normas establecidas en la legislación vigente en cuanto a la calidad de aguas aptas para la vida de los peces.

Organigrama del Servicio de Entorno Natural del Ayuntamiento de Las Rozas de Madrid.

Con el fin de solucionar los problemas que se refieren a la calidad del agua se ha diseñado una estrategia para preservar y/o mejorar los sistemas naturales que puedan estar afectados por la existencia de aguas contaminadas, que se plantea los siguientes objetivos:

- Construcción y gestión de instalaciones de depuración de pequeñas dimensiones y bajo impacto ambiental *in situ*, favoreciendo los tratamientos de bajo coste de implantación y mantenimiento.
- Reutilización de las aguas residuales depuradas en las propias áreas de gestión, con diferentes posibilidades de uso: recreativo, jardinería, mejora ambiental, etc.

La consecución de dichos objetivos supone un beneficio ambiental de carácter múltiple y podría servir como estrategia-piloto para su difusión e implantación a mayor escala. Por una parte, se eliminarían los problemas ambientales derivados del tratamiento inadecuado o de la ausencia de tratamiento de las aguas residuales. Por otra, se fomentaría la implicación de la población en las estrategias de gestión y ahorro del agua, tan necesarias en un país como el nuestro en el que la escasez del agua suele ser un problema recurrente.

Para conseguir dichos objetivos se han establecido diversos programas o líneas de acción por la Sección del Agua del Departamento del Medio Natural del Ayuntamiento de Las Rozas.

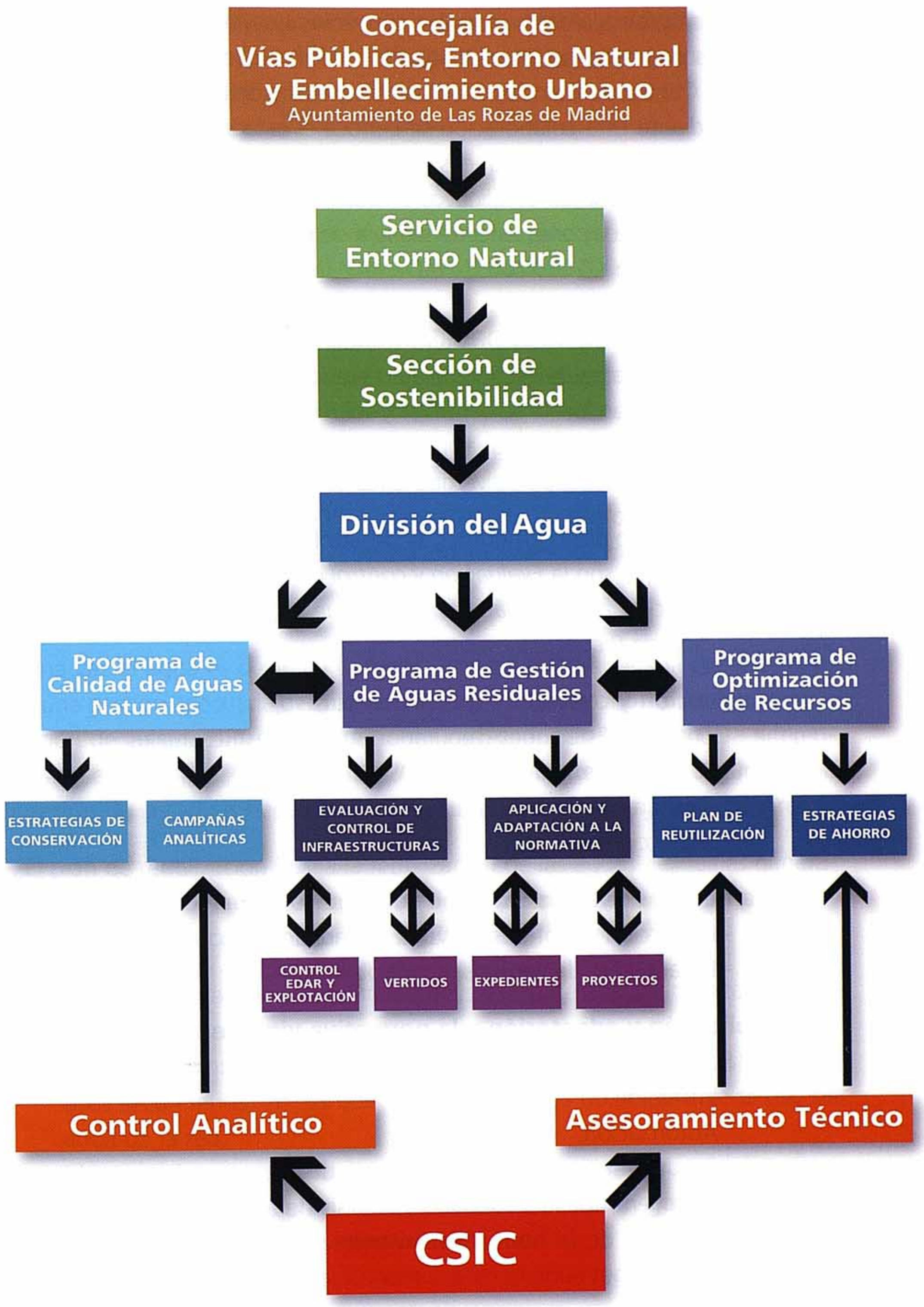
PROGRAMA DE CALIDAD DE AGUAS NATURALES

El programa persigue el mantenimiento y mejora de las características de las aguas naturales, basándose en las normas vigentes para aguas de baño y aptas para la vida de los peces.

En cualquier caso, lo que se pretende es tener un conocimiento exacto de las calidades de los caudales que discurren por cada una de las cuencas y sub-cuencas del municipio, tanto si el carácter de los cauces es permanente, estacional o esporádico.

Conociendo dichas características se tendrá información suficiente para proceder a las tareas de mejora para cada cauce en función de los requerimientos de uso por parte de la población y para la implantación adecuada de los ecosistemas naturales que se deban desarrollar en cada área. Dichas acciones se plasmarán en las Estrategias de Conservación de las Aguas Naturales.

Básicamente, este control se realiza mediante campañas de toma de muestras y análisis en los que se miden los parámetros fundamentales que nos indican el nivel de contaminación.



Líneas de acción de la División del Agua del Departamento del Medio Natural del Ayuntamiento de Las Rozas de Madrid.

En este programa se enmarcan los convenios que el Ayuntamiento de Las Rozas tiene suscritos con el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) a través del Centro de Ciencias Medioambientales y el Real Jardín Botánico de Madrid. Mediante esta colaboración se conoce el estado de las aguas superficiales (ríos y arroyos) y subterráneas (pozos y acuífero) del municipio. De este modo se sitúan los puntos conflictivos en cuanto a la calidad de dicha aguas y se proponen las actuaciones encaminadas a su mejora (Álvarez Cobelas & *al.*, 2004; 2009; Cirujano & *al.*, 2005; 2007).

PROGRAMA DE GESTIÓN DE AGUAS RESIDUALES

Dentro del programa de gestión de aguas residuales se han venido realizando trabajos que permiten localizar, controlar y solucionar los problemas detectados en cuanto a la gestión de las aguas residuales del municipio, con el fin de conseguir una calidad adecuada de vertido a los cauces receptores.

