



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

R
63624



JUNTA DE ANDALUCÍA
Consejería de Obras Públicas y Transportes

CONVENIO DE COLABORACIÓN CON LA
CONSEJERÍA DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTES
PARA EL DESARROLLO DEL PROGRAMA DE
ASISTENCIA EN
AGUAS SUBTERRÁNEAS
PARA ABASTECIMIENTOS

1996-2000

ACTIVIDAD Nº 26. PLAN DE INTEGRACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS EN LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO PÚBLICO DE ANDALUCÍA. ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE POSIBILIDADES DE MEJORA DE LOS ABASTECIMIENTOS URBANOS EN LA ZONA NORTE DE LA PROVINCIA DE MÁLAGA.

Documento 26. 1. Introducción general del Estudio



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España



JUNTA DE ANDALUCÍA
Consejería de Obras Públicas y Transportes

ACTIVIDAD Nº 26. PLAN DE INTEGRACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS EN LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO PÚBLICO DE ANDALUCÍA. ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE POSIBILIDADES DE MEJORA DE LOS ABASTECIMIENTOS URBANOS EN LA ZONA NORTE DE LA PROVINCIA DE MÁLAGA.

Documento 26. 1. Introducción general del Estudio



ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN GENERAL DEL ESTUDIO	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO	2
<u>1.2.1. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL</u>	2
<u>1.2.2. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO</u>	3
<u>1.2.3. CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO REGIONAL</u>	5
<u>1.2.4. TIPOLOGÍA DE ACUÍFEROS</u>	7
1.2.4.1. ACUÍFEROS CARBONATADOS	7
1.2.4.2. ACUÍFEROS RELACIONADOS CON LA UNIDAD OLISTOSTRÓMICA MIOCENA.....	15
1.2.4.3. ACUÍFEROS DETRÍTICOS	16
1.3. ESTRUCTURACIÓN DEL PROYECTO	17
<u>1.3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE INFORMES MONOGRÁFICOS</u>	18
1.3.1.1. INTRODUCCIÓN.....	18
1.3.1.2. ESTUDIO HIDROCLIMÁTICO	18
1.3.1.3. ESTUDIO DE USOS Y DEMANDAS	20
1.3.1.3.1. Cálculo poblacional.....	22
1.3.1.3.2. Cálculo de dotaciones y demandas	26
1.3.1.4. GEOLOGÍA	32
1.3.1.5. HIDROGEOLOGÍA	33
1.3.1.6. HIDROMETRÍA.....	35
1.3.1.7. PIEZOMETRÍA	36
1.3.1.8. HIDROQUÍMICA.....	37
1.3.1.9. BALANCE HIDROGEOLÓGICO.....	38
1.3.1.10. RESUMEN Y CONCLUSIONES.....	38
1.4. BIBLIOGRAFÍA	40



1 INTRODUCCIÓN GENERAL DEL ESTUDIO

1.1. INTRODUCCIÓN

El presente estudio se engloba en el marco del convenio de colaboración establecidos entre el IGME y la Consejería de Obras Públicas de la Junta de Andalucía (1996-2000), por medio del cual se viene desarrollando una serie de actuaciones en Andalucía. Ha sido realizado por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), con la colaboración de la empresa consultora Informes y Proyectos, S.A. (INYPSA).

El estudio denominado "Estudio Hidrogeológico de probabilidades de mejora de los abastecimientos urbanos del Norte de la provincia de Málaga" forma parte de la actividad denominada "Plan de integración de los recursos hídricos subterráneos en el abastecimiento urbano", contemplada en el Convenio de colaboración existente entre la Junta de Andalucía y el IGME.

El equipo de trabajo ha estado dirigido por Juan José Durán Valsero y Juan Antonio López Geta, de la Dirección de Hidrogeología y Aguas Subterráneas del Instituto Geológico y Minero de España. Por parte de INYPSA han participado Jaime Palacio Suárez, Alfredo Martínez Arias, Alfredo García de Domingo, Milagros Higuera Toledano y Fco. Javier Solé Pont. Por parte de INIMA han participado Luis Linares Girella y Francisco Catalán Monzón.

Es preciso agradecer la ayuda aportada por las Oficinas de Proyectos del IGME de Granada y de Sevilla, así como de la Delegación Provincial de la Consejería de Obras Públicas en Málaga y la Confederación Hidrográfica del Sur.

El objetivo básico del estudio es aportar la información hidrogeológica actualizada de la región analizada, con objeto de optimizar el aprovechamiento integral de los recursos hídricos existentes, sobre todo en relación con los abastecimientos urbanos. En área de estudio está situada entre la divisoria de la Cuencas del Guadalquivir y la Cuenca Sur Occidental, ocupando toda la franja Norte de la provincia de Málaga y el extremo occidental de la provincia de Granada. Los objetivos parciales a cubrir con la realización del estudio son los siguientes:

- Sentar las bases técnicas para la integración adecuada de los recursos hídricos subterráneos en los sistemas de abastecimiento público, mejorando de esta forma la garantía de los servicios.



- Detectar los problemas existentes de calidad y cantidad en los abastecimientos urbanos de la región.
- Estudiar y proponer una serie de alternativas para resolver los problemas de abastecimiento existentes, relacionados con la calidad o la cantidad de las aguas.
- Plantear una serie de alternativas de usos conjuntos de las aguas superficiales y subterráneas, de cara a optimizar la gestión de recursos hídricos presentes.

1.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

En el plano de síntesis hidrogeológica adjunto se presentan los límites del área de estudio, así como las características hidrogeológicas generales de los materiales. Seguidamente se desarrolla una descripción general geológica e hidrogeológica del área de estudio, así como de los diferentes sectores diferenciados.

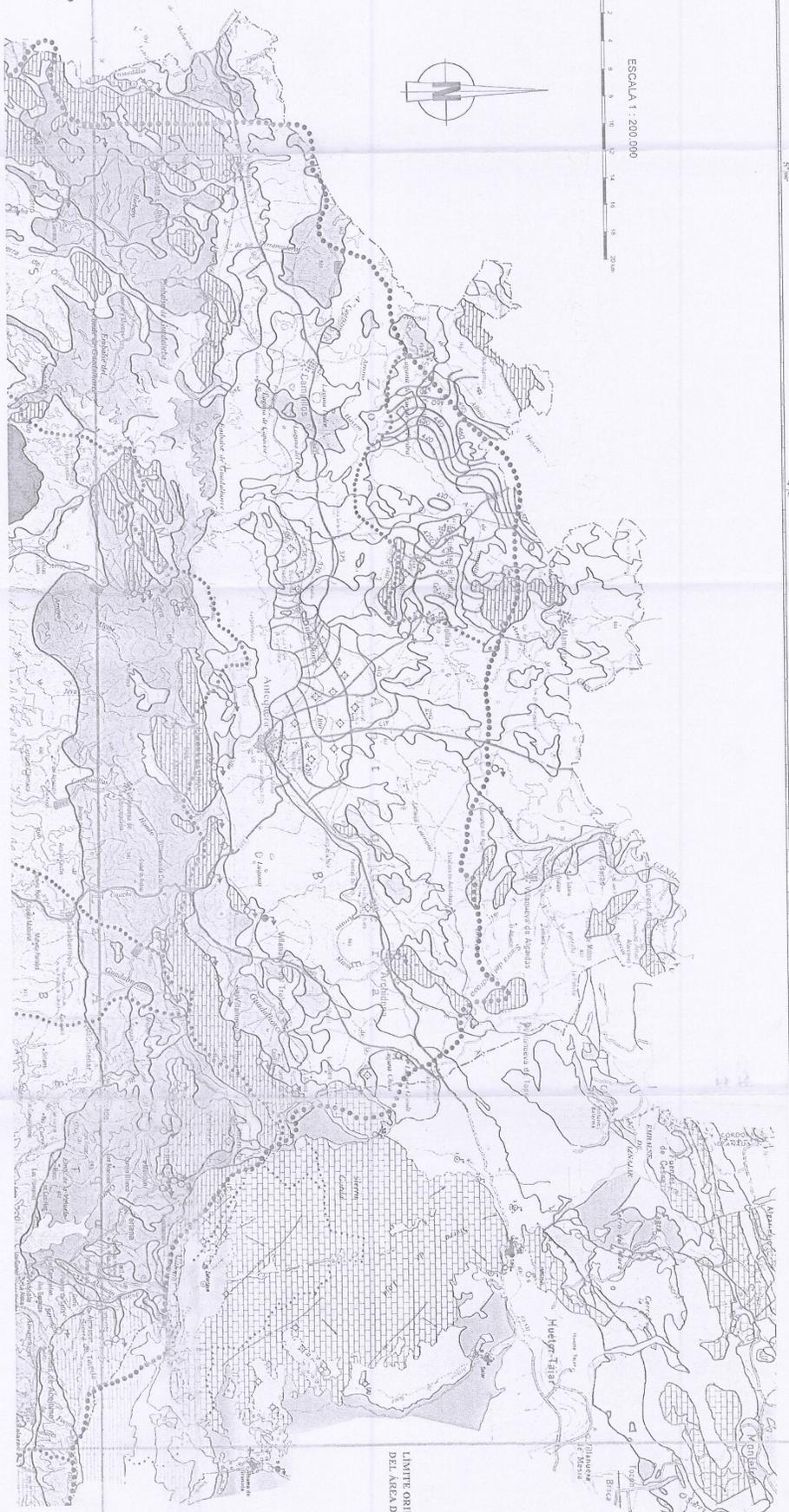
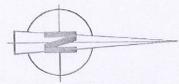
1.2.1. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

La Cordillera Bética está formada por dos grandes dominios con características estratigráficas y tectónicas diferentes, estos dominios se han denominado: Zonas Internas y Zonas Externas (Azema et al 1979). Cada una de ellas está constituida por una serie de conjuntos tectonopaleogeográficos, cuya diferenciación ha estado condicionada por una combinación de factores tectónicos y estratigráfico-sedimentológicos. Sobre estos dominios se sitúan las cuencas neógenas postorogénicas, entre ellas la más representativa es la Depresión del Guadalquivir. Entre estas dos zonas principales, hay que indicar la existencia de una unidad intermedia, denominado Complejo del Campo de Gibraltar

En las Zonas Internas se han diferenciado tres unidades tectónicas: Complejos Nevado-Filábride, el situado tectónicamente inferior; Alpujárride situado tectónicamente en un nivel intermedio; y Maláguide, que constituye el nivel tectónico superior. Estos complejos están afectados por un intenso metamorfismo alpino.

Las Zonas Externas, que no se encuentran afectadas por ningún tipo de metamorfismo, formaron el borde Sur y Sureste del Macizo Hercínico y están formadas por sedimentos mesozoicos y terciarios. En este conjunto se han diferenciado dos importantes dominios tectónicos: el Subbético y el Prebético. El Prebético, es el situado paleogeográficamente más próximo al Macizo Hercínico, presenta una estructura sencilla y está representado generalmente por sedimentos marinos, menos profundos que el Subbético, o incluso por sedimentos continentales. Se puede considerar el autóctono o parautóctono en sus sectores

ESCALA 1 : 200.000



LEYENDA

LITOLOGIA	
[Pattern]	Conglomerados, gravas, arenas, arcillas (aluviales, coluviales, p.e. de monte y playa)
[Pattern]	Arenas, arenas, calizas, conglomerados (locamiento maripás)
[Pattern]	Calcarenitas
[Pattern]	Americas, margas "unidad del Aljibe"
[Pattern]	Margas arcillas, bores "yagor"
[Pattern]	Margas margocalizas, bores "capas rojas"
[Pattern]	Margocalizas, calizas con sales
[Pattern]	Calizas, dolomitas
[Pattern]	Acifitas subgrasadas con esquistos, calizas, conchas y dolomitas
[Pattern]	Calizas, dolomitas y brechas parcialmente metamorfozadas (Unidad de Las Sierritas)
[Pattern]	Mermolitas, calizas y dolomitas (Aldayrindes)
[Pattern]	Micasquistos, masas, pizarras, filitas (locamiento calizas y areniscas) Alpujarrides-Malagüendes
[Pattern]	Parafolitas

COMPARTAMENTO HIDROGEOLOGICO

EPM	
[Pattern]	CUATERNARIO
[Pattern]	MIOCENO-PLIOCENO
[Pattern]	MIOCENO
[Pattern]	MIOCENO
[Pattern]	CRETACICO-MIOCENO
[Pattern]	CRETACICO
[Pattern]	JURASICO SUPERIOR
[Pattern]	JURASICO INTERIOR MEDIO
[Pattern]	TRIASICO
[Pattern]	TRIASICO-JURASICO
[Pattern]	TRIASICO
[Pattern]	FRECUAMBRICO-TRIAS

[Pattern]	Permeabilidad media-alta
[Pattern]	Permeabilidad media-alta
[Pattern]	Permeabilidad alta
[Pattern]	Permeabilidad baja
[Pattern]	Impenetrable
[Pattern]	Permeabilidad media-baja
[Pattern]	Permeabilidad alta
[Pattern]	Impermeable (localmente permeable por karstificación)
[Pattern]	Permeabilidad alta
[Pattern]	Permeabilidad alta
[Pattern]	Impermeable (localmente permeable (base-media))
[Pattern]	Permeabilidad baja

SIMBOLOGIA

[Symbol]	Manantial significativo
[Symbol]	Agrupación de manantiales
[Symbol]	Manantial de carácter "vuelta-riera"
[Symbol]	Sondeo
[Symbol]	Agrupación de sondeos
[Symbol]	Agrupación de pozos

ESTUDIO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LOS RECURSOS HIDRICOS DE LAS COMARCAS SEPTENTRIONAL Y OCCIDENTAL DE LAS PROVINCIAS DE MÁLAGA Y GRANADA

MAPA DE SÍNTESIS HIDROGEOLÓGICA



más externos. Entre el Subbético y el Prebético, se ha diferenciado un dominio con características estratigráficas mixtas y posición sedimentaria intermedia entre ambos que constituye las denominadas como Unidades Intermedias.

