

135

ANALISIS PREVIO AL ESTUDIO DE VIABILIDAD DE
UTILIZACION DE ACUIFEROS SUPERFICIALES, EN/
RELACION CON LA DEPURACION DE AGUAS RESI- -
DUALES URBANAS Y DESALACION DE AGUAS SALO--
BRES EN EL CAMPO DE DALIAS (ALMERIA).

OCTUBRE 1.993

ANALISIS PREVIO AL ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UTILIZACION DE ACUIFEROS SUPERFICIALES, EN RELACION CON LA DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES URBANAS Y DESALACION DE AGUAS SALOBRES EN EL CAMPO DE DALIAS (ALMERIA).

1.- ANTECEDENTES

Para el año hidrológico 1991-92, el agua demandada en origen por la subcuenca sur de Sierra de Gádor/Campo de Dalías /Almería capital, ascendió a 138 hm³. Esta demanda se atendió desde los acuíferos del propio Campo (90 desde los inferiores, 12 del superior central, 22 desde el superior e intermedio noreste, etc.) y, en menor medida, del Embalse de Benínar y otros acuíferos ajenos al Campo (7 y 5, respectivamente), así como con otras aportaciones poco significativas, entre ellas de aguas depuradas para demandas de uso lúdico.

Dada la situación de sobreexplotación, con contaminación progresiva especialmente debida a la intrusión marina casi generalizada a todos los acuíferos del Campo, no es posible contar para el futuro con el grado de utilización que en la actualidad se hace de los mismos. Los recursos propios a considerar como garantizados o disponibles permanentemente, a partir de un determinado horizonte futuro, son ya bastante menores que los recursos renovables de dichos acuíferos y, a medida que el deterioro de éstos vaya progresando, las expectativas futuras de recursos propios disponibles de esta subcuenca se van reduciendo. En el momento actual, aunque faltan datos de seguimiento del proceso de contaminación por las insuficiencias de la red de control del mismo, dichos recursos disponibles se podrían estimar en unos 30 hm³/año.

Ante estas perspectivas de recursos propios y las previsiones de aportación futura desde la Cuenca del Adra y de trasvases desde el Embalse de Cuevas como regulador de importaciones desde otras Cuencas (a determinar por el Plan Hidrológico Nacional), parece imperiosa la necesidad de tomar, lo antes posible, aquellas medidas que sean más oportunas para hacer frente al importante déficit de la zona, entre ellas las orientadas al máximo aprovechamiento de los recursos propios. Estas últimas medidas pueden adoptar dos vías complementarias:

- la determinación de estudios y actuaciones para disminuir,

en lo posible, el deterioro progresivo de los acuíferos del Campo y, consecuentemente, la pérdida de recursos naturales disponibles propios en el mismo; y

- la obtención de otros recursos disponibles no convencionales, (a partir de los existentes en la zona, pero no utilizables directamente por la demanda), mediante tratamientos que permitan su uso con garantía.

Dentro de esta última vía de actuaciones, la Dirección General de Obras Hidráulicas de la Consejería de Obras Públicas y Transportes de la Junta de Andalucía, coordinando sendos proyectos de regeneración de aguas urbanas del Campo de Dalías y de instalación de una planta desaladora en Aguadulce (Roquetas de Mar), se ha planteado la posibilidad de implicar en ambos procesos la utilización de acuíferos superficiales de este dominio hidrogeológico, con objeto de introducir garantías en la depuración y de proporcionar el suministro de agua a dicha planta.

El presente Análisis Previo trata de acotar algunos aspectos de las actuaciones que sería necesario llevar a cabo para determinar la viabilidad de alternativas reales, selección de la(s) más ventajosa(s), diseño concreto de estudios y obras, seguimiento hidrogeológico de su ejecución y funcionamiento, etc.. Estas primeras acotaciones solicitadas por la referida Dirección General, acerca de algunas de las operaciones a realizar, tienen pues un carácter sólo estimativo, en la medida que son fruto sólo de un "análisis de urgencia" de datos y esquemas conceptuales preexistentes de la zona en cuestión, sin actualizar o contrastar debidamente.