Para llevar a cabo dicho programa, se desarrollan los trabajos a través de dos líneas de acción que son la *Evaluación y control de las infraestructuras* y la *Aplicación y adaptación a la normativa vigente*, que se completan con la *Supervisión y ejecución de Proyectos*:

- **Evaluación y control de infraestructuras**
  - Control de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales.
    - Análisis de efluentes.
    - Gestión de instalaciones.
    - Inspección.
  - Control de vertidos.
    - Inspección de infraestructuras de saneamiento.
    - Localización de vertidos incontrolados.
- **Aplicación y adaptación a la normativa vigente**
  - Formulación de expedientes administrativos de :
    - Infracción.
    - Autorización.
  - Seguimiento de la inspección y análisis de aguas residuales.
  - Aplicación de la normativa existente en materia de depuración de aguas.
- **Supervisión y ejecución de Proyectos**
  - Seguimiento de la ejecución de proyectos infraestructurales.

- Planeamiento y evaluación de proyectos hidráulico-sanitarios.
- Adecuación a la Directiva 91/271/CEE, mejora y reorganización de las infraestructuras existentes.
- Aplicación de nuevas tecnologías.

En este programa tiene también relevancia los convenios anteriormente citados en cuyo marco se analizan periódicamente las calidades de las aguas tratadas por las depuradoras (COLMENAREJO & *AL.*, 2008; 2009).

PROGRAMA DE OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS

El programa de optimización de recursos, pretende abordar las estrategias necesarias para conseguir una correcta utilización del agua, mediante la optimización de los consumos y la promoción de un uso sostenible del agua basado en la protección a largo plazo de los recursos hídricos disponibles, tal y como se estipula en la Directiva 2000/60/CE, desarrollando dichos objetivos a través de las líneas denominadas *Plan de reutilización* y *Estrategias de ahorro*:

Plan de Reutilización.

Una vez el agua es devuelta al medio, el ciclo integral queda cerrado, pero para una gestión adecuada de este ciclo del agua es necesario contemplar la reutilización de las aguas, tras el tratamiento correspondiente, en torno a diferentes usos según el Real Decreto 1620/2007 que establece el régimen jurídico de utilización de las aguas depuradas, como se apuntaba en páginas anteriores.

El plan de reutilización busca la reutilización de las aguas residuales generadas en el municipio, previa regeneración de las mismas mediante los tratamientos pertinentes. Los objetivos son los siguientes:

- Mantener la calidad y regularidad del servicio de abastecimiento de agua para usos urbanos.
- Satisfacer las nuevas demandas de suministro previsibles para este tipo de usos secundarios, en los que en algunos casos no se permite el uso de agua de la red.
- Mantener los costes globales de abastecimiento para el usuario.
- Liberar los recursos para permitir nuevos crecimientos y garantizar el abastecimiento de las futuras zonas verdes.
- Aprovechar los nutrientes contenidos en el agua regenerada.

El Plan recoge los siguientes aspectos:

- Características de las aguas aportadas.
- Requerimientos de los caudales a utilizar.
- Usos, zonas y superficies a dotar.
- Previsión de dotaciones.
- Infraestructuras necesarias.
- Estudio económico.
- Estudio ambiental.
- Normativa y recomendaciones.

DIFERENTES USOS DEL AGUA RECICLADA EN LAS ROZAS	
Riegos	Jardinería de espacios públicos. Repoblaciones forestales.
Limpieza viaria	Baldeo de calles. Lavado de contenedores de basuras.
Usos recreativos	Fuentes ornamentales. Lagos artificiales, canales y estanques recreativos y deportivos. Campos de golf.
Prevención de incendios	Puntos y reservas de agua en áreas naturales.
Usos ambientales	Caudales ecológicos en cauces de zonas naturales. Creación de humedales.

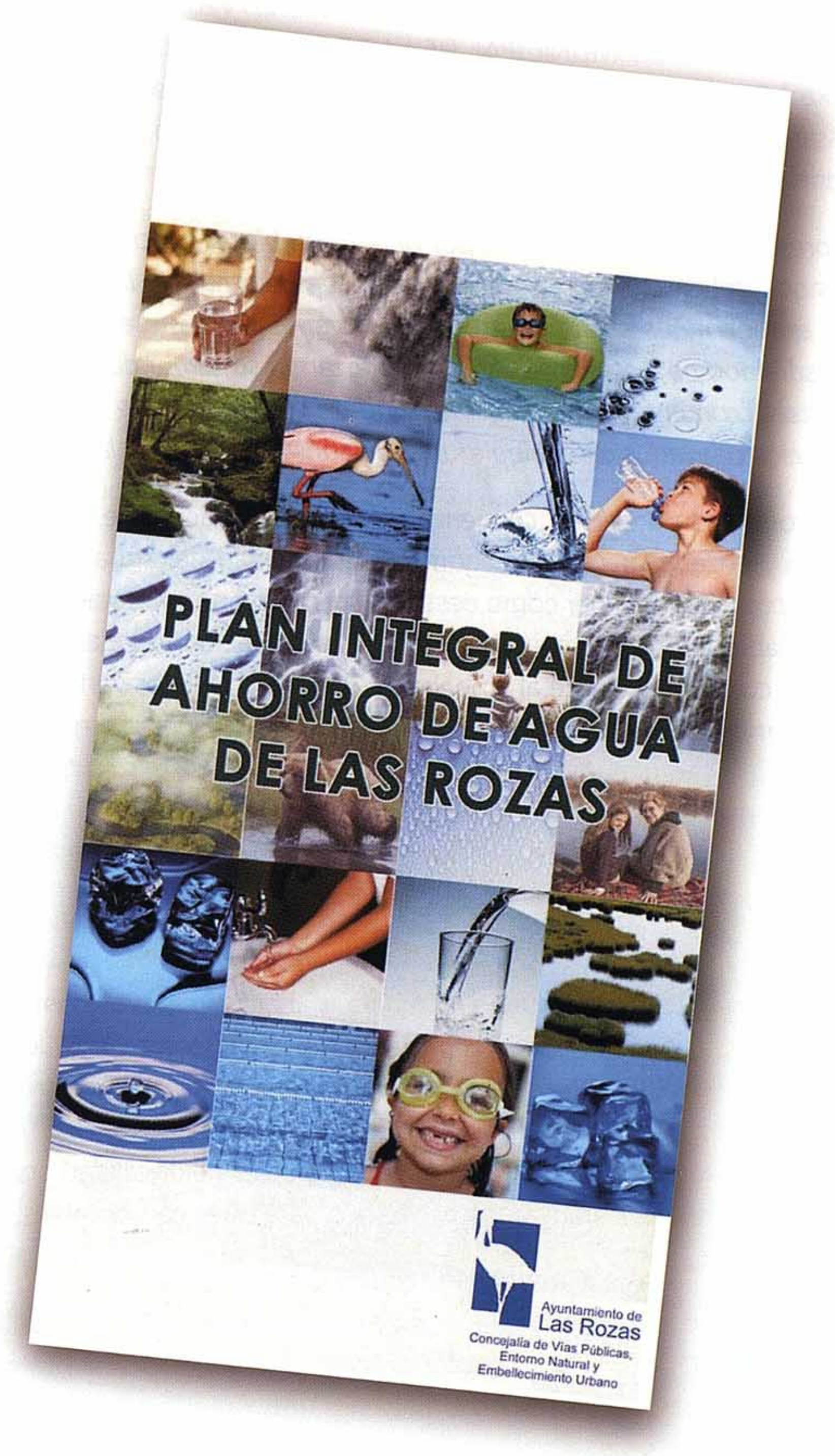
Diferentes usos de las aguas recicladas contemplados en el municipio de Las Rozas.