El Subbético representa la continuación del Prebético hacia el interior de la cuenca. Se subdivide en: Subbético Interno (también denominado Penibético más al Oeste), Subbético Medio y Subbético Externo (el más próximo a las Unidades Intermedias y al Prebético). Tanto el Subbético Interno como el Externo se caracterizan por presentar fundamentalmente depósitos calcáreos y dolomíticos en el Jurásico medio, mientras que en el Subbético Medio los depósitos de esta edad presentan una mayor potencia, estando constituidos fundamentalmente por margas y radiolaritas con inclusiones de rocas volcánicas básicas.

En las Zonas Externas Béticas afloran materiales triásicos, con facies pericontinentales semejantes a las facies germánicas, formados por un conjunto arcillo-yesífero de considerable potencia. Este conjunto constituye el principal nivel de despegue de las unidades tectónicas subbéticas formadas durante la orogenia Alpina.

El Complejo del Campo de Gibraltar se puede considerar como el conjunto de unidades tectónicas más internas de las Zonas Externas, constituido por terrenos de cobertera no afectados por el metamorfismo alpino, aunque teniendo en cuenta el tipo de depósito, la sedimentación de estos materiales debió realizarse en una cuenca turbidítica profunda.

1.2.2. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

En este sector, el Complejo del Campo de Gibraltar, está constituido fundamentalmente por las denominadas Arcillas con Bloques (Arcillas escamosas (GONZALEZ DONOSO *et al*, 1978), formadas por un conjunto de arcillas rojas y verdes, pero también grisáceas y negras, de aspecto caótico y composición filítica. Son arcillas bastante puras, desprovistas de carbonatos y con intercalaciones de niveles areniscosos y calcodolomíticos. El contenido micropaleontológico es muy pobre, no obstante se han datado como Burdigaliense-Langhiense.

Este conjunto incluye bloques de distinta naturaleza y tamaño, desde milimétricos hasta kilométricos, correspondientes tanto al dominio de plataforma como al Surco Turbidítico. Las Arcillas con Bloques, están relacionadas con el emplazamiento de las Zonas Internas en la Plataforma Subbética, dando lugar a la creación de un amplio complejo olistrostrómico (Complejo Tectosedimentario), formado en este proceso de emplazamiento y depositado en una amplia banda paralela al afloramiento de las Zonas Internas.

BOURGOIS, 1973), indica que los Flyschs Alóctonos de la Cordillera Bética, no forman un conjunto estructuralmente organizado de mantos de deslizamiento, sino mas bien un



complejo con estructura caótica (Arcillas con Bloques) formado por una serie de fragmentos, procedentes de unidades alóctonas diversas cuya patria se situaría en el Surco Turbidítico.

En este sector de las Cordilleras Béticas, (provincia de Málaga), los depósitos incluidos tradicionalmente dentro del Surco de los Flyschs, se distribuyen ocupando dos franjas entre Ronda y El Corro, esencialmente al Norte y al Sur del Penibético, continuando por el Valle de Abdalajis, Colmenar y Perianaes, es decir entre las Zonas Internas y la denominada Unidad de Antequera-Osuna.

Este conjunto ha sido datado como Mioceno inferior-medio por distintos autores (BOURGOIS (1978), IGME (1985), MARTIN ALGARRA y GONZALEZ DONOSO (1987), ha sido denominado como Complejo Tectosedimentario Mioceno del Campo de Gibraltar, cuya matriz estaría formada, en sentido amplio, por las Arcillas con Bloques

La Unidad de Antequera-Osuna, definida por CRUZ-SANJULIAN (1972), como una unidad alóctona integrada por sedimentos triásicos con una cobertera mesozoica y terciaria de procedencia citrabética, relacionándola con el Manto de Cambil. Posteriormente GARCIA CORTES, A. y ROLDAN GARCIA (1988), han definido la "Unidad Olistostrómica Miocena" con características semejantes a las descritas para esta unidad. Este conjunto se sitúa en una banda paralela, al Norte, de la definida por los depósitos del Complejo Tectosedimentario Mioceno del Campo de Gibraltar (Arcillas con Bloques). Los depósitos de la Unidad Olistostrómica, están constituidos por materiales resedimentados, fundamentalmente triásicos, que contienen un conjunto de bloques de distinta naturaleza y tamaño.

El Complejo Tectosedimentario (Arcillas con Bloques), se sitúan tectónicamente por encima de la Unidad Olistostrómica, llegándose incluso a mezclar en algunos sectores.

En este sector de las Cordilleras Béticas, El Complejo Tectosedimentario, (Arcillas con Bloques), están representadas en la banda cartografiada al Norte de las Zonas Internas, con bloques de tamaños kilométrico como son: la Sierra de Gibalto, Las Cabras-Camarolos-San Jorge, la Sierra del Torcal, Teba y Cañete. La Unidad Olistostrómica, esta representado por las sierras de: El Hacho, Archidona, Humilladero, Molina y Los Caballos. Las Sierras de Arcas y Pedroso, se incluyen dentro de la Plataforma Subbética s. str., aunque sin continuidad física entre sus niveles calcáreos, debido a la intensidad y naturaleza de los procesos tectónicos que les afectan.

El autóctono o para-autóctono, se localiza en el sector que comprende las sierras de Pedroso-Arcas, incluido dentro del Subbético Medio, caracterizado por presentar una gran abundancia de margas y calizas micríticas en la serie jurásica post-liásica, por las series de radiolaritas del Dogger y por la existencia de intercalaciones de rocas volcánicas básicas, con edades comprendidas entre el Lías medio y el Jurásico terminal.



Estructuralmente, en este sector de la Cordillera Bética, se pueden diferenciar tres niveles estructurales superpuestos que condicionan la naturaleza y la geometría de los acuíferos.

El nivel estructural inferior está constituido por los materiales del autóctono o para-autóctono. En este sector, los materiales del autóctono Subbético s. str., presentan características del tipo del Subbético Medio, encontrándose afectados por estructuras de pliegues-fallas, con direcciones béticas (ENE-OSO) y vergencias hacia el Sur.

El nivel estructural intermedio está representado por la Unidad Olistostrómica Miocena. Conocido anteriormente como Trías de Antequera-Osuna, incluye bloques de distinta naturaleza, generalmente de la serie Subbética s. str., y tamaño, desde centimétrico hasta kilométrico.

El nivel estructural superior está representado por el Complejo Tectosedimentario Mioceno del Campo de Gibraltar, formado por las Arcillas con Bloques, constituidas por una matriz arcillosa, acompañada de bloques diversos, tanto del propio Surco Turbidítico, como de la Plataforma Subbética, que ha incorporado en su desplazamiento hacia el Norte.

1.2.3. CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO REGIONAL

Dentro de la serie estratigráfica general definida anteriormente, los materiales que la constituyen tienen un carácter hidrogeológico diferente que, a grandes rasgos, puede resumirse de la siguiente manera:

Trías:

De facies germano-andaluza, representado por margas abigarradas, evaporitas y niveles carbonatados. Se considera la base impermeable de los acuíferos carbonatados suprayacentes, sobre todo en los sectores donde afloran las series autóctonas.

Lías inferior:

Los materiales de esta edad son de naturaleza carbonática (calizas y dolomías). Debido a su elevada permeabilidad secundaria – por karstificación – y al hecho de superar frecuentemente los 200 m de espesor, constituyen los embalses subterráneos más importantes de la región.



Lías medio-superior:

Cuando es de facies carbonatada integra un único acuífero junto a los materiales anteriormente descritos. A veces falta o se encuentra representado por facies margosas de carácter impermeable.

Dogger-Malm:

Los materiales de esta edad presentan facies y potencias variadas. Cuando son carbonatados constituyen acuíferos colgados, aunque en algunas ocasiones están en relación hidrogeológica con los materiales del Lías. Si tienen predominio margoso o espesor reducido carecen prácticamente de interés hidrogeológico.

Cretácico:

De manera bastante generalizada, se caracteriza por presentar facies principalmente margosas por lo que su permeabilidad es muy reducida.

Paleógeno:

De facies muy variada, aunque con predominio de las de características turbidíticas, que determinan su baja permeabilidad.

Neógenos preorogénicos y-sinorogénicos

Constituyen la gran masa de sedimentos que conforman esta región. Dentro del Complejo Tectosedimentario Mioceno, la matriz es prácticamente impermeable mientras que los acuíferos se desarrollan en los bloques jurásicos incluidos en este conjunto. La Unidad Olistostrómica Miocena está constituida por una matriz arcilloso-evaporítica, que puede formar acuíferos locales por disolución y karstificación, mientras que los bloques, fundamentalmente jurásicos, constituyen acuíferos similares a los descritos para el Lías.

Materiales postorogénicos:

El Mioceno Superior, representado por areniscas calcáreas, constituye localmente acuíferos de permeabilidad no muy alta y generalmente de poca extensión.

Los materiales cuaternarios, fundamentalmente de carácter aluvial, originan acuíferos relacionados genética y espacialmente al cauce de los ríos. Cuando su potencia y granulometría son adecuadas integran importantes embalses



subterráneos, como sucede en el área estudiada en el acuífero de la Vega de Antequera-Bobadilla.

1.2.4. TIPOLOGÍA DE LOS ACUÍFEROS

De acuerdo con la división en diferentes Unidades Geológicas antes efectuada, con la estructura de las mismas y habida cuenta de las características hidrogeológicas de los materiales que las integran, se han distinguido tres tipos principales de acuíferos:

Acuíferos carbonatados:

Están ubicados en las calizas y dolomías jurásicas de las unidades del Subbético autóctono y para-autóctono, en los bloques de la Unidad Olistostrómic y en los bloques del Complejo Tectosedimentario. Deben su permeabilidad a procesos de karstificación. La estructura geológica y la complejidad tectónica de la región originan la existencia de sistemas independientes con drenajes individualizados.

Acuíferos en evaporitas:

Están formados sobre los materiales arcillo-salinos que constituyen la matriz de la Unidad Olistostrómic Miocena, en las que debido a la abundancia de evaporitas existen localmente áreas de mayor permeabilidad, por disolución de dichas sales, que permiten la circulación del agua subterránea.

Acuíferos detríticos:

Corresponden a los afloramientos de areniscas del Mioceno y a los depósitos de ladera y aluviales cuaternarios. En todos los casos, se trata de materiales con permeabilidad por porosidad intergranular.

1.2.4.1. ACUÍFEROS CARBONATADOS

Se desarrollan en las calizas y dolomías jurásicas. Constituyen los relieves topográficamente más altos de la región. Presentan las mejores posibilidades hidráulicas desde el punto de vista de explotación de sus recursos hídricos. Por ello el estudio se centrará principalmente en este tipo de acuíferos.

Como corresponde a la situación estratigráfica antes descrita, su base impermeable está constituida en el sector meridional por las Arcillas con Bloques del Complejo



Tectosedimentario Mioceno, en el sector central por la matriz de la Unidad Olistostrómica Miocena y en el sector septentrional, en el sector autóctono, por las arcillas triásicas.

A continuación se describen someramente los sectores hidrogeológicos considerados.

Sierra de Cañete:

El acuífero principal está desarrollado sobre los materiales del jurásico, constituido por el paquete dolomítico basal, que hacia techo pasa a calizas, calizas dolomíticas y calizas margosas. El espesor total de esta serie y por lo tanto del acuífero puede ser del orden de unos 850 metros.

La superficie permeable de la Sierra de Cañete es del orden de 65 km². El sustrato impermeable de este sector está conformado por una formación de Arcillas con Bloques (Complejo Tectosedimentario), aunque localmente puede estar constituido por los materiales arcillosos y yesíferos del Trías.

La estructura interna de estas sierras es muy compleja, en general conforman un anticlinal de dirección NNE-SSO, cuyo flanco oriental se encuentra afectado por una intensa tectónica. La recarga de esta Sierra, procede, en su práctica totalidad, de la infiltración directa del agua de lluvia. La descarga de la Unidad se realiza en su mayor parte a favor de manantiales y por transferencia subterránea o salidas ocultas. También destaca el volumen captado a través de sondeos para abastecimiento

Sierra de Teba

El acuífero principal se desarrolla sobre los materiales del jurásico, constituidos por las calizas oolíticas grises masivas a muro y por las calizas nodulosas brechoides tableadas a techo, con un espesor del orden de 250 metros. La estructura interna de estas sierras es muy simple ya que en general, se trata de series monoclinales, con buzamientos suaves.