2.- ESQUEMA DE ACTUACIONES CUYA VIABILIDAD SE PLANTEA

Las posibles actuaciones cuya viabilidad ha de plantearse pertenecen a dos grupos relativamente independientes: uno de inyección-recuperación de aguas residuales urbanas y otro de bombeo complementario (FIG.1).

2.1.- Primer Grupo: inyección - recuperación. Preselección de zonas

De manera muy esquemática, se pretende analizar la posibilidad de inyectar, mediante los sondeos necesarios, un volumen del orden de 300 l/s de aguas residuales urbanas,

totalmente regeneradas, en una o varias áreas del Acuífero Superior Central (en adelante A.S.C.). Se exige que esté garantizado el control de su almacenamiento y la posterior recuperación total de las mismas, a llevar a cabo exclusivamente en el marco de esta operación y mediante un bombeo que alcance los 450-500 l/s, en sondeos situados a una distancia mínima de 600 m. de los puntos de inyección. Este bombeo ha de evitar que, en el período de 15 años para el que se ha concebido la duración de este proceso, puedan producirse perjuicios significativos a terceros (bombeos preexistentes, fundamentalmente), repercusiones negativas indeseables en otros acuíferos contiguos, impactos ambientales no asumibles, etc. El área o áreas elegidas deberán ubicarse, en lo posible, en las proximidades de las instalaciones principales de depuración (El Ejido, Santa María, Roquetas de Mar) o, al menos, acercarse al colector que ha de conducir el agua bombeada hacia la desaladora.

2.2.- Segundo Grupo: Bombeo Complementario

Además del bombeo referido, se pretende complementar el suministro a ésta planta con otro bombeo a definir, del orden de 200-250 l/s, de aguas salobres de los Acuíferos Intermedio y Superior Noreste del Campo. El diseño de desalación, mediante ósmosis inversa, generará 16 hm³/año de agua potable.

3.- ANALISIS PREVIO RELATIVO A LA EVENTUAL INYECCION - RECUPERACION

3.1.- Zonas descartadas

En primer lugar se ha procedido al análisis del problema por zonas, dentro del A.S.C., atendiendo a aquellas exigencias de su planteamiento que no podrían ser satisfechas, de acuerdo con los datos conocidos por el I.T.G.E.. Ello ha permitido descartar gran parte de la superficie de este acuífero, poniendo en evidencia, una vez más, las complejas interrelaciones de diversa índole que existen en este medio. De manera resumida se ha descartado:

- Todo el frente de descarga de este acuífero hacia el Inferior Occidental e Inferior Noreste, ambos sobreexplotados, por razones obvias (bordes noroeste y

norte).

- Todo el sector centro - norte del acuífero por la presencia de bombeos.

- Toda la orla litoral del acuífero, bien por la existencia de captaciones, o por no estar asegurado el control de la operación, por afección a espacios naturales protegidos, etc.

- De la franja centro - meridional del acuífero, la zona suroriental Balerma-Guardias Viejas-carretera a Almerimar, por sus características hidrodinámicas desfavorables- (reconocidas o supuestas por datos indirectos) y su alejamiento del eje marcado por los centros de depuración-desalación, etc.

- El área de Onáyar (que podría haber resultado favorable, al menos para absorber parte de la operación), por haber sido ya seleccionada para la ubicación del futuro vertedero controlado de residuos sólidos del Campo.

- El extremo sureste del A.S.C. (La Mojonera-El Solanillo-Urbanización de Roquetas de Mar) para no afectar negativamente al umbral piezométrico generado hacia Roquetas de Mar, por la descarga desde este acuífero, como defensa de la intrusión marina en la zona suroeste del Acuífero Superior Noreste (en adelante A.S.N). También por la cercanía de los humedales.