A la vista de las cifras de consumo de agua que supone el riego de las zonas verdes del municipio, la reutilización de aguas residuales recicladas para este fin se plantea como fundamental, evitándose el gasto innecesario de agua potable, mejorando a su vez la fiabilidad y regularidad del caudal disponible.

Estrategias de ahorro. Se realizan acciones encaminadas a la reducción de los consumos de agua, tanto de carácter privado como públicos:

- Campañas de información y sensibilización.
- Modernización de las redes de abastecimiento para disminuir las pérdidas.
- Revisión de los sistemas públicos de gasto de agua (redes de riego, baldeo, etc.) y sustitución progresiva por fórmulas de bajo consumo.
- Fomento de las tipologías de jardinería xerofítica y mediterránea.

En el año 2006 el Ayuntamiento de las Rozas encargó un informe básico que sirviera de guía para diseñar un Plan Integral para el Ahorro del Agua (PIAA) en su término municipal (Moreno Pérez, 2006). Una parte de este informe ha sido utilizada en el presente libro.



PORTADA DEL FOLLETO PUBLICADO POR EL AYUNTAMIENTO DE LAS ROZAS PARA FOMENTAR EL AHORRO DE AGUA.

CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA. EL LABORATORIO MUNICIPAL DE LAS ROZAS

El Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, dispone en su artículo primero:

> *El presente Real Decreto tiene por objeto establecer los criterios sanitarios que deben cumplir las aguas de consumo humano y las instalaciones que permiten su suministro desde la captación hasta el grifo del consumidor y el control de éstas, garantizando su salubridad, calidad y limpieza, con el fin de proteger la salud de las personas de los efectos adversos derivados de cualquier tipo de contaminación de las aguas.*

Los controles de calidad comienzan desde la captación de agua bruta en embalses y pozos. Para asegurar y mejorar la calidad del agua que recoge el embalse y que pueda tener como destino el consumo por parte de la población, deben establecerse varias medidas, como la restauración forestal de la vegetación de la cuenca que vierte al embalse, la depuración de los vertidos que puedan contaminar sus aguas, así como un plan de uso y gestión que determine los usos a los que pueda dedicarse el embalse (baño, deportes náuticos, sólo abastecimiento, etc.). Está claro que en un embalse para consumo no es lógico que se permita el uso de embarcaciones a motor que lo contaminan con aceites y restos de combustibles que contienen elementos tóxicos para el organismo, por ejemplo el plomo.

La *Reglamentación técnico-sanitaria para el abastecimiento y control de calidad de las aguas potables de consumo público*, que incorpora a nuestra legislación la directiva 80/778/CEE de la Unión Europea señala, entre otros puntos, que el agua potable de consumo público se obtendrá, en lo posible, del origen más adecuado, y que se procurará captar aguas de la mejor calidad posible para reducir al mínimo los tratamientos necesarios para que sean potables.

La vigilancia de la calidad del agua continúa a través de toda la red de abastecimiento, tanto a la salida de las estaciones de tratamiento como al resto de la red de distribución. Sobre ésta también establece el *Documento de reglamentación técnico-sanitaria* recomendaciones, procurando que en lo posible la red de distribución sea mallable, debiendo limitarse las ramificaciones, conducciones de bajo consumo, fondos de saco, cambios de dirección fuertes, válvulas y otros puntos singulares que en la práctica son puntos conflictivos de posible deterioro de la calidad del agua por la acción de la red, a los imprescindibles para la conducción del agua al consumidor.

Igualmente, depósitos y conducciones deben tener una estanqueidad que asegure que las condiciones de las aguas en los puntos de consumo sean similares a las existentes en el origen de las mismas y, en todo caso, conserven los caracteres de potabilidad iniciales. A lo largo de toda esta red de distribución las aguas potables de consumo público deberán contener en todo momento cloro residual libre o combinado, u otros agentes desinfectantes.

Cuando abrimos un grifo y bebemos agua, o cuando la utilizamos para cocinar, cuando en verano nos acercamos a una fuente y calmamos nuestra sed, o simplemente cuando nos bañamos en una piscina municipal, no nos hacemos idea del trabajo y el esfuerzo que supone disponer con tanta facilidad de un recurso tan escaso en otras partes del mundo, y conseguir que tenga la calidad necesaria para poder consumirla sin reparos.

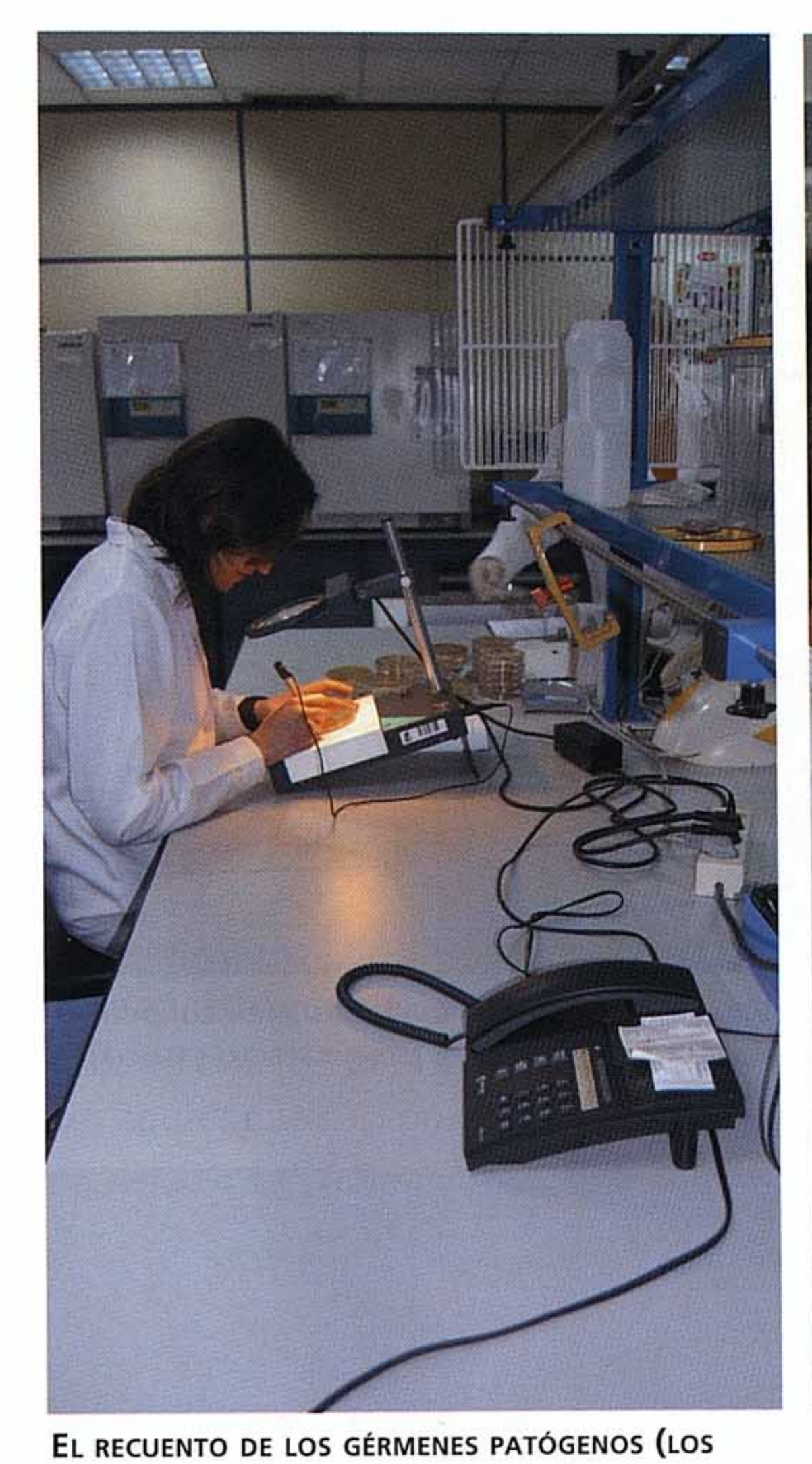
No todas las aguas son iguales, aunque podríamos decir que el agua es solo una. Por dicho motivo, la calidad es diferente según el tipo de agua del que se trate. Todos sabemos que el agua del grifo la podemos beber tranquilamente,