La superficie permeable de la Sierra de Teba es del orden de 12,5 km². El límite inferior de estas sierras no está suficientemente definido, ya que sus relaciones tectónicas con otras unidades no se conocen con precisión. No obstante puede estar constituido por la Unidad Olistostrómica Miocena, por el Complejo Tectosedimentario Mioceno o por los materiales del Triásico superior del Subbético autóctono o para-autóctono.

La recarga de esta Unidad procede, en su mayoría, de la infiltración directa del agua de lluvia. También recibe aportes desde el río de la Venta. La descarga de la Unidad se realiza en su mayor parte por el manantial de Torrox (punto principal de descarga), por bombeo en



las captaciones existentes en menor medida, sobre todo en periodos de estiaje. Éstas se concentran principalmente en la vertiente meridional de la Unidad

Torcal de Antequera

El acuífero principal está constituido por dolomías y calizas oolíticas y nodulosas de la serie Jurásica, con un espesor visible del orden de unos 200, metros que aumentan a unos 500 m al incluir los niveles dolomíticos inferiores. La estructura interna del macizo, coincide con un pliegue en cofre de dirección Este-Oeste, con una charnela muy extensa y estratificación prácticamente horizontal. El límite inferior del acuífero, está constituido por una fractura que pone en contacto los sedimentos calcáreos con los materiales de las Arcillas con Bloques, en el sector meridional y con la Unidad Olistostrómica, en el sector septentrional. La superficie acuífera de la Sierra de El Torcal es del orden de 34 km².

La recarga de esta sierra, procede en su práctica totalidad, de la infiltración directa del agua de lluvia. La descarga se realiza en su mayor parte por el manantial de La Villa.

Las Cabras-Camarolos-San Jorge

El sector de Las Cabras-Camarolos-San Jorge se define en base a la extensión de los materiales acuíferos carbonatados de edad jurásica que conforman las sierras del mismo nombre. La superficie de estos acuíferos es del orden de 63 km².

Los acuíferos están constituidos por las dolomías del Lías y las calizas oolíticas del Jurásico medio-superior, con un espesor aproximado máximo total de más de 800 metros. El sustrato impermeable está conformado, fundamentalmente, por las Arcillas con Bloques del Complejo Tectosedimentario Mioceno.

El sector en conjunto está compuesto por tres subacuíferos con características diferentes, aunque desarrollados sobre los mismos tipos de materiales calcáreos.

El acuífero occidental, constituido fundamentalmente por la Sierra de las Cabras, que pudiera estar independizado del acuífero central en el Puerto de la Fresneda, en donde una fractura corta la estructura general, aflorando las Arcillas con Bloques del Complejo Tectosedimentario. El acuífero está configurado por un anticlinorio y su sinclinorio asociado, con flancos muy verticalizados.

El acuífero central, está formado por las sierras del Enebro, Camarolos, del Jabo y Gorda de Villanueva del Trabuco. Este acuífero, posiblemente este independizado del de San Jorge-Tres Mogotes por una fractura de dirección N-60°-E, en donde afloran materiales triásicos en



facies Keuper. Este acuífero se encuentra muy compartimentado, al encontrarse afectado por diversas fracturas, tanto de carácter normal como inversa.

El acuífero oriental, está constituido por la Sierra de San Jorge y de Tres Mogotes. Internamente el acuífero se encuentra afectado por varias fracturas importantes, como la que discurre por el Puerto de los Alazores, que pueden compartimentar.

La recarga de este sector procedería, en su práctica totalidad, de la infiltración directa del agua de lluvia. Mientras que la descarga se realiza por una serie de surgencias existentes en las vertientes septentrionales de cada una de las sierras que conforman este sector.

Sierra de Gibalto

El acuífero principal está constituido por las dolomías inferiores, las calizas blancas y las calizas y margas, con un espesor total superior a 400 metros. La estructura interna del macizo es muy complicada, ya que se encuentra constituida por varias fracturas inversas de distinto rango, que ponen en contacto materiales de diferente naturaleza y posición peleogeográfica, además, los materiales de cada escama, se encuentran intensamente plegados. El límite inferior del acuífero, está constituido por la Arcillas con Bloques (Complejo Tectosedimentario). La extensión superficial de estos acuíferos es del orden de 13,2 km². El sustrato impermeable está conformado, en el sector Sureste por una formación de Arcillas con Bloques (Complejo tectosedimentario), y en el sector Noroeste por materiales arcillosos y salinos pertenecientes a la Unidad Olistostrómica Miocena.

La recarga de este sector procedería, en su práctica totalidad, de la infiltración directa del agua de lluvia. La descarga principalmente se realiza por una serie de surgencias localizadas en la vertiente septentrional y occidental de la Sierra. También se produce una descarga importante por transferencia subterránea a los materiales salinos carstificados de la Unidad Olistostrómica.

Sierra Gorda-Polje de Zafarraya

El acuífero principal está constituido por las calizas y dolomías de las unidades geológicas de Sierra Gorda y Zafarraya, con un espesor que supera los 1000 metros. La superficie total de materiales permeables aflorantes en este sector es del orden de 344.5 km²

El límite inferior del acuífero no se conoce, no obstante parece estar constituido por el Triás, a una gran profundidad, por la Unidad Olistostrómica o por las Arcillas con Bloques, encontrándose posiblemente a cotas mas elevadas en el sector central del acuífero, dando lugar desconexiones hidráulicas parciales.



En la Unidad de Sierra Gorda-Polje de Zafarraya se distinguen varios sectores con cierto grado de independencia en su funcionamiento hidrogeológico.

La división hidrogeológica de Sierra Gorda entre sector occidental y oriental se debe a un accidente estructural de dirección próxima a N-S, al que se asocian los materiales Cretácicos.

El sector occidental de Sierra Gorda recibe la recarga por infiltración del agua de lluvia y por la escorrentía superficial del Arroyo de La Madre que se infiltra a favor de los sumideros existentes en el área noroccidental del polje de Zafarraya.

El sector oriental de Sierra Gorda recibe la recarga por infiltración del agua de lluvia y, posiblemente, por transferencia lateral del sector Torrecilla-Los Revuelcos. La descarga se produce a través de bombeos y los manantiales de Loja-Salar.

El sector Torrecilla-Los Revuelcos recibe la recarga por infiltración de aguas de lluvia y de las pérdidas directas en el cauce del Arroyo de la Madre entre la Alcaicería y Pilas de Alaida. La descarga se efectúa principalmente, mediante bombeos y por transferencia lateral subterránea a la subunidad del sector oriental de Sierra Gorda.

El sector de Sierra de Alhama se recarga, fundamentalmente por infiltración de las aguas de lluvia y percolación a favor de los sumideros en el Polje de Zafarraya. Su principal punto de drenaje corresponde a los manantiales de Guaro.

En el polje de Zafarraya la superficie del acuífero aluvial es de 18 km² aproximadamente, y se encuentra delimitado mayoritariamente por materiales carbonatados de al permeabilidad por karstificación y fisuración. La naturaleza de los materiales en contacto con el muro de los depósitos aluviales condiciona de manera fundamental el funcionamiento hidráulico de este sistema.

Sierra del Hacho de Loja

Los afloramientos de los acuíferos principales, comprenden una extensión de 11,5 km². El acuífero principal está constituido por las dolomías grises, laminadas o brechoides que pasan a techo, mediante un contacto no bien definido, a calizas blancas con textura oolítica y oncolítica, con intercalaciones de calizas con sílex, con un espesor entorno a los 700 metros. La estructura interna del macizo es muy complicada, ya que se encuentra afectado por varias fracturas, unas de carácter normal y otras de componente dextral, que han dislocado completamente a esta unidad. El límite inferior del acuífero, está constituido por las Arcillas con Bloques del Complejo Tectosedimentario y por las arcillas y sales de la



Unidad Olistostrómica Miocena, ambas, presentan una muy baja permeabilidad, a no ser que se encuentre karstificada. La recarga de este sector procedería de la infiltración del agua de lluvia. La descarga se realiza fundamentalmente por el manantial de El Frontil.

Sierra del Pedroso

El sector de la Sierra del Pedroso se define en base a la extensión de los materiales acuíferos carbonatados de edad jurásica que conforman la sierra del mismo nombre con una superficie total de unos 4,4 km².

El sustrato "impermeable" no parece serlo tanto, ya que la práctica totalidad del aporte que recibe, por infiltración directa del agua de lluvia, se escapa subterráneamente fuera de los límites de la Unidad. Este sustrato en profundidad está teóricamente conformado por materiales de arcillosos y salinos del Triásico. Una de las hipótesis de fuga del agua de la Unidad pudiera estar relacionada con la disolución de material salino en profundidad. Más bien parece que los materiales que la limitan (margas y margocalizas del Dogger) no son de tan baja permeabilidad pudiendo darse transferencias en niveles más superficiales.

El acuífero más importantes de esta Unidad está conformado por materiales calcáreos jurásicos. Se pueden diferenciar un acuífero calco-dolomítico inferior del Lías, el más importante, y otro superior formado sobre las calizas del Malm.

El acuífero jurásico inferior, que conforma la Sierra del Pedroso, está constituido por dolomías brechificadas y calizas, con un espesor de 350 metros. La estructura interna de este macizo es complicada formando un anticlinorio. El límite inferior de este acuífero, está constituido por los materiales arcillo-yesíferos del Triásico superior en facies Keuper.

La recarga de este sector procedería, en su práctica totalidad, de la infiltración directa del agua de lluvia. La descarga de la Unidad se realiza, prácticamente en su totalidad por transferencia subterránea.

Sierra de Arcas

La superficie aflorante de estos acuíferos es del orden de 1,9 km².

El sustrato impermeable del sector, en el entorno del afloramiento meridional, más importante y que da lugar a la Sierra está conformado, fundamentalmente, por materiales arcillosos o salinos del Trías. Lateralmente los materiales margosos del Dogger también delimitan hidrogeológicamente a la Unidad. En el Norte existe un afloramiento permeable



que constituye un relieve característico denominado Cerro Gordo interconectado lateralmente, hacia el Sur y en profundidad, con el material permeable de la Sierra de Arcas.

Los acuíferos principales de este sector, están conformados por materiales calcáreos jurásicos, cuyas características son semejantes a las descritas en el sector de Pedroso, diferenciándose un acuífero inferior y más importante, constituido por los niveles calcodolomíticos del Lías y otro superior formado sobre las calizas del Malm. La estructura interna de esta sierra, constituye una serie monoclinal, con buzamiento hacia el SSO y cuyo frente está constituido por una fractura, posiblemente de carácter inverso, cuyo nivel de despegue está formado por las arcillas, yesos y sales del Triásico superior en facies Keuper

La recarga de esta Unidad procedería, en su práctica totalidad, de la infiltración directa del agua de lluvia. La descarga de la Unidad se realiza en su mayor parte, por bombeo en las captaciones existentes.

Sierra de Archidona

En esta unidad, los acuíferos jurásicos más importantes, están divididos, en dos sistemas acuíferos diferentes: el acuífero jurásico que forma parte de la Sierra de Archidona y el acuífero jurásico de la Sierra del Morrón

El acuífero jurásico de la Sierra de Archidona, está constituido por dolomías brechificadas en la base, que pasan a techo a calizas blancas masivas, con un espesor de unos 350 metros. La estructura interna de este macizo es complicada formando un sinclinorio, afectado por varios sistemas de fracturas. En conjunto forma un bloque, incluido en la Unidad Olistostrómica Miocena y caído sobre los restos de la Plataforma Subbética. El límite inferior de este acuífero, está constituido por la matriz de la Unidad Olistostrómica, formada por arcillas y margas con yesos y por los elementos de la unidad estructural inferior, constituidos en esta zona fundamentalmente por margas del Cretácico inferior. En algún punto, este acuífero puede estar en contacto con los acuíferos desarrollados sobre las calizas de la unidad estructural inferior.

Los acuíferos jurásicos del Morrón, forman parte del nivel estructural inferior, y están constituidos por las dolomías y calizas similares a las descritas anteriormente, ampliando el acuífero en este sector por unos niveles de calizas grises. El límite inferior del acuífero jurásico principal, está constituido por los depósitos arcillosos del Triásico superior. La estructura interna de este acuífero está constituida por una serie de fallas inversas con vergencia Sur.



La recarga de esta Unidad que procedería, en su práctica totalidad, de la infiltración directa del agua de lluvia. La descarga se realiza en su mayor parte, por bombeo en las captaciones existentes para abastecimiento.

Sierra del Humilladero

El acuífero principal se desarrolla sobre los materiales del jurásico inferior, que conforma la Sierra de Humilladero, está constituido por dolomías brechificadas en la base, que pasan a techo a calizas blancas masivas, de naturaleza oolítica y oncolítica, continuando la serie por un paquete de calizas y margocalizas. La estructura interna de esta sierra, constituye una serie monoclinas, con buzamiento hacia el Norte, e invertido. La superficie de afloramiento de estos acuíferos se ha establecido en unos 9 km².

El límite inferior de este acuífero, está constituido, por los materiales arcillo-yesíferos de la Unidad Olistostrómica Miocena.

La recarga de este sector procede, en su práctica totalidad, de la infiltración directa del agua de lluvia. La descarga se realiza en su mayor parte, por bombeo en las captaciones existentes, sobre todo en periodos de estiaje.