3.2.- Zonas Preseleccionadas

Con la exclusión, en principio, de las áreas señaladas del A.S.C., quedan sólo dos zonas de éste donde proseguir este análisis preliminar (FIG.2): una inmediatamente al N.N.O. de La Mojonera (Zona A), con varias características ventajosas sobre la otra (Zona B), situada al NO. de San Agustín, que en contrapartida no presenta la gran densidad de ocupación de suelo de la primera y, por tanto, pudiera resultar preferible a ésta al plantearse las obras necesarias aunque, como se verá más adelante, podrían ser necesarias las dos para la inyección propuesta. Incluso, en su caso, cabría analizar una tercera zona para alguna inyección-recuperación de menor escala, al NO. de La Cortijada de Marín (Zona C), la cual queda ya fuera del A.S.C., aunque adosada a su límite oriental y, en parte influenciada por la descarga al A.S.N. desde el extremo sureste de aquel.

La "ZONA A", o de La Mojonera (FIG. 3), queda

comprendida casi en su totalidad dentro del término de este municipio, entre el acuífero formado por las carreteras que unen esta localidad con Las Norias y la Venta del Cosario (en la Cra.Nal. 340). Como se ha dicho antes, presenta dificultades su elevadísima ocupación del suelo. En cambio, dentro de una superficie groseramente circular, tangente a estos tramos de carretera y a la misma población, con un diámetro aproximado de 4 Km., no existe ningún bombeo significativo desde hace años, su situación podría resultar aceptable para el fin propuesto-incluidas las vías de enlace con los centros de producción del agua regenerada y de destino del agua recuperada- y, sólo aparentemente (porque no existen datos directos sobre el particular), presenta unos rasgos geológicos e hidrogeológicos que permiten no descartarla en principio.

Aparte de otras eventuales limitaciones reales del medio, de orden estratégico o hidrodinámico, la presencia de bombes actuales a unos 2 Km. del centro de este círculo y más aún, la de los afloramientos del nivel piezométrico del acuífero a una distancia, sólo algo mayor, del citado centro geométrico de la zona, dejan escaso margen para la actuación deseada y complican este análisis preliminar: los afloramientos del manto acuífero se encuentran en el fondo de excavaciones para extracción de tierra destinada a la construcción de suelos artificiales para los invernaderos, en las cuales existe ya una vegetación y avifauna que está siendo estudiada y que ha empezado a despertar interés para su aprovechamiento lúdico y didáctico. También existen dentro de este entorno circular algunos sondeos y pozos ordinarios abandonados -algunos de estos últimos presumiblemente usados como pozos negros- cuya clausura definitiva puede ser necesario considerar.

En términos aproximados, para un radio de 1.500 m. del punto central de esta Zona A, situado a unos 45 m.s.n.m., la cota topográfica mínima supera los 31 m.s.n.m. y la cota piezométrica máxima es menor de 25 m.s.n.m.. Si se reduce el radio a la mitad, la cota topográfica mínima sobrepasa los 35 m.s.n.m., es decir, la zona no saturada tiene un espesor mínimo mayor de 6m. en el primer caso y de 10 m. en el segundo, lo que da una idea del margen de ascenso máximo del nivel piezométrico que podemos provocar con la inyección.

En cuanto a descensos del nivel permisibles, la mayor limitación puede estar a 2.300-2.500 m. al OSO. del centro de la zona, en los nuevos humedales. En general, la cota media del muro del acuífero se estima del orden de -20 m.s.n.m., con tendencia al hundimiento hacia el NNE.

También conviene tener en cuenta que tanto la permeabilidad como la porosidad eficaz presentará variaciones, especialmente en la vertical, suponiéndose para ambos un decrecimiento de sus valores relativos hacia la base del acuífero y, a la inversa, un crecimiento hacia el techo, que puede continuar en la zona no saturada del mismo.

Habría que prestar atención al eventual efecto barrera (más o menos efectiva) del límite oriental del acuífero -y de la zona- así como el comportamiento, en dicho sentido, de la falla paralela a dicho límite, inmediatamente al Oeste de La Mojonera.