En el Laboratorio Municipal de Las Rozas se realiza el control de calidad de las aguas de las piscinas para que podamos bañarnos sin problemas para la salud.

El Laboratorio Municipal de Las Rozas está muy bien equipado desde el punto de vista técnico, cuenta con personal cualificado, y tiene el certificado Estándar ISO 9001:2000, que le acredita para realizar análisis físico-químicos y microbiológicos tanto de aguas como de alimentos.

pero no bebemos por ejemplo el agua de la piscina. ¿Por qué? Porque está tratada químicamente para evitar que las bacterias y otros gérmenes patógenos puedan desarrollarse e infectarnos cuando nos bañamos. ¿Y cómo sabemos que podemos bañarnos tranquilamente en cualquiera de las piscinas municipales de Las Rozas? Porque los análisis que se realizan en el Laboratorio Municipal de Las Rozas así lo señalan, de acuerdo con unas normas que se refieren en este caso al agua de las piscinas.

Pero hay otras aguas, como ya hemos señalado; por ejemplo, el agua que sale de las depuradoras. Este es un aspecto esencial en nuestro modo de vida que sin duda tenemos que conocer y valorar. Suena el despertador, nos levantamos más o menos rápidamente y hacemos una visita al cuarto de baño. El agua que sale al tirar de la cadena como antes se decía, ahora podríamos decir al pul-



El recuento de los gérmenes patógenos (los que pueden producir enfermedades) es esencial para conocer la calidad del agua que bebemos o la eficacia de las depuradoras de las piscinas. Cuando algo va mal, una llamada telefónica agiliza la información y la toma de decisiones.

El Laboratorio de Las Rozas está integrado en la Red Palinológica de la Comunidad de Madrid, realizándose periódicamente recuentos para determinar la concentración de polen en el aire.

sar el mando del inodoro, el agua del lavabo, el agua de la ducha, camina por tuberías hasta llegar a las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (E.D.A.R.). Lo mismo ocurre con el agua que se utiliza para lavar, o el agua que se emplea en las industrias y granjas. Todas estas aguas sucias, contaminadas por diversos tipos de residuos orgánicos, químicos o industriales terminan en las E.D.A.R. Menos mal que existen las E.D.A.R. De no ser así nuestros ríos y arroyos estarían convertidos en cloacas, aunque algunos prácticamente lo son.

Las muestras que llegan al Laboratorio son debidamente etiquetadas para conocer en todo momento su procedencia. Aunque no lo parezca, éste es un aspecto esencial que hay que cuidar siempre en un laboratorio de análisis.

La toma de muestras no puede hacerse de cualquier forma. Los botes de muestreo son de plástico y están esterilizados para evitar contaminaciones.

Las depuradoras tienen que ser eficaces, y esta eficacia se mide analizando la mala calidad del agua que entra en ella y la mejor calidad del agua que sale. El agua que sale de las depuradoras no puede sobrepasar unos límites precisos de contaminantes y debe ajustarse a la normativa vigente. Pero para tener idea del trabajo que realizan las depuradoras hay que visitarlas, solamente de este modo tomaremos conciencia de la cantidad de porquería que les llega y la labor que realizan eliminándola.

El Laboratorio Municipal de Las Rozas está muy bien equipado desde el punto de vista técnico, cuenta con personal cualificado, y tiene el certificado Estándar ISO 9001:2000, que le acredita para realizar análisis físico-químicos y microbiológicos de aguas y alimentos. Además, se ha integrado recientemente en la red palinológica de la Comunidad de Madrid, detectando las variaciones de las concentraciones de polen que tantas alergias nos producen especialmente cuando florecen las arizónicas, los cipreses y, posteriormente, las gramíneas.

Pero volvamos al tema del agua. En el Laboratorio Municipal se analiza la calidad del agua del grifo, que debe ajustarse a la normativa vigente publicada en el B.O.E. del 16 de mayo de 1998, pero también se analizan las siguientes aguas: piscinas, pozos, aguas subterráneas, ríos y arroyos, fuentes de uso público, fuentes y parques ornamentales, canal de Guadarrama, embalses, charcas y depuradoras.

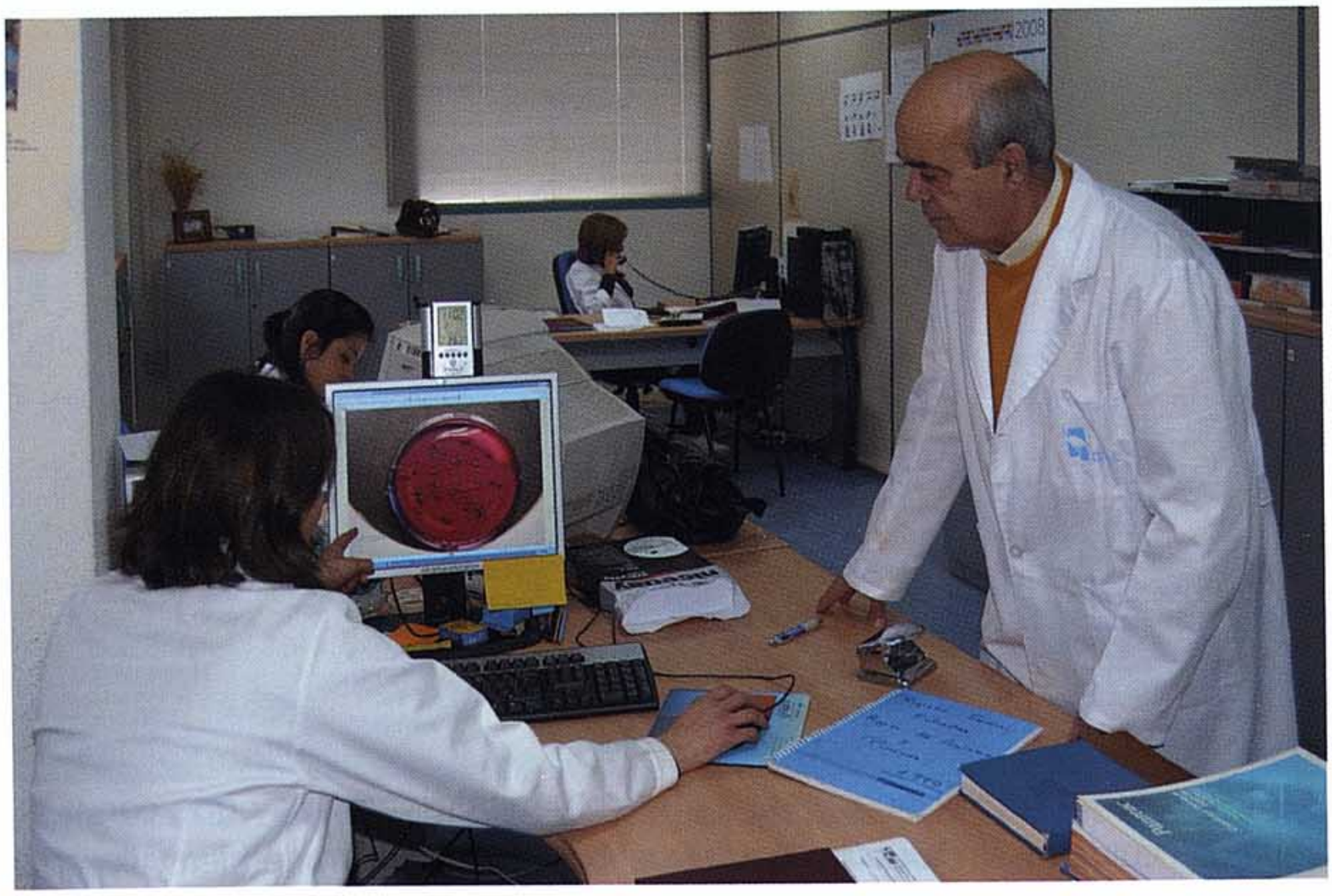
Las aguas que llegan al Laboratorio proceden tanto de Las Rozas como de otros municipios y términos incluidos en el área 6, distritos 1 y 2, entre los que se encuentran Villalba, Moralzarzal, Las Matas, Quijorna, Boadilla, etc.