Sierra de Mollina

El acuífero principal se desarrolla sobre los materiales del jurásico inferior, que conforman las Sierras de Mollina y de la Camorra, está constituido por dolomías brechificadas en la base pasan hacia techo a calizas blancas masivas, de naturaleza oolítica y oncolítica con un espesor total de unos 450 metros. La estructura interna de estas sierras, constituye un domo circular la sierra de Mollina y una serie monoclinas, la de la Camorra. El límite inferior de este acuífero, está constituido, por los materiales arcillo-yesíferos de la Unidad Olistostrómica Miocena.

La extensión de los materiales acuíferos aflorantes en este sector es del orden de 15 km².

La recarga del sector procede, en su práctica totalidad, de la infiltración directa del agua de lluvia. La descarga de la Unidad se realiza, en su mayor parte, por bombeo en las captaciones existentes.



Sierra de Los Caballos

El acuífero carbonatado principal está constituido por dolomías y calizas del Lías, con permeabilidades en general altas. El sustrato impermeable de este sector, en la mitad oriental, está constituido por materiales arcillosos y salinos de la Unidad Olistostrómica Miocena. En el sector occidental está conformado por materiales margosos del Dogger. La extensión de estos acuíferos es del orden de 24 km².

La recarga de esta Unidad procede, en su práctica totalidad, de la infiltración directa del agua de lluvia. La descarga de la Unidad se realiza por bombeo en las captaciones existentes, sobre todo en periodos de estiaje.

1.2.4.2. ACUÍFEROS RELACIONADOS CON LA UNIDAD OLISTOSTRÓMICA MIOCENA

En esta zona se ha observado que los materiales incluidos dentro de la Unidad Olistostrómica Miocena, cuyo origen está relacionado con la resedimentación de facies Keuper del Triásico superior, se encuentran afectados por un intenso proceso de karstificación.

Localmente, los procesos sedimentarios por los que se forma la Unidad Olistostrómica, permiten la acumulación de los materiales salinos y yesíferos, formando niveles sedimentarios con gran espesor de yesoarenitas con sales, que posteriormente han sido afectados por procesos tectónicos, actuado de forma diapírica, aumentando el espesor de las sales y yesos, dando lugar a fallas circulares, como las observadas en el diapiro de Salinas-Fuente Camacho.

La Unidad Olistostrómica, presenta una gran variedad litológica, con un comportamiento hidrogeológico muy distinto de sus materiales, así, las arcillas y margas son prácticamente impermeables. Las calizas y dolomías, que se encuentran incluidas como bloques dentro de esta unidad, pueden constituir acuíferos por fisuración y karstificación, en general con transmisividades medias, confinados entre las capas de arcillas. Los yesos y las sales forman los acuíferos antes citados, aunque no siempre los yesos se encuentran karstificados.

La dinámica hidrogeológica de este tipo de karst, comienza con la infiltración del agua de lluvia o de escorrentía superficial, a favor de las formas de absorción. También puede alimentarse este tipo de sistema por acuíferos próximos, tanto calcáreos como detríticos. Posteriormente se produce la circulación del agua y su eventual almacenamiento en los conductos y/o zonas permeables producidas o ensanchadas por la disolución de los



materiales evaporíticos, finalizando el proceso con la descarga a través de los manantiales, drenaje difuso hacia los cursos de agua o hacia otros acuíferos.

1.2.4.3. ACUÍFEROS DETRÍTICOS

Respecto a los acuíferos detríticos, en esta región se han inventariado dos tipos principales, los relacionados con los materiales detríticos del Mioceno superior y los configurados sobre materiales cuaternarios, considerando al resto de los acuíferos de escasa importancia hidrogeológica.

Los acuíferos detríticos del Mioceno superior están constituidos por un conjunto de arenas y calcarenitas bioclásticas que cambian lateralmente a facies de margas verdosas y cuya edad se puede atribuir al Mioceno superior. El espesor de este conjunto es del orden de 150-200 metros. Intercalados entre el conjunto arenoso, se observan niveles de conglomerados de naturaleza calcárea, cuyo espesor es del orden de unos 100 metros.

Este conjunto se encuentra afectado por un juego de fallas y pliegues, que verticalizan la serie y cuyo origen puede estar relacionado con levantamientos diapíricos de los materiales salinos y yesíferos de la Unidad Olistostrómica.

La recarga de estos acuíferos se produce fundamentalmente por la infiltración del agua de lluvia que cae sobre los afloramientos de los materiales permeables. Asimismo, pueden existir recargas procedentes de los acuíferos calcáreos y de los cursos de aguas superficiales. La descarga natural de estos acuíferos se dirige hacia los cursos de aguas superficiales.

Respecto a los acuíferos cuaternarios, éstos se han agrupado fundamentalmente en dos conjuntos, dependiendo de la naturaleza de los sedimentos. Los formados por materiales relacionados con los sistemas fluviales y los relacionados con el sistema de laderas.

En los acuíferos genéticamente relacionados con el sistema fluvial principal, se han distinguido varios sistemas de terrazas, algunos de ellos muy desmantelados por la erosión. Los materiales dominantes en este sistema de terrazas parecen ser los cantos con matriz margo-arenosa. La llanura de inundación, está constituida por limos arenosos con pasadas de cantos, desarrollándose en su techo un suelo pardo.

Los niveles de terrazas dan lugar a la formación de buenos acuíferos, con permeabilidades medias y altas, dependiendo del porcentaje de materiales finos que constituyan el acuífero en cada sector. El límite inferior poco permeable de estos acuíferos, puede estar constituido por las Arcillas con Bloques del Complejo Tectosedimentario Mioceno, por materiales



margosos jurásicos del Subbético y por la matriz de la Unidad Olistostrómica, muy karstificada en algunas zonas.

Los acuíferos relacionados con los sistemas de laderas, presentan una litología muy variada. La geometría de estos acuíferos configura una orla localizada al pie de los macizos montañosos. Dentro de este grupo se han incluido a los glaciais, formados por arcillas, arenas rojas y cantos de calizas y biocalcarenitas subangulosos con matriz calcárea pulverulenta, los conos aluviales, formados por arcillas, arenas y cantos subangulosos de caliza y dolomías fuertemente cementados, coluviones, constituidos por una brecha encostrada, arcillas y arenas con cantos

Estos acuíferos presentan una permeabilidad muy variable, dependiendo del porcentaje de materiales finos que conforman los depósitos. El límite inferior está constituido normalmente, por los mismos materiales que los descritos anteriormente para el sistema fluvial.

1.3. ESTRUCTURACIÓN DEL PROYECTO

Para llevar a cabo los objetivos previamente establecidos, se ha estimado conveniente, en primer término, el discretizar, dentro del área de estudio, y en cada una de las unidades hidrogeológicas y sectores presentes, todas aquellas formaciones con posibilidades acuíferas interesantes para el abastecimiento urbano de los municipios implicados en la optimización de recursos hídricos.

De este modo, en el área de estudio, se diferencian 14 sectores que presentan un funcionamiento hidrogeológico independiente, los cuales serán tratados por separado en un principio, con objeto de optimizar la gestión individual de los recursos hídricos en cada uno de ellos. Posteriormente se analizarán los resultados de forma conjunta a fin de integrar su gestión.

A tal efecto, además del presente documento introductorio (Informe 26.1), se llevan a cabo 14 informes independientes (Informes 26.2 a 26.15) para cada uno de los sectores diferenciados, y un último informe que integra y analiza el conjunto de todos ellos (Informe 26.16). La numeración de los informes realizados y el nombre genérico dentro de la Actividad nº 26 ("Plan de integración de los recursos hídricos subterráneos en el abastecimiento urbano", contemplada en el Convenio de colaboración existente entre la Junta de Andalucía y el IGME), se representan en el cuadro adjunto (Cuadro 1.1).



Nº de informe	Nombre genérico
26.1	INTRODUCCIÓN GENERAL DEL ESTUDIO
26.2	SIERRA DE CAÑETE
26.3	SIERRA DE TEBA
26.4	TORCAL DE ANTEQUERA
26.5	SIERRA DE LAS CABRAS-CAMAROS-SAN JORGE
26.6	SIERRA DE GIBALTO
26.7	SIERRA GORDA Y POLJE DE ZAFARRAYA
26.8	SIERRA DEL HACHO DE LOJA
26.9	SIERRA DEL PEDROSO
26.10	SIERRA DE ARCAS
26.11	SIERRA DE ARCHIDONA
26.12	LLANOS DE ANTEQUERA
26.13	SIERRA DEL HUMILLADERO
26.14	SIERRA DE MOLLINA
26.15	SIERRA DE LOS CABALLOS
26.16	RESUMEN Y CONCLUSIONES

Cuadro 1.1. Estructuración del Proyecto. Informes monográficos realizados.

1.3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE INFORMES MONOGRÁFICOS

Los informes monográficos referidos para cada uno de los sectores diferenciados están estructurados en los siguientes apartados, cuya descripción general y metodología se desarrollan brevemente en los siguientes epígrafes.

1.3.1.1. INTRODUCCIÓN

Para cada uno de los sectores diferenciados se lleva a cabo una breve introducción en la que se describe la situación general, las formaciones acuíferas que lo componen, tipología de los acuíferos, los impermeables que lo delimitan, las recargas y descargas del sector, las demandas asociadas, los municipios implicados y los núcleos que se abastecen a partir de los recursos del sector de que se trate.

1.3.1.2. ESTUDIO HIDROCLIMÁTICO

Con objeto de caracterizar hidroclimáticamente cada uno de los sectores, a efectos de evaluar los volúmenes de recarga asociados por infiltración directa del agua de lluvia, se realiza un estudio hidroclimático independizado, para cada una de los sectores, con objeto



de optimizar los volúmenes hídricos de lluvia útil que entran a formar parte de la variable recarga, realizando, de forma consecutiva, las siguientes actividades:

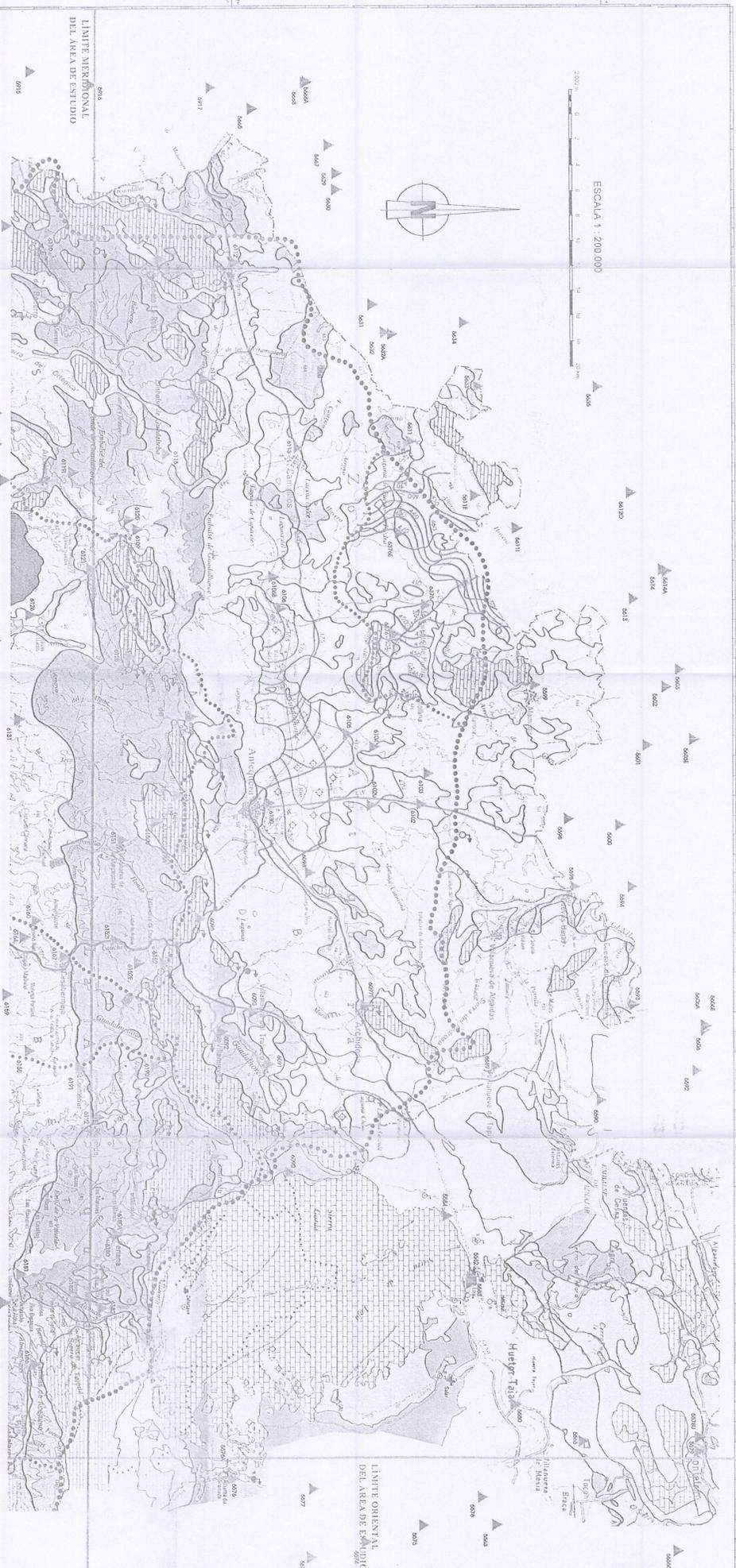
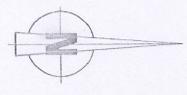
- Selección de las estaciones pluviométricas y termométricas a utilizar de forma independiente para cada uno de los sectores diferenciados. En el plano adjunto se presentan las estaciones completas, pluviométricas o termoplumiométricas utilizadas en el área de estudio.
- Restitución y completado de las series de datos pluviométricos y termométricos correspondientes a las estaciones seleccionadas. Contrastes de dobles acumulaciones para determinar la fiabilidad de los datos.
- Análisis de los datos pluviométricos, considerando años tipo (medio, húmedo y seco). Ajustes de Goodrich de las series.
- Cálculo de la evapotranspiración potencial mediante el método de Thomthwaite. Cálculo de la evapotranspiración del cultivo de referencia (Eto) utilizando los métodos de cálculo de Penman modificado, Blaney - Criddle modificado y radiación.
- Cálculo de la evapotranspiración real y lluvia útil mediante el método del balance de agua en el suelo y mediante los métodos de Turc y Coutagne.
- Contraste de los diferentes métodos y establecimiento de los valores de lluvia útil.
- Cálculo de los volúmenes correspondientes a precipitación y lluvia útil relacionados de forma exclusiva con el sector estudiado.