La "ZONA B", o de San Agustín (FIG. 4), más extensa y con más espacios libres que la anterior, podría definirse esquemáticamente como otro entorno circular de unos 6,5 Km. de diámetro, centrado entre Las Norias y San Agustín, todo él en el término municipal de El Ejido. En este entorno no existen bombeos significativos desde hace años y tiene buenas vías de comunicación para el objetivo que se pretende. El grado de conocimiento hidrogeológico directo es menor aún (muy escasos sondeos y con sólo informaciones indirectas y parciales), aunque no puede descartarse su interés para los fines que se persiguen.

También como en la zona anterior, aunque con algo más de margen, por la mayor extensión de la zona, además de las eventuales limitaciones por características estratégicas o hidrodinámicas de este medio, hay que contar con las impuestas por bombeos preexistentes a unos 3 Km. del centro geométrico de este área y, particularmente, por los humedales costeros (Espacio Natural de Punta Entinas-Sabinar-Salinas de Cerrillos-Salinas Viejas) situados a unos 4 Km. de dicho centro, sin que, de momento, tenga que negarse por ello la viabilidad del proyecto.

La topografía de este entorno presenta, para el centro geométrico de la zona, una cota mayor de 60 m.s.n.m.; para un radio de 1.500 m., una cota mínima que supera los 40 m.s.n.m., la cual se convierte en un valor de 50 m.s.n.m. para un radio de 700 m.. La cota piezométrica máxima se supone menor de 20 m.s.n.m., para este último radio, lo que da aparentemente una zona desaturada del orden de 30 m., como valor mínimo, que sólo debe reducirse en 2-3 m. para el círculo de 1.500 m. de radio. Como se ve, esta zona tiene mucho mayor margen de maniobra para la inyección.

En cuanto al bombeo, en toda la zona se supone una cota de fondo del acuífero del orden de -20 m.s.n.m. (sin datos directos que lo corroboren) con lo que, teniendo en cuenta que la

cota piezométrica mínima puede llegar a ser del orden de 10 m., puede darse una idea del margen de descensos máximos por bombeo que admitiría la zona. Para la distancia de los bombeos preexistentes, situados unos 3.000 m. del centro, podrían admitirse uno o dos metros de descenso aunque, en este aspecto, la mayor sensibilidad se da en los humedales costeros situados a 4 Km. del mismo. Conviene tener en cuenta, además -como en la Zona A, aunque quizás de manera más acentuada en este entorno- el descenso de la permeabilidad y la porosidad eficaz desde la superficie al muro del acuífero, que debe favorecer las actuaciones de inyección y restringir las de bombeo.

Habría que tomar medidas especiales, en su caso, al montar las redes de control, de los posibles comportamientos diferentes del acuífero en el caso de fallas existentes.

Por último, según se indicó anteriormente, puede tener interés el estudio de la "ZONA C", o de Cortijada de Marín (FIG. 5), casi toda ella situada en término de Vúcar. Por razones hidrogeológicas se define, esquemáticamente, como un entorno semicircular o semielíptico, con eje mayor de unos 3 Kms., "adosado" al límite oriental del A.S.C. (Del cruce de Cras. La Mojonera-Venta del Cosario y del Sector III, a la Cortijada de Marín). El grado de ocupación del suelo es también muy elevado en esta zona, pero no existen bombeos significativos, dentro de ella, desde hace años -aunque sí captaciones en desuso, cuya inutilización definitiva habría que considerar- y, aunque tampoco se conocen adecuadamente, pueden existir condiciones hidrogeológicas que permitan utilizarla para una actuación parcial del tipo de las planteadas. Sus comunicaciones son aceptables, en principio, desde el punto de vista que nos ocupa.