Las diversas muestras que llegan de estos términos, así como las recogidas en el municipio de Las Rozas por los técnicos de medio ambiente en cualquiera de los medios antes mencionados, o cuando éstos acuden a la llamada de algún particular al observar algún tipo de vertido o contaminación, o incluso las que de forma privada toman los particulares, siguen un proceso de etiquetado para identificar en todo momento su procedencia.

Pero la toma de muestras no puede hacerse de cualquier forma. Es decir, si nosotros queremos saber la calidad del agua que tiene por ejemplo nuestro pozo, hay que justarse a unas normas que son imprescindibles para asegurar la fiabilidad de los análisis. No podemos coger cualquier bote, llenarlo de agua y llevarlo al laboratorio para que lo analicen. Los botes de muestreo son de plástico y están esterilizados para evitar contaminaciones. Hay que coger el agua con cuidado, sin tocar los bordes del bote y luego cerrarlo bien y llevarlo

La pulcritud y la limpieza del Laboratorio y de los materiales y recipientes que se utilizan para los análisis es una parte esencial que debe cuidarse al máximo. La esterilización del material en autoclaves y el lavado de recipientes con los detergentes adecuados es otra norma de obligado cumplimiento para lograr la buena catalogación de las instalaciones.

A la vista de los resultados obtenidos, se puede conocer la calidad que tiene una determinada muestra de agua y si cumple con la legislación vigente, referida al tipo de agua en cuestión.



Especialistas del Grupo de Investigación del Agua, perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) preparando los muestreos realizados en el año 2007, para conocer la calidad del agua embalsada en el Molino de la Hoz, en el marco de los Convenios de Colaboración suscritos entre el Ayuntamiento de Las Rozas y el CSIC.

rápidamente al laboratorio. Tras los análisis, el Laboratorio nos dirá, por ejemplo, si el agua de nuestro pozo es potable o no.

Como complemento de estas actividades, el Ayuntamiento de las Rozas tiene firmados Convenios de colaboración con el Centro de Ciencias Medioambientales y el Real Jardín Botánico de Madrid, ambos pertenecientes a la Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas, que le permite disponer del respaldo científico necesario en los temas relacionadas con el análisis de las aguas y sus aspectos ambientales.

El agua es un recurso indispensable para la vida que tenemos que cuidar. Todos debemos implicarnos en usarla de forma adecuada y racional tratando de ensuciarla lo menos posible. Disponer de agua limpia supone un gran esfuerzo y necesita costosas inversiones que no todos conocen. La implicación ciudadana es imprescindible tanto para disminuir estos gastos en infraestructuras como para optimizar su uso en un mundo globalizado en el que la población aumenta año tras año. Un pequeño esfuerzo individual supone, en muchos casos, alcanzar objetivos ambiciosos que se plasman en mantener nuestra calidad de vida respetando y conservando el medio ambiente. No tenemos que olvidar que en nuestro cuerpo el 70 % es agua, y si el agua se contamina finalmente nosotros también, porque todos formamos parte del ciclo de la vida.

Inicio del Canal del Guadarrama en la dehesa de Navalcarbón.

CONSEJOS PARA AHORRAR AGUA

EN EL BAÑO

Foto: Gamadecor

- Dúchate en vez de bañarte, ahorrarás 150 litros.
- Cierra el grifo al lavarte los dientes o afeitarte, puedes ahorrar hasta 10 litros.
- Arregla con urgencia las averías de grifos y cañerías. Un grifo que gotea pierde 30 litros diarios.
- Coloca dos botellas llenas dentro de la cisterna y ahorrarás de 2 a 4 litros cada vez que la uses. No emplees el inodoro como papelera.
- Coloca difusores y demás mecanismos de ahorro en los grifos, aprovecharás mejor el agua reduciendo su consumo casi en un 50%.
- Cierra levemente la llave de paso de vivienda, no apreciarás la diferencia y ahorrarás una gran cantidad de agua diariamente.
- Instala una cisterna de doble pulsador. Reducirás a la mitad el consumo de agua.

EN LA COCINA

- Al fregar los platos, no permitas que el agua corra mientras los enjuagas. Llena un lado del fregadero con agua para lavar y el otro con agua para aclarar.
- Pon en marcha la lavadora y el lavavajillas únicamente cuando estén llenos.
- En verano, guarda el agua en la nevera o el congelador para mantenerla fría. Esto es mucho mejor que dejar que el chorro de agua corra hasta que se enfríe.
- No laves los alimentos con el grifo abierto, es mejor que utilices un recipiente lleno de agua para hacerlo. Esta agua podrá ser empleada más tarde en el riego de tus plantas.

EN EL JARDÍN

- Escoge plantas autóctonas que están adaptadas al clima de tu zona. De este modo sólo necesitarás una pequeña aportación de agua en los meses cálidos.
- Intenta reducir al máximo la superficie de césped en tu jardín por las grandes cantidades de agua que necesita su mantenimiento. Para ello puedes sustituirlo con plantas tapizantes o cobertoras.
- Agrupa las plantas según su consumo de agua para facilitar la economía del sistema de riego.
- Riega tus plantas y el jardín al anochecer o amanecer. Utiliza sistemas de riego automáticos, por goteo.

- Recoge agua de lluvia para regar tus plantas.
- Cubre la piscina y así evitarás la evaporación, causa principal de la pérdida de agua en las piscinas. La evaporación se puede reducir casi un 80% utilizando una cubierta de piscina.