Mediante el planimetrado de las superficies aflorantes de materiales permeables y una vez obtenidos los valores de precipitación y lluvia útil correspondientes a cada año tipo (medio, húmedo y seco) para una serie mínima de 40 años, se obtienen los volúmenes hídricos de lluvia útil relacionados para cada uno de los sectores objeto de estudio

Del análisis y comparación de estos datos, en términos generales, y a falta del contraste de los mismos con los datos hidrológicos y foronómicos, se puede considerar que el balance hídrico para una capacidad de campo de 10 mm es el que mejor se ajusta al previsible comportamiento hidrológico de los materiales carbonatados permeables existentes en el área de estudio.

Para los materiales detríticos se estima que el balance hídrico aumenta ligeramente su capacidad de campo al retener en mayor grado el volumen de precipitación, considerándose los balances hídricos con capacidad de campo de 25 ó 50 mm los más adecuados al tratarse de materiales con permeabilidad alta, media o media-baja, correspondientes a

ESCALA 1 : 200.000



LÍMITE MERIDIONAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

LÍMITE ORIENTAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

LEYENDA

LITOLOGÍA	
[Symbol]	Conglomerados grava, arena, arcillas (aluviales, coluviales, pie de monte y plana)
[Symbol]	Arenas, arenas calizas, conglomerados (localmente margas)
[Symbol]	Calizas
[Symbol]	Arenas, margas "unidad del Aljibe"
[Symbol]	Margas arcillas, levas "Yacht"
[Symbol]	Margas, margocalizas, levas "capas rojas"
[Symbol]	Margocalizas, calizas con sílex
[Symbol]	Calizas dolomitas
[Symbol]	Arcillas esbostradas con espongias, oñas, carmolos y dolomas
[Symbol]	Calizas, dolomas y brechas parcialmente mesomorfolizadas (Unidad de las Nieves)
[Symbol]	Mármol, calizas y dolomas (Alquadrines)
[Symbol]	Mesomorfo, onías, pozos, Nieve (localmente calizas y arenas) Alpujarras-Málaga
[Symbol]	Panderosas

EDAD	
[Symbol]	CUATERNARIO
[Symbol]	MIOCENO-PLEISTOCENO
[Symbol]	MIOCENO
[Symbol]	MIOCENO
[Symbol]	CRETÁCICO-MIOCENO
[Symbol]	CRETÁCICO
[Symbol]	JURÁSICO SUPERIOR
[Symbol]	JURÁSICO INTERIOR MEDIO
[Symbol]	JURÁSICO
[Symbol]	TRIASICO-JURÁSICO
[Symbol]	TRIASICO
[Symbol]	PERICARIBICO-TRIASICO

COMPORTAMIENTO HIDROGEOLOGICO

[Symbol]	Permeabilidad media alta
[Symbol]	Permeabilidad media-baja
[Symbol]	Permeabilidad alta
[Symbol]	Permeabilidad baja
[Symbol]	Impereables
[Symbol]	Impereables
[Symbol]	Permeabilidad media-baja
[Symbol]	Permeabilidad alta
[Symbol]	Impereables (localmente permeables por fracturación)
[Symbol]	Permeabilidad alta
[Symbol]	Permeabilidad alta
[Symbol]	Impereables (localmente permeabilidad secundaria)
[Symbol]	Permeabilidad baja

SIMBOLOGIA

[Symbol]	Manantial significativo
[Symbol]	Agrijación de manantiales
[Symbol]	Manantial de carácter termal-amenal
[Symbol]	Servicio
[Symbol]	Agrijación de servidos
[Symbol]	Agrijación de pozos
[Symbol]	Estación hidrogeológica
[Symbol]	Límite de la Cuenca hidrográfica del Sur
[Symbol]	Divisorio antitropical de 2º orden
[Symbol]	Línea isocotante con indicación de cota en metros (1500)
[Symbol]	Contacto entre formaciones
[Symbol]	Estación pluviométrica
[Symbol]	Estación termométrica

ESTUDIO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LAS COMARCAS SEPTENTRIONAL Y OCCIDENTAL DE LAS PROVINCIAS DE MÁLAGA Y GRANADA

MAPA DE SÍNTEISIS HIDROGEOLOGICA

SITUACIÓN DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS



depósitos cuaternarios (depósitos de gravedad, aluviales, etc) o formaciones detríticas permeables del Terciario.

1.3.1.3. ESTUDIO DE USOS Y DEMANDAS

Se elabora un estudio de los usos y demandas de agua subterránea en cada una de los sectores objeto de estudio. Este estudio se ha realizado para cada uno de los municipios implicados en cada uno de los sectores diferenciados, identificando los dispositivos de abastecimiento en los núcleos existentes que se nutren a partir de los recursos del sector. En el cuadro adjunto se presentan los municipios objeto de análisis en el área de estudio, así como el incremento relativo de población con respecto al año 1.996.

Municipio	Población 1996	Población 1998	Incremento relativo (%)
Alameda	4.960	4.961	0,02
Almargen	2.146	2.145	-0,05
Antequera	40.181	40.239	0,14
Archidona	8.246	8.168	-0,95
Campillos	7.737	7.638	-1,28
Cañete la Real	2.247	2.233	-0,62
Casabermeja	3.034	2.982	-1,71
Colmenar	3.138	3.149	0,35
Cuevas Bajas	1.516	1.501	-0,99
Cuevas de San Marcos	4.079	4.073	-0,15
Fuente de Piedra	2.059	2.065	0,29
Humilladero	2.514	2.564	1,99
Loja (*)	20.032	20.143	0,55
Mollina	3.276	3.359	2,53
Periana	3.466	3.417	-1,41
Salar(*)	2.753	2.783	1,09
Sierra de Yeguas	3.203	3.175	-0,87
Teba	4.386	4.371	-0,34
Villanueva de Algaidas	4.175	4.143	-0,77
Villanueva de Tapia	1.642	1.613	-1,77
Villanueva del Rosario	3.270	3.326	1,71
Villanueva del Trabuco	4.674	4.697	0,49
Zafarraya(*)	2.227	2.213	-0,63

(*) Provincia de Granada

FUENTES:

Padrón Municipal de Habitantes a 1-5-1996. INE

Revisión del Padrón Municipal de Habitantes a 1-1-1998. INE

Cuadro 1.2. Municipios implicados en el área de estudio.



Además, también se incluyen una serie de municipios no implicados en el área de estudio pero que se abastecen a partir de los recursos de alguno de los sectores objeto de estudio. Son municipios generalmente limítrofes con el área. En estos casos se efectúa un análisis de la demanda actual a partir de los datos de consumo en origen (captación ubicada dentro del sector).

En primer término se efectúa una descripción general del municipio incluyendo los aspectos socioeconómicos del mismo. Posteriormente se analizan todas las fuentes de abastecimiento de cada uno de núcleos que captan recursos del sector.

Se realiza una estimación de la demanda actual, sobre la base de los datos aportados por los ayuntamientos en las encuestas municipales realizadas (volúmenes de consumo en origen, volúmenes de facturación del año 1.999 o anteriores, estimaciones de pérdidas en las redes de conducción y distribución, volúmenes no facturados, etc.). En el caso de contar con la información relativa al consumo estacional, en general, para el consumo diario, se toman los datos del bimestre enero-febrero como demanda de invierno y los datos del bimestre julio-agosto como demanda de verano. También se elabora un cálculo de la demanda anual teórica en función de las Normas de Coordinación de la Junta de Andalucía para el año 1.999 y de los consumos estacionales según la misma Norma.

Para efectuar la estimación de la demanda agraria exclusivamente a partir de los recursos del sector, se visitan los puntos de captación para uso agrícola dentro de los límites del material acuífero aflorante o en el entorno más próximo (que capten recursos directa o indirectamente del sector).

Para calcular la cifra de consumo se utilizan diferentes métodos: aforo con la instalación de bombeo, recibos de energía consumida, encuestas sobre superficie de riego atendido, tipos de cultivo y dotaciones, número de riegos aplicados en función del dispositivo de riego, etc., tratando en todos los casos de aplicar más de un método para obtener el dato con suficiente fiabilidad.

En general, en el área de estudio, no existen explotaciones de suficiente importancia como para ser consideradas en el balance las demandas con destino a usos ganaderos, con excepción de las explotaciones existentes en el extremo oriental del área (Sierra de Cañete fundamentalmente y Sierra de Teba en menor grado), donde las granjas de ganado porcino adquieren suficiente importancia como para ser consideradas dentro del balance. Para efectuar en cálculo del volumen demandado para usos ganaderos se parte del número de cabezas de porcino existentes, facilitado por el propietario. La dotación aplicada para cada cabeza según la misma fuente es de 10 l/día.



Para la demanda industrial, en los casos que ésta es significativa, se obtienen los datos de facturación del volumen consumido en los polígonos o industrias de que se trate. En los casos en que la demanda industrial no es importante dentro de un municipio, ésta se integra dentro de la urbana (pequeñas actividades industriales conectadas a la red urbana).

Seguidamente se elabora un diagnóstico del grado de satisfacción de la demanda actualmente existente en cada uno de los municipios objeto de análisis.

A continuación, se lleva a cabo una prognosis de demanda futura por municipios, basada en las Normas de Coordinación de la Junta de Andalucía (horizonte 2010) y en las previsiones del Plan Hidrológico de la Cuenca Sur (horizontes 2002 y 2012). Se estima el incremento de la demanda en el escenario de mayor consumo y se efectúa el cálculo de caudal continuo necesario para satisfacer dicha demanda.

Por último se realiza una descripción de las posibilidades de satisfacer con garantía la demanda futura previsible y se analizan, en caso deficitario, las posibles alternativas existentes para conseguir los objetivos de demanda propuestos.

Para la realización del cálculo de la demanda actual, de forma previa, se realiza un estudio poblacional, basado en las Normas de Coordinación de la Junta de Andalucía para los municipios pertenecientes a la provincia de Málaga. La Secretaría General de Aguas de la Consejería de Obras Públicas y Transportes de la Junta de Andalucía, dentro del Programa Andaluz de lucha contra la sequía, propone una serie de normas, a efectos de efectuar el cálculo de población para el año 1999.

La proyección de población que se ha establecido para los municipios de la provincia de Granada se extrae del avance de resultados del documento "Proyección de la población de Andalucía 1.998-2.051" (a publicar próximamente por el Instituto de Estadística de Andalucía I.E.A.), es provincial y no por municipios.

1.3.1.3.1. Cálculo poblacional

A continuación se desarrolla la metodología a aplicar en los municipios de la provincia de Málaga, basada en las Normas de Coordinación de la Junta de Andalucía para evaluar el cálculo poblacional para 1.999 y las proyecciones para los años 2.002, 2010 y 2.012. Posteriormente se desarrolla la metodología aplicada para el cálculo poblacional en los municipios de la provincia de Granada.



Cálculo poblacional para los municipios de la provincia de Málaga

En los municipios de la provincia de Málaga se han obtenido del INE los datos necesarios para llevar a cabo el siguiente cálculo poblacional, núcleo por núcleo y dentro de cada municipio, con objeto de optimizar la población abastecida a partir de aguas subterráneas pertenecientes a un determinado sector.

A. Población permanente

I. Para cada núcleo de población se tienen en cuenta las tasas anuales de variación de la población de hecho correspondientes a los quinquenios:

t₁: 96/91

t₂: 91/86

t₃: 86/81

La tasa adoptada para proyectar la población de cada núcleo a 2010 será en principio:

$$t = \frac{2t_1 + t_2 + t_3}{4}$$

Si t es negativa, se adoptará como población en 2010 el valor del censo de 1998.