De la zona central de esta figura, hasta una distancia de 700 m. de radio, las cotas topográficas superan los 30 m.s.n.m., siendo mayores de 40 m.s.n.m. en un círculo interior de unos 150 m. de diámetro. La cota piezométrica máxima en éste último podría ser del orden de 10-15 m.; y la mínima, para todo el entorno, podría llegar a ser de -2 m.s.n.m.. El muro del acuífero se supone (sin ninguna confirmación) a cotas del orden de -25 a -30 m.s.n.m.

En relación con las características hidrogeológicas supuestas, y su variación relativa en la vertical, puede decirse lo mismo que para la Zona A, incluido el efecto barrera presumible del límite entre los acuíferos A.S.C. y A.S.N..

También habría que tener aquí muy en cuenta la posición

de la interfase agua dulce-agua salada y su relación con el umbral piezométrico de la capa libre del A.S.N., en el entorno de Roquetas de Mar, para no provocar un descenso piezométrico impropio, que influenciara la progresión, hacia el interior, del agua salada.

3.3.- Estimaciones previas sobre las zonas preseleccionadas

En virtud del conocimiento hidrogeológico general que actualmente se tiene del acuífero en el que se proyectan las actuaciones señaladas, se han efectuado algunos tanteos por métodos informáticos a partir de constantes hidráulicas estimadas para estas zonas de los acuíferos superiores.

Los resultados de dichos tanteos son variables en función de los valores máximos y mínimos entre los que presumiblemente deben oscilar los parámetros del medio físico existente en la realidad. En un supuesto moderadamente optimista, sería posible la inyección del volumen total disponible (10 hm³/año) en las zona A o en la B, efectuándose simultáneamente una extracción o recuperación del mismo caudal o volumen anual de 10 hm³/año a una distancia de 600 m. de los puntos de inyección.

Con parámetros del acuífero más pesimistas, la operación anterior no sería posible en ambas zonas, individualmente consideradas, que sólo admitirían, como mucho, la mitad de la inyección y del bombeo, debido a que la permeabilidad y porosidad del terreno lo impedirían, dadas las limitaciones existentes por las cotas topográficas y del techo y muro de la zona saturada del acuífero. Habría que utilizar ambas zonas en este caso, o incluso una combinación de las dos citadas complementada con la Zona C.

No es necesario insistir en la validez sólo orientativa de estos tanteos, no sólo por el desconocimiento de los valores reales de la permeabilidad y la porosidad eficaz a largo plazo del acuífero, en las zonas señaladas, sino por la gran anisotropía de dichos valores. También es desconocido el espesor saturado real en cada zona. Por tanto, pueden suponerse los errores que pueden conllevar estos tanteos, al tratarse de operaciones que implican modificaciones hasta el límite de la situación actual de saturación del acuífero, poniendo en juego gran parte de la zona actualmente desaturada, en la inyección, o dejando saturados, con el bombeo, sólo los horizontes inferiores del mismo, en general bastante menos permeables.

Después de estas advertencias previas, se indica que, en los tanteos para las zonas citadas, se ha usado una disposición que, entre otras posibles, puede mejorar el rendimiento del acuífero y el control de flujos ante estas operaciones. Tal disposición consiste en una batería circular de inyección, rodeada de otra concéntrica de bombeo -a 600 m. de distancia- con otra batería de bombeo central dentro de la circunferencia de inyección (o sin ella). También se han tanteado tácticas, con resultados interesantes, que pueden ponerse en juego al abordar el problema con datos reales y la correspondiente modelización, consistentes en emplear distintos tiempos para el inicio de la inyección que para cada uno de los bombeos (central o periférico), así como diseñar distintas distribuciones de caudales, según sectores, tanto para el círculo de inyección como para el de bombeo periférico. El número de sondeos, en cada caso, y el caudal de explotación (bombeo o inyección), dependerá de las características reales del acuífero, tanto por las posibilidades que este permita, como por lo que realmente interese al diseño que se establezca.

Resumiendo los resultados obtenidos de los tanteos realizados, puede decirse que:

En general cabe resaltar la dificultad, en principio, de que sea viable la operación de inyección - bombeo en el ASC en una única zona (inyección de 10 hm³/año y bombeo de 16 hm³/año), dados los descensos que se provocan a las distancias limitantes de cada zona de estudio, según los tanteos realizados.