REFRANES Y DICHOS POPULARES EN TORNO AL AGUA

Asociados a la cultura popular desde el principio de los tiempos, los refranes, con ese tono entre musical y de rima poética, han proporcionado ese consejo útil o esa observación acertada de lo que pasaba a nuestro alrededor. Miguel de Cervantes en su *Don Quijote de La Mancha*, los definía del siguiente modo: *...los refranes son sentencias breves, sacadas de la experiencia y especulación de nuestros antiguos sabios*. El propio hidalgo, Don Alonso Quijano, le habla así a su escudero: *...cualquiera de los que has dicho, basta para dar a entender tu pensamiento*.

Y desde luego algo de sabio tendrá el refranero, pues con el refrán adecuado, usado en el justo momento de la conversación, no hay contertulio que nos pueda quitar la razón.

En torno al agua han surgido por todas partes multitud de dichos y saberes, ligado como está el líquido elemento a la existencia del hombre. Muchos de ellos nacen con el afán de describir las situaciones climáticas que tanto afectan, sobre todo, a agricultores y ganaderos. Así, del refranero español se puede construir un verdadero calendario del clima mes a mes:

— *En enero, agua para el carnero*
— *En enero, se hiela el agua en el puchero*
— *En febrero, agua para el minero*
— *En marzo, agua para el garbanzo*
— *En abril, aguas mil*
— *El día de San Marcos, agua en los charcos*
— *En mayo, agua para el gallo y para el caballo*
— *Agua de por mayo, pan para todo el año*
— *Agua por San Juan, quita vino y no da pan*
— *En septiembre, o secan las fuentes o corren los puentes*
— *En octubre, agua para la lumbre*
— *En noviembre, agua para siempre*
— *En diciembre, agua para el que siembre*

Igualmente se nos avisa de los efectos de las tormentas de verano:

— *El agua agostera destroza la era, pero apaña la rastrojera*

También comparan los refranes las cualidades del agua con algunos de nuestros comportamientos y situaciones más cotidianas, esta vez desde otras partes del mundo:

— *No nos damos cuenta del valor del agua hasta que se secó el pozo* (Francia)
— *La gota de agua cava la piedra* (México)
— *Nadie se baña dos veces con el agua del mismo río* (República Dominicana y Francia)
— *En la bajada de la corriente, podemos hacernos amigos, pero en la subida, es imposible* (África)
— *No insultes a un cocodrilo mientras tus pies están en el agua* (Sudáfrica)
— *Ni bebas agua que no veas, ni firmes carta que no leas* (México)
— *Bebiendo el agua del pozo, no olvide a los que lo cavaron* (China)
— *No escupas en el pozo, puedes tener que beber de él* (Rusia)
— *De pie en el agua, abriendo el pico, el ave pide la lluvia* (Abisinia)
— *Siéntate en la orilla del río; verás pasar el cuerpo de tu enemigo* (Proverbio Bantú)

Nuestro país no le va a la zaga en cuanto a utilizar el agua como elemento de referencia a la hora de los consejos:

— *Nunca digas de esta agua no beberé*
— *Agua que no has de beber, déjala correr*
— *A río revuelto, ganancia de pescadores*
— *Agua pasada no mueve molino*
— *Cuando el río suena, agua o piedras lleva*
— *Quien echa agua en la garrafa de golpe, más derrama que recoge*
— *Cada cual quiere llevar el agua a su molino*

De los beneficios, cualidades y calidades de nuestra protagonista recogemos algunos dichos:

— *Sigue al caimán y beberás agua limpia* (Proverbio Baulé, Costa de Marfil)
— *Agua corriente, no mata a la gente* (España)
— *Algo tendrá el agua cuando la bendicen* (España)
— *Si el paño está sucio, lo lavamos en el río. Si el río está sucio ¿dónde lo lavamos?* (Camerún)

Sin llegar a ser tan categóricos e indiscutibles como los refranes, varias son las frases célebres y proverbios que llaman nuestra atención:

— *El agua asume todas las formas sin por ello perder su pureza* (Anónimo)
— *Nada hay tan blando como el agua. Pero nada hay que la supere contra lo duro* (Lao-Tsé)
— *El agua es la sangre de la naturaleza* (Leonardo da Vinci)
— *Toma consejo en el vino, pero decide después con el agua* (Benjamín Franklin)
— *El agua pura y viva es la base de la vida y de la salud, de la belleza y lozanía de la piel* (Revista *Integral*)
— *De las nubes más negras cae un agua limpia y fecundante* (Proverbio chino)
— *La palabra agua no moja* (Alan Watt)
— *¿Quién no ha sentido veneración ante las aguas cristalinas de un lago o un manantial?* (Anónimo)
— *Mi mente no es más que un fulgor del Sol sobre la superficie de las aguas* (D. H. Lawrence)
— *El agua habla sin cesar y nunca se repite* (Octavio Paz)
— *Escucha el agua; ella es tu vida, líquido lamento fluyendo* (Luis Cernuda)
— *Agua, agua, mucha agua, pero de calidad* (proverbio manchego postmoderno)
— *Agua, mucha agua por todas partes, pero ni una gota para beber* (Samuel Coleridge)
— *Baja así, agua del cielo, baja a vivir tu vida en la tierra* (Claudio Rodríguez)
— *Agua que siente pesar, en sí verdad y destino, y antes de caer al mar hace el bien por el camino* (Antonio Gamoneda)
— *O agua de morse lento, circulando ignorada por debajo de las piedras* (Eladio Cabañero)
— *¿Qué vago aliento agita las cortinas del agua?* (José María Valverde)

— *Agua en reposo viviente que vuelve a ser pura y joven con una esperanza* (Leopoldo Panero)

— *Agua de roca en valle, hay una voz que canta* (Dámaso Alonso)

— *Y un agua casi doncella te va a llegar hasta los labios* (Vicente Aleixandre)

— *Nadie se detiene a oír tu eterna estrofa de agua* (Gerardo Diego)

Bajo las aguas cielos íntimos se deslizan (Jorge Guillén)

— *Agua en la noche, serpiente indecisa* (Pedro Salinas)

— *Todo fluye* (Heráclito)

— *Y no se acaba, el agua amante* (Gabriela Mistral)

— *Agua honda y dormida, que no quieres ninguna gloria* (Juan Ramón Jiménez)

— *Suenan del agua las venas, instrumento natural* (Félix Lope de Vega)

— *Aquí se está llamando a las criaturas y de esta agua se hartan* (San Juan de la Cruz)

— *Las soberanas aguas del aire, ¿en la región quién las sostiene?* (Fray Luis de León)

BIBLIOGRAFÍA

ALFONSO, C. 2004. Transposición de la Directiva Marco del Agua. *Ambienta*, Enero: 6-13.

ÁLVAREZ COBELAS, M., RIOLOBOS LÓPEZ, P., RUBIO OLMO, A., ENCINAS YEPIS, D., VICENTE SÁNCHEZ, J., CIRUJANO, S., MORENO PÉREZ, M., SORIANO HERNANDO, O. & DE ANDRÉS COBETA, J. 2004. ***Estudio hidrogeológico y limnológico preliminar del término municipal de Las Rozas de Madrid.*** Ayuntamiento de Las Rozas de Madrid- CSIC.