II. Población actual.

En cada núcleo de población se adoptará como población actual, por orden de preferencia:

- La población suministrada por el ayuntamiento como actualizada para 1999 ó 2000.
- El censo de 1998.

B. Población estacional

La población estacional es el conjunto de la que ocupa las plazas existentes en:

ET: número de plazas en establecimientos turísticos de todo tipo: hoteles, apartamentos y acampadas.



VS: número de viviendas de segunda residencia.

VD: número de viviendas desocupadas.

El tratamiento seguido será el siguiente:

I. Estadística disponible.

La estadística disponible es municipal, por lo que las evaluaciones municipales deben desagregarse en evaluaciones por núcleos de acuerdo con la información existente en cada caso:

- Para las plazas ET, las últimas estadísticas disponibles son normalmente las de 1990 y 1996.
- Para las plazas VS y VD, las últimas disponibles normalmente son las de 1981 y 1991.

II. Cálculo de la población estacional actual.

La población estacional de cada municipio y de sus núcleos de población (i) se estimará con la siguiente expresión:

$$P = \sum E_i + 4 \sum VS_i + 4 \sum c_i VD_i$$

En donde c = 0,8 núcleos altamente turísticos
0,5 núcleos moderadamente turísticos
0,2 núcleos restantes

Esta exposición implica por tanto que, precisamente, deben haberse desagregado por núcleos las magnitudes ET, VS y VD de cada municipio, y con ello podrá obtenerse la población estacional P_i de cada núcleo.

Para el cálculo de la población actual se adoptará:

- La estadística 1996 para el valor municipal ET.
- La estadística 1991 para los valores municipales VS y VD.

III. Proyecciones.

Se proyectarán las magnitudes estacionales para 2.002, 2.010 y 2.012 mediante:



- La magnitud municipal ET a partir de 1996 y la tasa anual del período 96/90.
- Las magnitudes municipales VS y VD a partir de 1.991 y las tasas anuales respectivas del período 91/81.
- Si alguna tasa es negativa, se adoptará como magnitud para 2.002, 2.010 y 2.012 el valor correspondiente a 1.991 ó 1.996.

La población estacional de cada municipio y de sus núcleos de población se estimará con la misma expresión anterior, después de que previamente se hallan desagregado los valores municipales ET, VS y VD de 2.002, 2.010 y 2.012 en los valores correspondientes a los núcleos de población.

C. Población total equivalente

La población total equivalente de cada núcleo – actual y en 2010 – será:

$$\text{Población total equivalente} = \text{población permanente} + \left(\text{población estacional equivalente} = \frac{\text{población estacional}}{c} \right)$$

En donde c = 3,0 núcleos altamente turísticos
3,5 núcleos moderadamente turísticos
4,0 núcleos restantes

Cálculo poblacional para los municipios de la provincia de Granada

Para los municipios de la provincia de Granada que se abastecen a partir de recursos hídricos subterráneos del área de estudio (Loja, Salar y Zafarraya), no han podido obtenerse los datos necesarios núcleo por núcleo para aplicar la metodología propuesta en el epígrafe anterior. No obstante, para la población actual (correspondiente a 1.999) se parte del censo de población de 1.998.

La proyección de población que se ha establecido para los municipios de la provincia de Granada se extrae del avance de resultados del documento "Proyección de la población de Andalucía 1.998-2.051" (a publicar próximamente por el Instituto de Estadística de Andalucía I.E.A.), es provincial y no por municipios.

En dicho documento se establece, por provincias, una proyección por sexo presentando año por año un avance referido al escenario medio "II. Efectivos totales de la población de las provincias andaluzas por sexo, en el escenario medio de proyección (año 2016)", dando para la provincia de Granada un incremento de 1.1% con respecto a la población de 1998



para el 1^{er} escenario (2.002). Incrementándose para el segundo escenario previsto (año 2.010) en un 4%, y para el tercer escenario previsto (año 2.012) en un 4.8%.

1.3.1.3.2. Cálculo de dotaciones y demandas

Para el cálculo demandas se aplicarán las dotaciones establecidas en el Plan Hidrológico de la Cuenca Sur para los años actual, 2.002 y 2.012. Para el año 2.010 se aplicaran las dotaciones establecidas en las Normas de Coordinación de la Junta de Andalucía

La Orden Ministerial de 6 de septiembre de 1999 (BOE de 17 de septiembre de 1.999) por la que se dispone la publicación de las determinaciones de contenido normativo del Plan Hidrológico de Cuenca del Sur, aprobado por el Real Decreto 1664/1998, de 24 de julio, en referencia al Capítulo II (*De los usos y demandas*) del Anexo, indica que las dotaciones para usos urbanos incluirán las necesarias para los usos domésticos, los usos públicos y las industrias de poco consumo de agua situados en los núcleos de población y conectadas a la red municipal.

Un objetivo del plan es conseguir que las dotaciones reales para abastecimiento se sitúen dentro de los intervalos siguientes, siendo el valor concreto en cada caso función de la actividad industrial y comercial de la población (cuadros 1.3 y 1.4):

a) Población permanente

Población habitantes	Litros/hab./día	
	1 ^{er} horizonte (año 2002)	2 ^o horizonte (año 2012)
Menor de 10.000.....	210-270	220-280
De 10.000 a 50.000.....	240-300	250-310
De 50.000 a 250.000.....	280-350	300-360
Mayor de 250.000.....	330-410	350-410

Cuadro 1.3. Dotaciones de abastecimiento. Diferentes escenarios. Población permanente.

b) Población estacional: Las dotaciones máximas, en este caso son:

Establecimiento	Dotación (litros/plaza/día)
Camping.....	120
Hotel.....	240
Apartamento.....	150
Chalé.....	350

Cuadro 1.4. Dotación de abastecimiento. Población estacional. Diferentes escenarios



Sólo en casos concretos, debidamente justificados con estudios específicos, se podrán establecer dotaciones superiores a las expresadas.

Dentro de cada uno de los intervalos fijados se pueden establecer ciertos rangos de actividad comercial en función de lo reflejado en el anejo nº 1 de la Orden Ministerial de 24 de septiembre de 1.992 (BOE de 16 de octubre de 1.992), por la que se aprueban las instrucciones y recomendaciones técnicas complementarias para la elaboración de los Planes Hidrológicos de cuencas intercomunitarias, salvo justificación especial en contrario las dotaciones máximas admisibles de abastecimiento urbano, incluidas las necesidades industriales integradas en la red, no rebasarán los siguientes valores por habitante y día, referidos al recurso en su punto de captación. Si bien las dotaciones calculadas pueden ser modificadas por justificación técnica adecuada, los valores máximos que aquí se establecen tienen como finalidad fijar las dotaciones según las necesidades reales y fomentar el uso racional del recurso. Las dotaciones que se indican (Cuadro 1.5) incluyen las pérdidas en conducciones, depósitos y distribución. Se refieren, por tanto, a volúmenes suministrados.

Horizonte: Población abastecida por el sistema (Municipio, área metropolitana, etc.)	año 2002 (litros/hab./día)			año 2012 (litros/hab./día)		
	Actividad Industrial Comercial			Actividad Industrial Comercial		
	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja
Menor de 10.000.....	270	240	210	280	250	220
De 10.000 a 50.000.....	300	270	240	310	280	250
De 50.000 a 250.000.....	350	310	280	360	330	300
Mayor de 250.000.....	410	370	330	410	380	350

Cuadro 1.5. Dotación de abastecimiento en función de la actividad industrial o comercial.

Por otra parte la Secretaría General de Aguas de la Consejería de Obras Públicas y Transportes de la Junta de Andalucía, dentro del Programa Andaluz de lucha contra la sequía, propone una serie de normas, a efectos de efectuar la prognosis de demanda para el horizonte 2010. Estas normas, a nuestro juicio, tienen mejor aplicación en los municipios implicados en el área de estudio, ya que proponen un método de cálculo poblacional específico, más lógico de aplicar a los núcleos objeto de análisis. A continuación se presenta el procedimiento que se ha tenido en cuenta para efectuar la evaluación demográfica.

A efectos de cálculo de demandas y, en su caso, del consumo actual, se establecen las siguientes dotaciones tipo y criterios generales de evaluación de demanda.

En todos los casos, las dotaciones - demandas o consumos - corresponden a los volúmenes de recursos captados en origen, también denominados volúmenes suministrados.



Se aplicarán las siguientes dotaciones tipo a la población permanente, estacional equivalente y total de cada núcleo (cuadro 1.6).

Habitantes totales equivalentes de los núcleos de población	l/hab./día en la situación actual			l/ hab./ día en 2010		
	Actividad Industrial / Comercial			Actividad Industrial / Comercial		
	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja
Hasta 1.000		200			225	
1.001 / 5.000		200			225	
5.001 / 15.000	250	225	200	275	250	225
15.001 / 50.000	290	260	230	320	290	260
50.001 / 250.000	310	290	260	340	310	290
> 250.000	340	310	290	370	340	310

Cuadro 1.6. Dotaciones de abastecimiento. Diferentes escenarios. Junta de Andalucía.

La calificación de cada núcleo respecto a su actividad industrial/comercial se adoptará de acuerdo con la información obtenida en la encuesta municipal.

1. Industrias singulares conectadas a la red urbana.

Se adoptará como demanda actual el consumo que en su caso se obtenga como información de la encuesta.

Alternativamente en el caso, en los polígonos industriales se adoptará como demanda:

- 4.000 m³/ha en la situación actual
- 4.500 m³/ha en 2010

2. Demandas agrarias asociadas a la actividad rural y conectadas a la red urbana.

Sólo se considerarán explícitamente cuando haya fundamento suficiente de su existencia.

Se adoptará como demanda actual el consumo que en su caso se obtenga como información de la encuesta sobre (1) instalaciones ganaderas o (2) huertas, conectadas a la red urbana.

Alternativamente, se adoptará como bases para el cálculo de la demanda actual y de 2010:

- 1 habitante equivalente por cada 10 cabezas de ganado.
- 6.000 m³/ha para las huertas.



Estacionalidad de consumos y demandas

- I. La estacionalidad de consumos y demandas es un concepto necesario para el dimensionamiento de las infraestructuras.
- II. Está originado por el doble efecto de:
 - La población estacional.
 - El mayor consumo per cápita en verano que en invierno.
- III. Se define como la relación entre (1) el consumo o demanda mensual máxima y (2) el consumo o demanda mensual medio.
- IV. Cuando no se conozca directa o indirectamente a través de la encuesta, se obtendrá de la siguiente forma:
 - Se calcula el consumo o demanda del mes máximo estacional considerando una población:

Población total = población permanente + población estacional.
 - Al consumo o demanda anterior se le aplica un coeficiente 1,25 para tener en cuenta el mayor uso per cápita.
 - El consumo o demanda así obtenido se divide por el consumo o demanda mensual medio.

Consumo actual

La base de evaluación del consumo actual por núcleos es la información obtenida - para 1998 ó 1999 -, la cual será variable de unos núcleos a otros.

- I. Núcleos con información completa.

Son los núcleos en que la encuesta ha proporcionado:

- Volumen captado en origen o suministrado.
- Volumen registrado o facturado.



Se entenderá que el concepto de consumo corresponde al volumen captado.

En el caso de únicamente conocer el volumen registrado o facturado se realiza un incremento para la evaluación del volumen no facturado en función de la información aportada por el encargado municipal del Ayuntamiento que corresponda.

II. Núcleos sin ninguna información.

Se utilizará el procedimiento para el cálculo de la demanda actual.

Demanda actual

La demanda actual en cada núcleo de población es la suma de los siguientes componentes.

I. Demandas de la población permanente y población estacional equivalente.

- La demanda de la población permanente es la resultante de aplicar las dotaciones tipo actuales a la población permanente actual.
- La demanda de la población estacional es la resultante de aplicar las dotaciones tipo actuales a la población estacional equivalente actual.
- A los efectos anteriores, el rango de población del núcleo para el que ha de adoptarse la dotación tipo es el correspondiente a la población total equivalente actual.

II. Demanda industrial singular conectada a la red urbana.

La demanda actual se evaluará como se indica en 1).

III. Demandas agrarias asociadas a la actividad rural y conectadas a la red urbana.

Se evaluarán asimismo como se indica en 2.

Demandas de 2.002, 2.010 y 2.012

Se calcularán la demanda teórica normalizada para los años 2.002, 2.010 y 2.010 en cada núcleo:



Se utilizarán las proyecciones para los años 2.002, 2.010 y 2.012 de la población permanente y población estacional equivalente tal y como se han evaluado en el apartado correspondiente.

Se calculará en todos los núcleos de la forma siguiente.

I. Demandas de la población permanente y población estacional equivalente.

- La demanda de la población permanente es la resultante de aplicar las dotaciones tipo de 2.002, 2.010 o 2.012 a la población permanente correspondiente.
- La demanda de la población estacional es la resultante de aplicar las dotaciones tipo de 2.002, 2.010 o 2.012 a la población estacional equivalente correspondiente.
- A los efectos anteriores, el rango de población del núcleo para el que ha de adoptarse la dotación tipo es el correspondiente a la población total equivalente de 2.002, 2.010 o 2.012.

II. Demanda industrial singular conectada a la red urbana.

En los casos en que se conozca el consumo industrial actual, la demanda de 2.002, 2.010 o 2.012 será el resultado de aplicar una tasa anual del 1% al consumo actual.