En cuanto a las diferencias entre la Zona A y la Zona B, entre otras están que la primera zona es más restrictiva, dado su menor espesor saturado y menor distancia de las zonas de explotación y humedales. Puede ser factible, en principio y con un seguimiento adecuado de las variaciones de ascensos y descensos, con distribuciones del peso de los caudales de inyección - bombeo, la inyección de 10 y de 5 hm³/año, para toda la gama de transmisividades estudiadas (entre 15 y 5 m²/h) para la zona B, y para las mayores (15 y 10 m²/h) en la zona A; la gama de porosidades eficaces utilizada ha sido de 10 y 5%. En cada caso hay que estudiar la operación conjunta bombeo-inyección.

Hay que insistir en que, con carácter general, se ha comprobado la necesidad de un seguimiento estricto de los resultados de las operaciones, por existir períodos o zonas conflictivas para las que se considera necesaria una redistribución del bombeo y/o la inyección, según los datos observados en cada momento. El problema es especialmente

importante para el caso de las variaciones del nivel no deseables en los humedales, ya que en este caso las variaciones del nivel permitidas son mucho menores.

4.- BOMBEOS COMPLEMENTARIOS

De acuerdo con los tanteos realizados sobre las zonas preseleccionadas para la inyección-recuperación, parece posible que en la realidad no pueda bombearse en las mismas más del caudal inyectado, con lo cual hay que analizar la conveniencia o no de añadir éste eventual déficit de bombeo al señalado en 2.2.

4.1.- Bombeo en el Acuífero Intermedio Noreste

En una primera estimación -que debe ser contrastada con el estudio previo y seguimiento de la operación, en su caso- la propuesta de bombear 200-250 l/s de los acuíferos Intermedio Noreste (en adelante A.It.N.) y S.N. del sector noreste del Campo parece viable. En la FIG.6 se señala uno de los sectores del A.It.N. donde deberá realizarse una parte o el total de esta extracción, como consecuencia de un objetivo que ha de ser prioritario: evitar que la masa de agua salinizada, por intrusión marina, de éste acuífero, emigre hacia el área de Aguadulce del A.I.N., lo cual ocurriría, si no se ponen los medios, con la recuperación de niveles provocada por la clausura del bombeo destinado a la ciudad de Almería, al ser sustituido por las nuevas captaciones de Rambla Bernal. Esta operación deberá ser muy bien controlada, para que no provoque el efecto contrario: la descarga al A.It.N. desde el área de Aguadulce del A.I.N., que acentuaría el proceso de intrusión en éste último.

A partir de un estudio más detallado y, en particular, del seguimiento de la evolución de niveles y salinidades, se determinaría la ubicación, en su caso, del complemento de caudales necesario.

4.2.- Bombeo en el Acuífero Superior Central

Si del resultado del estudio sobre éste acuífero, con datos reales de caudales de inyección, transmisividades, porosidades, etc., se comprobare la necesidad de obtener mayores caudales de bombeo en el mismo, se determinaría la ubicación más conveniente de estos, la cual ha de regularse de acuerdo con las necesidades globales del proyecto y de las que convenga obtener

del sector noreste (A.It.N./A.S.N.).

5.- ESTIMACIONES PREVIAS RELATIVAS AL ESTUDIO DE VIABILIDAD Y A LOS SONDEOS NECESARIOS

5.1.- Estudio de Viabilidad

La falta del conocimiento, a la escala precisa, de los parámetros hidrogeológicos reales de las zonas de los acuíferos que interesa manejar, de acuerdo con la importancia relativa de las modificaciones que se pretende llevar a cabo en las transferencias de flujos subterráneos ahora existentes en dichas zonas, obliga a realizar un estudio detallado que permita diseñar las operaciones óptimas entre las posibles, las obras necesarias, que conllevan, y el establecimiento de los controles adecuados para el seguimiento hidrogeológico del proceso, durante su funcionamiento.