ÁLVAREZ COBELAS, M., CIRUJANO, S., MOLINA BENITO, J., RIOLOBOS LÓPEZ, P., RUBIO OLMO, A., SORIANO HERNANDO, O., VELASCO DÍAZ, J. L. & VICENTE SÁNCHEZ, J. 2005. ***Las Lagunas de Las Rozas de Madrid.*** Ayuntamiento de Las Rozas de Madrid- Centro de Ciencias Medioambientales, CSIC.

ÁLVAREZ COBELAS, M., RUBIO OLMO, A., CIRUJANO, S. & VICENTE SÁNCHEZ, J. 2009. ***Estado físico-químico de las aguas naturales superficiales y subterráneas del municipio de Las Rozas de Madrid.*** Ayuntamiento de Las Rozas de Madrid- Centro de Ciencias Medioambientales, CSIC.

ÁLVAREZ MARTÍNEZ, A., MARÍN BARRAGÁN, E. & MEDIERO ORDUÑA, L. 2005. Reforma de la presa del Gasco. Ciencia y Técnica de la Ingeniería Civil. ***Revista de Obras Públicas*** 3455: 31-36.

ANTORAZ ONRUBIA, Mª A. & MARTÍNEZ GIL, F.J. 2003. El agua y el sistema educativo español. En MORAL ITUARTE, L. & ARROJO, P (COORDS.). ***La directiva marco del agua: realidades y futuros.*** III Congreso Ibérico sobre gestión y planificación del agua: 385-424. Ed. Fundación Nueva Cultura del Agua, Institución Fernando El Católico de la Diputación de Zaragoza, Universidad de Zaragoza, Junta de Andalucía.

AZCÁRATE LUXÁN, M. V. ***& AL.*** 2000. ***Metodología de Diferenciación Social del Territorio utilizando un SIG. Tecnologías Geográficas para el Desarrollo Sostenible.*** Departamento de Geografía. Universidad de Alcalá: 574-588.

BARCELÓ, D. (COORD.). 2008. ***Aguas continentales. Gestión de recursos hídricos, tratamiento y calidad del agua.*** Informes CSIC. Ministerio de Ciencia e Innovación-CSIC.

BLÁZQUEZ MARTÍNEZ, J. M. 1977. ***La Administración del agua en la Hispania Romana. Segovia.*** Symposium de arqueología romana, Barcelona: 147-161. Versión digital en ***Antigua: Historia y Arqueología de las civilizaciones***. Taller Digital, Universidad de Alicante.

BLÁZQUEZ MARTÍNEZ, J. M. 1989. ***Presas y regadíos en la Hispania romana: documentación jurídica y arqueológica.*** Epigrafía jurídica romana. Actas del Coloquio Internacional de la Asociación Internacional de Epigrafía Griega y Latina sobre Novedades de epigrafía jurídica romana en el último decenio. Pamplona: 391- 404. Versión digital en ***Antigua: Historia y Arqueología de las civilizaciones***. Taller Digital, Universidad de Alicante.

B.O.E. 2003. Real decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. ***B.O.E***. nº 45: 7228-7245.

B.O.E. 2007. Real decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. ***B.O.E.*** nº 294: 50639-50661.

CIRUJANO, S., LÓPEZ JIMENEZ, N., GUTIERREZ, SANCHEZ, J. 2003. ***El paisaje vegetal de Las Rozas de Madrid.*** Ayuntamiento de Las Rozas de Madrid - Real Jardín Botánico, CSIC.

CIRUJANO, S., MORENO PÉREZ, M., ÁLVAREZ COBELAS, M., RUBIO OLMO, A. & VICENTE SÁNCHEZ, J. 2005. ***Estudio botánico de los ambientes acuáticos y de los espacios naturales de interés del término municipal de Las Rozas de Madrid.*** Ayuntamiento de Las Rozas de Madrid - Real Jardín Botánico, CSIC.

CIRUJANO, S., VICENTE SÁNCHEZ, J., SÁNCHEZ ANDRÉS, R., ÁLVAREZ COBELAS, M., ORTIZ LLORENTE, M. J., RUBIO OLMO, A. & SORIANO HERNANDO, O. 2007. ***Impactos ambientales y restauración del embalse del Molino de la Hoz (Las Rozas de Madrid)***. Ayuntamiento de Las Rozas de Madrid - CSIC.

COLMENAR, E. 2002. Abastecimiento de agua a la población. Desde el río hasta el grifo. ***Ambienta***, mayo: 63-70.

COLMENAREJO MORCILLO, M. F., VICENTE SÁNCHEZ, J., RUBIO OLMO, A, SÁNCHEZ HERNÁNDEZ, E. & GARCÍA GONZÁLEZ, M. 2007. ***Evaluación de la calidad de las aguas y del tratamiento de las aguas residuales en el municipio de Las Rozas de Madrid.*** Ayuntamiento de Las Rozas de Madrid - Centro de Ciencias Medioambientales, CSIC.

COLMENAREJO MORCILLO, M. F., VICENTE SÁNCHEZ, J., RUBIO OLMO, A, SÁNCHEZ HERNÁNDEZ, E. & GARCÍA GONZÁLEZ, M. 2008. ***Evaluación de las Estaciones Depuradoras de Aguas residuales en el municipio de Las Rozas de Madrid.*** Ayuntamiento de Las Rozas de Madrid - Centro de Ciencias Medioambientales, CSIC.

COMUNIDAD DE MADRID. 1995. ***Plan de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales de la Comunidad de Madrid (1995-2005).*** Comunidad de Madrid.

COMUNIDAD DE MADRID. 2000. ***Fiscalización del ciclo urbano del agua en la Comunidad de Madrid. Anexo I***. Cámara de Cuentas, Comunidad de Madrid.

CUADRADO, E. & DE LEMUS, C. 1973. La presa de Valmayor en el río Aulencia. ***Revista de Obras Públicas*** 3096: 249-262.

DEL MORAL ITUARTE, L. (COORD.) 2001. ***Planificación Hidrológica y Eficiencia.*** Fundación Ecología y Desarrollo. Zaragoza.

DOMÍNGUEZ BAUTISTA, R. 2000. Las aguas subterráneas y el abastecimiento de Madrid. En FERNÁNDEZ RUBIO, R., FERNÁNDEZ SÁNCHEZ, J. A., LÓPEZ CAMACHO, B. & LÓPEZ GETA J. A. (EDS.). ***Aguas subterráneas y abastecimiento urbano***: 11-20. ITGE.

FAYAS JANER, J. A. 2000. La gestión de las aguas subterráneas. En La Gestión del Agua. ***Revista OP del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos*** 51 (2): 4-11.

FEIJOO MARTÍNEZ, S. 2005. Las presas y los acueductos de agua potable: una asociación incompatible en la antigüedad. El abastecimiento en Augusta Emerita. En NOGALES BARRASATE, T. (ED.). ***Augusta Emerita. Territorios, Espacios, Imágenes y Gentes en Lusitania Romana***. Ed. Científica, Mérida.

FERNÁNDEZ RUBIO, R., FERNÁNDEZ SÁNCHEZ, J. A., LÓPEZ CAMACHO, B. & LÓPEZ GETA J. A. (EDS.) 2000. ***Aguas subterráneas y abastecimiento urbano***. ITGE.