III. Demandas agrarias asociadas a la actividad rural y conectadas a la red urbana.

En los casos en que se conoce el consumo actual, la demanda de 2.002, 2.010 o 2.012 será igual al consumo actual.

Alternativamente se adoptará para 2010:

- 6.000 m³/ha aplicada a la superficie actual de huerta.
- 1 habitante equivalente por cada 10 cabezas de ganado, aplicado a la cabaña actual.



1.3.1.4. GEOLOGÍA

Se ha llevado a cabo una revisión estratigráfica efectuada sobre las cartografías geológicas previas (Cartografía geológica del Plan Magna a escala 1: 50.000). Las modificaciones principales, de carácter general, se desglosan en los siguientes puntos:

- Establecimiento de límites cartográficos con significado secuencial y litológico de cara a diferenciar formaciones hidrogeológicas con funcionamiento hidrogeológico y características hidrogeológicas similares. Se basará en criterios modernos de análisis de facies y estratigrafía secuencial y se describirá el tipo y rango de los límites establecidos.
- Estudio comparativo y equivalencias de las unidades cartográficas con las formaciones estratigráficas definidas en las bases documentales (diferenciación de las formaciones actualmente consideradas).
- Caracterización sedimentológica de las unidades cartográficas diferenciadas.
- Establecimiento de las principales estructuras y su relación con los fenómenos sedimentarios. Consideración detallada de buzamientos.
- Determinación de los lineamientos y su significado paleogeográfico y tectónico.

En la actualización se diferencian, con la mayor precisión posible, los materiales cuaternarios aflorantes, incluyendo asimismo los rasgos geomorfológicos más significativos, representados en el mapa correspondiente.

Las consideraciones geológicas e hidrogeológicas, así como la cartografía hidrogeológica realizada en este Proyecto, como se ha comentado con anterioridad está basada en las Hojas Magna a escala 1:50.000 que comprenden a cada uno de los sectores diferenciados objeto de estudio, retocadas con criterios geológicos actuales y mediante campañas de campo de contraste, que han permitido establecer otras teorías tanto geológicas como hidrogeológicas.

La delimitación de los sectores, esta basada en los criterios geológicos e hidrogeológicos definidos anteriormente, que ha permitido ajustar sus límites y definir nuevas pautas de comportamiento hidrogeológico.



1.3.1.5. HIDROGEOLOGÍA

En primer término se ha efectuado en cada uno de los sectores una cartografía hidrogeológica con objeto de delimitar en planta la superficie aflorante de los materiales permeables que conforman cada sector.

Los datos integrados en la cartografía hidrogeológica proceden fundamentalmente de dos fuentes:

- Datos geológicos, geomorfológicos y estructurales, tanto de estudios anteriores como generados en el propio Proyecto
- Datos procedentes del inventario de puntos de agua, de los trabajos de hidrogeología llevados a cabo en el área de estudio con anterioridad, datos generados en la realización del Proyecto.

Los datos más significativos desde el punto de vista hidrogeológico se han integrado en el mapa hidrogeológico para facilitar su visualización y comprensión y los aspectos más relevantes de las aguas subterráneas en cada sector objeto de estudio.

Para la elaboración de los mapas se ha partido de las cartografías geológicas y litológico estructurales generadas en el Proyecto, analizándose su leyenda para asignar un cierto grado y tipo de permeabilidad a cada uno de los elementos (porosidad intergranular, fracturas, disoluciones, etc.), materiales y formaciones en ella diferenciados.

Se ha mantenido el mismo grado de detalle que en la cartografía geológica; no obstante, cuando se ha considerado necesario, se han agrupado aquellas unidades cartográficas adyacentes que, debido a su similitud de características hidrogeológicas presentan un mismo comportamiento hidrodinámico.

En las formaciones hidrogeológicas diferenciadas se establecen cuatro rangos de permeabilidad separando claramente las permeabilidades altas, medias, bajas y las muy bajas: se consideran permeabilidades "altas" las que como media comprenden valores superiores a 10^{-4} m/s; "medias" con valores entre 10^{-4} m/s y 10^{-6} m/s; "bajas" con valores entre 10^{-6} m/s y 10^{-8} m/s y las "muy bajas" con valores medios menores de 10^{-8} m/s las inferiores a 10^{-8} m/s. Entre estos intervalos se han establecido los rangos de permeabilidad para cada uno de los elementos y unidades cartográficas de cada Unidad. El establecimiento de los intervalos se ha apoyado en la información aportada por el inventario de puntos de agua, teniendo en cuenta no sólo los datos de los ensayos hidráulicos, sino valorando además el conjunto de la información recopilada y generada (caudales, densidad de puntos, oscilaciones piezométricas, posición geológica, etc.).



La cartografía hidrogeológica es una síntesis de los conocimientos y datos hidrogeológicos de cada uno de los sectores. Así se ha reflejado en la cartografía: las formaciones en función del rango de permeabilidad asociado, los puntos de agua del inventario, los puntos de las redes del ITGE establecidas (hidrométrica, piezométrica y calidad), las zonas preferentes del flujo subterráneo y/o los principales sentidos de flujo.

La interpretación de la cartografía hidrogeológica se ha apoyado con perfiles hidrogeológicos (cortes) en los que se ha reflejado: las relaciones de las distintas unidades cartográficas diferenciadas entre sí, los principales puntos de agua, las zonas de recarga y descarga, etc.

Para la preparación de los perfiles hidrogeológicos se ha partido, siempre que ha sido posible, de los correspondientes cortes geológicos (litológico-estructurales). Así mismo, en ellos se ha integrado toda la información recopilada de los estudios de subsuelo.

Se ha mantenido la escala de representación adoptada para la cartografía geológica (1:50.000 o 1:25.000), siendo los límites coincidentes con dicha cartografía.

Contenido temático de la cartografía hidrogeológica

- La base del mapa corresponde a la cartografía geológica del Proyecto. Para hacer más legible el mapa han eliminado aquellos elementos geológicos prescindibles para su comprensión (algunos buzamientos, fracturas hidrogeológicamente no significativas, etc.).
- Cartografía hidrogeológica según permeabilidades, basada en la cartografía geológica, estructural y geomorfológica del Proyecto. Se han eliminado los diferentes tipos de contactos entre las formaciones geológicas diferenciadas, sustituyéndolos por un único símbolo de contacto entre unidades cartográficas hidrogeológicas.
- Puntos de agua del inventario, diferenciando los pertenecientes a las redes de control.
- Zonas húmedas.
- Divisorias hidrográficas.
- Las direcciones y sentidos preferentes de los flujos de aguas subterráneas.
- Indicación de la posición y los cambios de dirección de los cortes hidrogeológicos representados en el panel de cortes



Para las representaciones cartográficas y digitalizaciones serán de aplicación las Normas que el ITGE tiene establecidas a este respecto.

Contenido temático del panel de cortes hidrogeológicos.

- Características hidrogeológicas del corte, de acuerdo con el mapa hidrogeológico
- Relaciones entre las aguas subterráneas y superficiales (cursos superficiales e infraestructuras hidráulicas).

La escala horizontal ha sido la del mapa hidrogeológico correspondiente; la vertical se ampliará de manera que permita la visualización de los niveles piezométricos y el funcionamiento hidrogeológico.

Memoria de la cartografía hidrogeológica

En la memoria de la cartografía hidrogeológica se describe la metodología seguida para, a partir de la cartografía geológica, obtener la hidrogeológica mediante asignación de permeabilidades a las diferentes formaciones presentes en la zona de estudio.

Se lleva a cabo una descripción de las unidades cartográficas hidrogeológicas. Para cada una de las formaciones permeables diferenciadas en los mapas hidrogeológicos del Proyecto, se describirán sus características con especial detalle en lo que se refiere a litología, geometría y parámetros hidrogeológicos.

Se establecen los límites y geometría de cada una de las formaciones acuíferas diferenciadas en la cartografía hidrogeológica y la relación existente con otras formaciones acuíferas o impermeables (de muy baja permeabilidad).

A partir de los cortes hidrogeológicos realizados se describe el funcionamiento hidrogeológico de cada una de las formaciones acuíferas representadas en la cartografía hidrogeológica para cada uno de los acuíferos objeto de estudio.

1.3.1.6. HIDROMETRÍA

En los sectores objeto de estudio se ha completado el estudio hidrológico llevando a cabo el análisis de la red de hidrometría del ITGE establecida para cada sector en el área de estudio. Este análisis resulta extremadamente útil para la cuantificación de las descargas y la evaluación del balance hidrogeológico.



Además, se han aprovechado los datos de las estaciones de aforos existentes en la zona de estudio y se han propuesto los puntos de observación más adecuados para el correcto control de caudales.

A continuación se exponen algunos de los objetivos perseguidos en el tratamiento de la información aportada por la red hidrométrica.

- Contribuir a definir las condiciones en los límites de los sectores o unidades hidrogeológicas diferenciadas.
- En ocasiones, es interesante el cálculo del caudal medio plurianual de las surgencias de los acuíferos de un período largo (mínimo de 5 o 10 años) en una cuenca o subcuenca dada, ya que equivale a la alimentación del acuífero.
- Las series de medidas más cortas pueden utilizarse provisionalmente en el mismo sentido que las series plurianuales, si se dispone de piezómetros que permitan calcular la importancia y el sentido de las variaciones de las reservas.
- La posibilidad de correlacionar los caudales con los niveles piezométricos permite, en principio, hacer previsiones del caudal de estiaje a corto plazo.
- Disponer de una serie plurianual suficientemente larga de los caudales de estiaje, permite calcular las frecuencias de los diferentes caudales y basar sobre el caudal de estiaje más probable la posibilidad de reforzar estos estiajes con explotación de las reservas. Este es el caso más corriente de regulación de manantiales mediante captaciones próximas.

El conjunto de la información hidrológica generada en esta fase se ha integrado en las series históricas de datos climático-hidrológicos, con objeto de observar la relación de las series de hidrometría disponibles con la precipitación de cada sector, presentándose en ficheros adecuados.

1.3.1.7. PIEZOMETRÍA

En los sectores objeto de estudio el estudio hidrogeológico se ha completado llevando a cabo el análisis de la red de piezometría actualmente establecida por el ITGE para cada uno de los sectores en el área de estudio. Este análisis resulta fundamental para conocer el estado de las formaciones acuíferas en cada sector diferenciado, a efectos de conocer los recursos disponibles, el grado de explotación y la respuesta a las oscilaciones climáticas.



Con las medidas obtenidas de las profundidades del nivel de agua de cada punto de control perteneciente a la red y la cota topográfica del mismo, se ha obtenido la cota del nivel del agua, a partir de la cual se han elaborado los gráficos de evolución de nivel piezométrica en los puntos de la red.

Este tratamiento se ha realizado por métodos informáticos mediante la utilización de hojas de cálculo y programas de diseño gráfico. Se han elaborado los gráficos de evolución de los puntos de la red estableciendo la línea de tendencia, de acuerdo con una regresión lineal cuya ecuación y coeficiente de regresión se presenta en cada uno de los gráficos, con objeto de reflejar la evolución piezométrica de cada una de las zonas acuíferas. En dichos puntos las medidas son representativas de los niveles estáticos del acuífero, en el caso de tratarse de niveles dinámicos se identifica el punto y el periodo correspondiente, no formando parte dicho periodo de la tendencia lineal calculada. Se comprueba la correspondencia óptima entre los niveles acuíferos investigados y los niveles observados.

1.3.1.8. HIDROQUÍMICA

A lo largo del estudio se han tomado muestras de agua con objeto de actualizar la información hidroquímica y cubrir lagunas de información en zonas donde presumiblemente la calidad sea deficiente.

En una primera fase se ha realizado una extensa campaña "flash" de medición de parámetros "in situ" (conductividad, pH, temperatura y oxígeno disuelto), en la cual se han seleccionado los puntos que presenten anomalías significativas, con objeto de ser posteriormente muestreados.

El estudio de caracterización hidroquímica de las aguas superficiales y subterráneas se ha completado y contrastado con los datos existentes sobre calidad de aguas subterráneas y superficiales, definiéndose la relación e influencia entre las aguas superficiales y subterráneas en cada una de las zonas.

Los resultados de esta fase de investigación se plasman en un informe que incluye las determinaciones analíticas realizadas y la representación gráfica de las mismas mediante diagramas de clasificación hidroquímica y potabilidad.

Se elabora un informe completo de todos los focos de contaminación detectados (en base al análisis de estudios anteriores y las campañas de muestreo) y el grado de afección de los mismos al acuífero o acuíferos implicados. Se efectúa un análisis del grado de adecuación de la calidad del agua a la demanda existente en el área.



1.3.1.9. BALANCE HIDROGEOLÓGICO

Para la realización del balance, en primer término, y para los materiales permeables carbonatados, se calcula el volumen de infiltración en función de los volúmenes de lluvia útil calculados para cada uno de los sectores diferenciados y estimando, sobre la base de las observaciones de campo realizadas (grado de fracturación, fisuración y carstificación del material carbonatado) y los parámetros hidrogeológicos de las formaciones, una serie de coeficientes de infiltración de la lluvia útil, para el material permeable carbonatado, ya sea de naturaleza calcárea o dolomítica, variando entre el 50% y el 70% según la formación de que se trate.