Este estudio ha de contar, inexcusablemente, con la ejecución de sondeos de investigación y los ensayos pertinentes en los mismos, que en su caso podrán ser posteriormente utilizados como sondeos de explotación o de control. Estos sondeos de investigación permitirán obtener una información sobre la distribución espacial (en la horizontal y vertical) de los valores reales de los parámetros hidráulicos del acuífero, en estas zonas, sin los cuales estas actuaciones pueden resultar muy arriesgadas.

Puesto que las actuaciones planteadas pueden tener influencias negativas para otros intereses, a distancias considerables, tales operaciones hay que enmarcarlas dentro del funcionamiento global del acuífero implicado, incluyendo sus relaciones de contorno. Ello requerirá ampliaciones y actualizaciones de los trabajos ya realizados por el I.T.G.E. en éste Campo, utilizando técnicas hidrogeológicas convencionales y técnicas informáticas y de simulación numérica.

Para el caso del A.S.C., entre los trabajos a realizar pueden señalarse los siguientes, en primer lugar,

- Reevaluación de la recarga por lluvia en el A.S.C. mediante la aplicación de los programas disponibles en el I.T.G.E.

- Elaboración de mapas de isopiezas para diferentes períodos de tiempo.
- Estimación de la superficie en regadío mediante técnicas de teledetección (imágenes LANDSAT) y de un sistema de información geográfica (GIS).
- Recopilación de la información disponible y actualización de datos sobre volúmenes bombeados en pozos. Variación en el tiempo.
- Ejecución de sondeos de investigación en las zonas previamente elegidas para ello (zonas preseleccionadas).
- Realización de ensayos de bombeo, tanto en dichos sondeos como en otros preexistentes.
- Realización de registros eléctricos y radiactivos en todos los sondeos que se realicen.
- Elaboración de mapas de isobatas e isopacas del acuífero en base a datos de sondeos y otros datos disponibles interpolados.
- Estimación y validación de los parámetros físicos para el resto de zonas del acuífero, mediante técnicas analítico-interpretativas y de simulación numérica (programas del I.T.G.E.).
- Distribución de expectativas de calidad del agua eventualmente bombeada.
- Estimación de las descargas subterráneas del A.S.C. a los acuíferos colindantes para diferentes períodos de tiempo.
- Elaboración del modelo hidrogeológico conceptual.

En segundo lugar, se proponen otros trabajos encaminados a la predicción y estudio del impacto que dichas operaciones de inyección y extracción producirían en la zona o zonas elegidas y su viabilidad, desde el punto de vista del propio A.S.C. y de los acuíferos contiguos.

Para ello se plantea la realización de un modelo de simulación numérica del flujo subterráneo que permita:

- Estimar el impacto que en las zonas preseleccionadas producirían las distintas alternativas de inyección/bombeo posibles, considerando el respeto a las explotaciones ya

existentes en el mismo y, del mismo modo, al equilibrio hidrodinámico existente en los humedales próximos a las mismas.

- Estimar la disminución en la descarga subterránea hacia los acuíferos de "Escama de Balsa Nueva", "Inferior Occidental" y "Superior Noreste".

- Simular las hipótesis de utilización anteriormente enunciadas y otras que se consideraran convenientes.

La complejidad estructural de los acuíferos del Campo de Dalías, unida a un conocimiento no muy preciso de la geometría en profundidad de todos los acuíferos y de la variación espacial de los parámetros físicos, principalmente en el sector noreste, recomienda la modelización sólo del A.S.C., debiéndose configurar el sistema de tal forma que sea capaz de reproducir las descargas de éste acuífero a los colindantes.