FLORES MONTOYA, F. 2000. Ventajas del aprovechamiento conjunto de aguas superficiales y subterráneas: el ejemplo de Madrid. En FERNÁNDEZ RUBIO, R., FERNÁNDEZ SÁNCHEZ, J. A., LÓPEZ CAMACHO, B. & LÓPEZ GETA J. A. (EDS.) *Aguas subterráneas y abastecimiento urbano*: 303-316. ITGE.

GARCÍA DE LA FUENTE, M. 2009. La calidad del agua tiene un precio. Diario *Público*, 9 de marzo.

GISTAU GISTAU, R. 2000. Las necesidades humanas. Gestión del abastecimiento urbano. La Gestión del Agua. *Revista OP del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos* 51 (2): 14-21.

GLEICK, P.H. 1996. Basic water requirements for human activities: Meeting basic needs. *Water International* 21 (2): 83-92.

GUZMAN FOLGUERAS, M. 2006. *Plan Director de Infraestructuras Hidráulicas. Documento de Aprobación Inicial*. Ayuntamiento de Las Rozas de Madrid - Infraestructuras, Cooperación y Medio Ambiente S.A.

LÓPEZ-CAMACHO Y CAMACHO, B. & IGLESIAS MARTÍN, J. A. 2000. Las aguas subterráneas en los abastecimientos. Un decenio de experiencias del Canal de Isabel II. *Revista de Obras Públicas* 3403: 41-56.

LÓPEZ GETA, J. A. 2000. Estrategias de utilización de las aguas subterráneas en el abastecimiento de poblaciones. En FERNÁNDEZ RUBIO, R., FERNÁNDEZ SÁNCHEZ, J. A., LÓPEZ CAMACHO, B. & LÓPEZ GETA J. A. (EDS.). *Aguas subterráneas y abastecimiento urbano*: 21-29. ITGE.

MADOZ P. 1845-1850. *Diccionario geográfico-estadístico-histórico de España y sus posesiones de Ultramar*, Vol. 13: 580-581.

MARTÍNEZ GIL, F. J. 1997. *La Nueva Cultura del Agua en España*. Colección Nueva Cultura del Agua nº 1. Bilbao.

MARTÍNEZ VÁZQUEZ DE PARGA, R. & SÁNCHEZ LÁZARO, T. 1994. Puentes del Retamar y del Herreño, sobre el río Guadarrama. *Revista de Obras Públicas* 3336: 79-87.

MARTÍNEZ VÁZQUEZ DE PARGA, R. 2001. Historia del Canal. Aniversario del Canal de Isabel II. *Revista de Obras Públicas* 3414: 17-28.

MCGHEE, T. J. 1999. *Abastecimiento de agua y alcantarillado.* Ed. McGraw-Hill.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE 2007. ***El Plan Nacional de Calidad de las Aguas. Saneamiento y Depuración 2007-2015.*** Programa A.G.U.A. – Ministerio de Medio Ambiente.

MINER & MOPTMA. 1995. ***Libro Blanco de las Aguas Subterráneas.*** Madrid, Centro de Publicaciones del MOPTMA.

MORENO PÉREZ, M. 2006. ***Plan Integral de Ahorro de Agua de Las Rozas de Madrid.*** Ayuntamiento de Las Rozas de Madrid – EINTAM Estudios Europeos de Medio Ambiente, S. L.

MUÑOZ BRAVO, E. 1983. ***Así era mi pueblo. Las Rozas.*** Ayuntamiento de Las Rozas de Madrid.

MUÑOZ BRAVO, E. 2000. ***Historia de Las Rozas.*** Ayuntamiento de Las Rozas de Madrid.

NAVARRO VERA, J. R. 1995. Técnicas de saneamiento urbano en España. Siglo XIX. El tiempo de los ingenieros higienistas. ***Revista del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos***, 31.

OCU. 2006. Atención, agua no potable. Calidad y precio del agua en las capitales de provincia. ***OCU-Compra Maestra***, 302.

OMS. 2004. ***Guía para la calidad del agua potable.*** Volumen 1. Recomendaciones. OMS, Ginebra.

RODRIGUEZ PEREA, A. & ***AL***. 2006. ***Agua y ciudad. Retos en la gestión, la educación y participación ciudadana. Documento base.*** Cumbre del Desarrollo Sostenible (CONAMA 8). Noviembre 2006. Zaragoza.

SÁNCHEZ DOMINGO, J. R. 1993. ***Apuntes para la historia de Las Rozas.*** Concejalía de Cultura, Ayuntamiento de Las Rozas. Ediciones La Librería.

SÁNCHEZ LÁZARO, T. 1995. ***Carlos Lemaur y el Canal del Guadarrama.*** Colección de Ciencias, Humanidades e Ingeniería nº 48. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

SEOÁNEZ CALVO, M. 2004. ***Depuración de las aguas residuales por tecnologías ecológicas y de bajo costo.*** Ediciones Mundi-Prensa.

TALLER DE EMPLEO Y DESARROLLO SOSTENIBLE. 2007. ***El Clima de Las Rozas de Madrid***. Concejalía de Economía y Empleo. Ayuntamiento de Las Rozas de Madrid.

TCHOBANOGLOUS, G. (ED.), 1995. ***Metcalf-Eddy: Ingeniería de aguas residuales, redes de alcantarillado y bombeo***. Editorial McGraw-Hill España. Aravaca, Madrid.

TRILLO MONTSORÍU, J. D. 1995. El saneamiento. Historia reciente, estado actual y perspectivas de futuro. ***Revista del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos*** 31.

PÁGINAS WEB CONSULTADAS

www.madrid.org/iestadis/ (Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid)

www.plandeahorrodeagua.com (Plan de Ahorro de Agua de Cantabria)

www.cyii.es/ (Canal de Isabel II)

www.ine.es/ (Instituto Nacional de Estadística)

www.ayto-lasrozas.com/artavan-bin/Lasrozas/init (Ayuntamiento de Las Rozas de Madrid)

www.mma.es/ (Ministerio de Medio Ambiente)

www.wwf.es/ (WWF España/Adena)

www.greenpeace.org/espana/ (Fundación Greenpeace)

www.wateryear2003.org/es/ (2003. Año Internacional del Agua Dulce)

www.canaleduca.com/ (Revista Digital Educativa del CYII)

www.plandeahorrodeagua.com (Fundación Ecología y Desarrollo. 2006. Plan integral de Ahorro de Agua de Cantabria)

http://gestiona.madrid.org/nomecalles_inter/index.jsp (Nomenclator Oficial de la Comunidad Autónoma de Madrid)

http://hispagua.cedex.es/ (HISPAGUA. Sistema Español de Información sobre el Agua)

http://www.geocities.com/jerr922/ (La Depuración de Aguas Residuales en E.D.A.R.)

http://web.usal.es/~javisan/hidro/ (Hidrología Hidrogeología, Universidad de Salamanca)

http://www.ciclohidrologico.com/

http://www.ucm.es/info/diciex/proyectos/agua/index.html (Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Educación)

http://members.fortunecity.es/framirezq/tratamiento_del_agua.htm

http://es.wikipedia.org/wiki/Tratamiento_de_aguas_residuales

http://iagua.es/http://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/VT2_Tratamientos_avanzados_de_aguas_residuales_industriales.pdf

http://personal1.iddeo.es/geogaia/CYII.htm (El Canal de Isabel II: procesos utilizados en el tratamiento y depuración de aguas)

Ayuntamiento de
Las Rozas

CSIC

Real Jardín Botánico de Madrid
Instituto de Recursos Naturales