Del mismo modo para los materiales detríticos permeables, se estiman otra serie de coeficientes de infiltración, en función del grado de porosidad intergranular que presenten, grado de consolidación, cementaciones y de los parámetros hidrogeológicos de las formaciones, variando los valores del coeficiente entre el 20% y el 35% según la formación detrítica de que se trate.

De la observación de los volúmenes de recarga por infiltración directa de las precipitaciones, para cada sector, se puede concluir, en líneas generales, que los volúmenes de recarga calculados en el presente estudio, son del mismo orden a los aportados estudios similares. No obstante, en general, en estudios anteriores, no se han calculado los volúmenes de precipitación de lluvia útil de forma exclusiva para cada uno de los sectores, ni se ha realizado el planimetrado automático de los afloramientos permeables existentes.

Una vez conocido en cada sector, el volumen de recarga por infiltración directa del agua de lluvia, las demandas existentes (abastecimiento, agraria, industrial, etc.), el volumen de descarga de los manantiales, la recarga o descarga a partir de cursos superficiales (si procede), las transferencias de flujo entre distintos sectores (si procede), así como la evolución de todas estas variables, se efectúa el balance de cada uno de los sectores con objeto de detectar las deficiencias o los superávit de recursos hídricos subterráneos, a efectos de, posteriormente, proponer una serie de alternativas para satisfacer con suficiente garantía las demandas actualmente existentes o previsibles.

1.3.1.10. RESUMEN Y CONCLUSIONES

En el informe de resumen y conclusiones se realiza una sinopsis de toda la información trascendental, extractada del estudio llevado a cabo.



El objetivo fundamental de este informe monográfico final consiste en la recapitulación de toda la información, tanto recopilada, como generada en el estudio, con objeto de optimizar el aprovechamiento integral de los recursos hídricos de los sectores objeto de estudio.

De este modo se presenta, en primer término, una descripción de los sectores objeto de estudio, así como de las características hidrogeológicas principales. Seguidamente se aborda la descripción de las variables climáticas y de los volúmenes de lluvia útil relacionados con cada sector.

Posteriormente se efectúa un resumen del estudio y análisis de los usos y demandas realizado. Para ello, de forma previa, se identifican los municipios existentes en cada uno de los sectores, así como los núcleos que se abastecen de un determinado sector. Se describen las demandas por sectores hidrogeológicos. A continuación se presentan las demandas reales estimadas y teóricas calculadas para la situación actual, correspondientes a los núcleos de los municipios que se abastecen de recursos procedentes de los sectores objeto de estudio. Se efectúa una descripción general del grado de satisfacción de la demanda en la situación actual.

En el siguiente apartado, se lleva a cabo una prognosis de demanda futura por municipios, basada en las Normas de Coordinación de la Junta de Andalucía (horizonte 2010) y en las previsiones del Plan Hidrológico de la Cuenca Sur (horizontes 2002 y 2012).

Se presentan los balances hidrogeológicos realizados para en cada uno de los sectores, con objeto de detectar las deficiencias o los superávit de recursos hídricos subterráneos, a efectos de proponer posteriormente una serie de alternativas para satisfacer con suficiente garantía las demandas actualmente existentes o previsibles.

Por último se analizan y describen las alternativas posibles de abastecimiento, en caso necesario, para cada uno de los municipios objeto de estudio.



1.4. BIBLIOGRAFIA

ALMECIJA RUIZ, C., BENAVENTE HERRERA, J. (1995). Regimen hidrogeológico de las lagunas de Campillos".)". VI Simposio de Hidrogeología. Sevilla

ALMOGUERA L. F., COLETO F.I., RODRIGUEZ S. R., PEREZ R. I., BRIALESR.J.E. (1995). "Caracterización hidroquímica de las unidades hidrogeológicas de la cuenca del Río Turón (Málaga).)". VI Simposio de Hidrogeología. Sevilla

ANDREO NAVARRO B., LINARES GIRELA L. Y RUIZ GARCÍA F. (1996) "Consideraciones sobre la hidrogeología del sistema acuífero de la Magdalena (Antequera, Málaga)". IV SIAGA, Almeria I pp. 229-237

BENEVENTE, J. CRUZ-SANJULIAN, J. y LINARES, L. (1996). "Use of groundwater for the maintenance of a protected wetland (Fuente de Piedra sdalt lake, Andalusia, Spain". Water Research Institute. University of Granada.

BOURGOIS, J. (1978). "La transversale de ronda. Données géologiques pour un modèle d'évolution á l'arc de Gibraltar". Tesis Univ. Besançon.

CARDENAL ESCARCENA, F.J. (1993). "Hidrogeología del sector Sierra de Lujar-Albuñol" Tesis Doctoral. Universidad de Granada.

CASARES OLIVARES, J. (1981). "Quimismo y evolución hidrogeoquímica de los acuíferos karsticos de Parapanda y del Hacho de Loja". Simposio sobre el agua en Andalucía. Volumen I

CARRASCO, F. (1986). "Contribución al conocimiento de la cuenca alta del río Guadalhorce: el medio físico. Hidrogeoquímica". Tesis Doctoral Univ. De Granada.

CARRASCO, F. Y BENAVENTE, J. (1986). "Estimación de la aportación salina del río Guadalhorce en el sector de Bobadilla-Gobantes (Málaga)". II Simp. Agua en Andalucía, I, 273-277.

CRUZ SAN JULIAN, J. (1974). "Estudio geológico del sector Cañete la Real-Teba-Osuna" Tesis Doctoral de la Universidad de Granada.



CRUZ SAN JULIAN, J. (1976). "Funcionamiento hidrogeológico de la Sierra de Cañete (Málaga). Bases y propuestas para un estudio". Acta Geológica Hispánica XI, Nº 1, pp. 15-20

CRUZ SAN JULIAN, J. (1981). "Evolución geomorfológica e hidrogeológica reciente en el sector Teba-Cañete la Real (Málaga) a la luz de la datación de formaciones trvertínicas." Bol. Geol. Minero, T. XCII-IV pp. 297-308

DELGADO, F. Y SANZ DE GALDEANO C. (1981). "Estudio geológico de la Sierra de Gibalto y sectores próximos (provincia de Granada y Málaga)". Estudios geológicos 37, pp. 69-75

DIPUTACIÓN DE MÁLAGA (1988). "Atlas hidrogeológico de la provincia de Málaga". 151 pp., Gráficas Urania S.A. Málaga

DURAN VALSERO, J.J. y MOLINA MUÑOZ, J.A. "Karsts en los yesos del Trias de Antequera (Cordillera Bética, España)".

ESCOLANO, A. y CONEJO, R. (1981). "Eliminación y explotación del manantial salino de Meliones (Málaga) para evitar la salinización del río Guadalhorce". I Simp. Del Agua en Andalucía, 5, 469-486.

GAMEZ, J.A., PULIDO, I., MORELL, I., LOPEZ, M. y CHERIF, L. (1996). "Evolución espacial y temporal del contenido en nitratos en el Polje de Zafarraya (Granada)". IV SIAGA, Almeria, II

GARCIA CORTES A., MANSILLA H., QUINTERO I. (1991). "Puesta de manifiesto de la Unidad Olistostrómica del Mioceno medio, en el sector Oriental de las Cordilleras Béticas". Boletín Geológico y Minero. Vol. 102-4.

GAVILAN, C., ORTEGA, R., NAVARRO, J.A. (1996). "Nueva interpretación de los datos sobre las direcciones principales del drenaje del macizo kárstico de Sierra Gorda". IV SIAGA, Almeria, I.

GUZMAN DEL PINO, J.L., GARCIA LOPEZ, M., PEREZ LOPEZ, A. (1995). "Una nueva perspectiva sobre el abastecimiento de Málaga. (Los manantiales salinos de Meliones)". VI Simposio de Hidrogeología. Sevilla

I.A.R.A. (1988). "Estudio hidrogeológico del acuífero de los Llanos de Antequera".

I.G.M.E.. (1979). "Alimentación, descarga y posibilidades de regulación del macizo karstico de El Torcal de Antequera (Málaga)".



- I.G.M.E. (1984). "Estudio hidrogeológico de la cuenca de Fuente de Piedra (Málaga).
- I.G.M.E. (1988).. "Atlas hidrogeológico de la provincia de Málaga". Diputación DE Málaga 151 pp., Gráficas Urania S.A. Málaga
- I.T.G.E. (1995). "Investigación Hidrogeológica para el apoyo a la gestión hidrogeológica en el Bajo Guadalhorce. (Cuenca del Sur de España, Malaga)".
- LHENAFF, R. "Recherches geomorphologiques sur les Cordilleres Betiques Centro-Occidentales". These. Univ. de Lille.
- LINARES, L. (1990). "Hidrogeología de la laguna de Fuente de Piedra (Málaga)". Tesis Doctoral, Univ. De Granada.
- LINARES, L. (1997). Situación actual y perspectivas de los acuíferos de Málaga". Tierra y Tecnología, nº 16-17.
- LOPEZ CHICANO, M. PULIDO BOSCH,A. (1988). "Aproximación al conocimiento de las direcciones preferenciales de karstificación en el acuífero carbonático de Siera Gorda (Granada)". II Congreso Geológico de España. Pp. 403-406.
- LOPEZ CHICANO, M., PULIDO BOSCH, A. (1989). "Compartimentación y descenso de niveles piezométricos en un sector de Sierra Gorda (Granada y Málaga)". Congreso Nacional sobre la Sobreexplotación de Acuíferos (Almería). Pp. 577-592.
- LOPEZ CHICANO, M., PULIDO, A. (1993). "The Sierra Gorda Karstic aquifer (Granada and Málaga)". Some spanish karstic aquifers. Pp. 58-93.
- LOPEZ CHICANO, M., PULIDO, A. (1993). "The fracturing in the Sierra Gorda Karstic system (Granada and Málaga)". Some spanish karstic aquifers. Pp. 95-116.
- LOPEZ CHICANO, M., PULIDO, A. (1994). "Estudio comparativo entre fracturación y karstificación en Sierra Gorda (Granada y Málaga)". Espeleotemas nº 4. pp. 3-14.
- LOPEZ CHICANO, M., PULIDO, A. (1996). "Aportación al conocimiento hidrogeológico del polje de Zafarraya". IV SIAGA, Almeria, 1996. I.
- M.O.P.U. (1988). "Confederación Hidrográfica del Sur". Plan Hidrológico. Documentación básica



OLÓRIZ, F., MOLILNA J. M., SERNA, A. (1999). "Revisión estratigráfica del intervalo Kimmeridgiense medio-Tithonico basal en el perfil G10 del sector de Venta Quesada (Sierra Gorda)." GEOGACETA, 26.

OLLERO ROBLES, E. Y GARCIA GARCIA, J.L. (1984). "Características hidrogeoquímicas del acuífero aluvial del polje de Zafarraya". I Congreso Español de Geología, Tomo IV.

ORTEGA, R., HERRERA, J.C., ERASO, A. (1995). "Aplicación de un método de predicción de las direcciones de drenaje al karst de Sierra Gorda (Granada)". VI Simposio de Hidrogeología. T. XIX, Sevilla.

PEREZ-LOPEZ, A. y SANZ DE GALDEANO, C. (1994). "Tectónica de los materiales triásicos en el sector central de la Zona Subbética (Cordillera Bética)". Rev. Soc. Geol. España, 7, 141-153

PEZZI, M. (1977). "Morfología karstica del sector central de la Cordillera Subbética". Cuadernos geográficos de la Universidad de Granada. Nº 2.

PEYRE, Y. (1973). "Geologie d'Antequera". These. Univ. París, 250 p.

PINEDA VELASCO, A. (1987). "Sobre la geología de la región de Archidona y la pertenencia de la Alta Cadena al Subbético". Studia Geológica Salmanticensia, XXIV, pp. 67-81

PILIDO BOSCH A., BENAVENTE HERRERA J. (1986). "Aplicación a la deconvolución al estudio de la descarga de el Torcal de Antequera" El agua en ANDALUCIA. Vol II, Granada

PILIDO BOSCH A., MARSILY G., BENAVENTE J. (1987). "Análisis de la descarga del Torcal de Antequera mediante deconvolución" Hidrogeología 2: pp.17-28.

RODRIGUEZ SANTIESTEBAN R., COLETO F. I., TORRENS J., MERCHÁN L. A. (1995). "Caracterización hidrogeológica e hidroquímica del sector suroccidental de la Provincia de Málaga".)". VI Simposio de Hidrogeología. Sevilla.

SÁNCHEZ GONZALEZ, A. y FERNANDEZ DEL RÍO G. (1994). "Captación de salmueras subterráneas aflorantes al Embalse de Guadalhorce". Análisis y Evolución de la Contaminación de las aguas Subterráneas, T. II, pp. 197-206

SERRANO F. (1993). "Generalidades sobre la geología de la provincia de Málaga". Comunicaciones de las IX Jornadas de Paleontología. pp. xvii

VERA, J.A. (1966). "La unidad de Perepanda-Hacho de Loja. Su individualidad estratigráfica y tectónica en la Zona Subbética". Act. Geol. Hisp., 1, 1:3-6