En cuanto a los Acuíferos Superior e Intermedio Noreste, tanto en lo concerniente al eventual uso de la Zona C, para inyección-recuperación, como a las zonas de Bombeo Complementario (La Gangosa y otras posibles) habrá que limitarse a actualizar el conocimiento de las tendencias de evolución de la explotación y sus repercusiones piezométricas para áreas de los distintos acuíferos existentes, así como de las salinidades, para determinar los volúmenes de bombeo convenientes en cada caso, así como el diseño de las operaciones de seguimiento necesarias para el control riguroso de las operaciones, con objeto de evitar impactos peligrosos o indeseables.

5.2.- Sondeos y Ensayos

Como introducción a éste apartado de obras que sólo podrá ser determinado con más concreción -especialmente en el número de las mismas- después del estudio correspondiente, se adelanta lo que sigue, en relación con las características técnicas constructivas de los sondeos de inyección y bombeo:

Por el conocimiento actual que se tiene de la/s zona/s elegidas para el desarrollo de la presente investigación, se propone la ejecución de sondeos cuyas características satisfagan los fines perseguidos y que a continuación se describen:

- La profundidad media de los pozos será de 100 m.

- La entubación se realizará con tubería de P.V.C., de resistencia y condiciones adecuadas a los terrenos atravesados, o, en su caso, de acero, y diámetro interior comprendido entre 250 y 300 mm.

- Con carácter excepcional, y a fin de verificar el fondo del acuífero, se contempla la posibilidad de perforar algunos sondeos cuya profundidad estimada podría alcanzar los 250 m.

- El sistema de perforación que deberá utilizarse será aquél que permita la ejecución de obras con la mayor eficacia desde el punto de vista de la recogida de datos durante la ejecución y después de la misma, descartando en lo posible la utilización de lodos o polímeros que puedan generar costra en las paredes de la perforación, dando lugar a pérdidas de carga con incidencia negativa en el rendimiento específico de los sondeos.

Como métodos de perforación se proponen el de ROTOPERCUSION o PERCUSION, cuya elección definitiva se hará una vez conocido el tipo de terreno a perforar y el grado de consistencia de las paredes. En la medida que es necesario un buen conocimiento de la secuencia litológica atravesada, será necesario tomar medidas para que la recuperación de muestras de terreno sea detallada y representativa, a escala métrica, de la realidad, no descartándose el uso de testigueras en algunos casos, con carácter de reconocimientos previos.

- Debe preverse el más adecuado acondicionamiento de los sondeos con el fin de eliminar pérdidas de carga parásitas. Para ello conviene contemplar la posibilidad de utilizar los siguientes materiales:

a) Filtros con el mayor porcentaje de paso posible y apertura adecuada a la granulometría del acuífero.

b) Grava clasificada y lavada con tamaños de grano elegidos a partir de las correspondientes curvas granulométricas.

c) Desarrollo intensivo de los pozos mediante los métodos normales al uso.

- En el plan de ejecución de los sondeos, debe preverse la necesidad de coordinarse con la ejecución de diagrfías eléctricas y rayos gamma, etc.. También hay que prever la realización de eventuales ensayos de bombeo y/o inyección, durante y después de la ejecución de las perforaciones.

En relación con los sondeos de observación, tanto para

el control y seguimiento de la evolución de los niveles dinámicos en el campo de pozos y su contorno, así como para la calidad del acuífero, se ejecutarán sondeos o baterías de sondeos de pequeño diámetro. Estos sondeos alcanzarán las mismas o semejantes profundidades que los de explotación e inyección, procurando la bondad de su ejecución y acondicionamiento para que la información por ellos suministrada tenga la máxima fiabilidad posible.

Estos sondeos serían diseñados de forma que permitan la obtención de toma de muestras de agua, establecer pequeños bombeos e instalar los pertinentes sistemas automatizados o convencionales de control.

Como orden de magnitud, se estima que su diámetro interior puede ser de 150 mm., debiendo disponer de un equipamiento semejante a los sondeos de gran diámetro.

En estos pozos deben contemplarse la posibilidad de realizar operaciones especiales tales como sellado de algún horizonte acuífero, distintas profundidades y acondicionamientos especiales en función de los objetivos perseguidos en cada caso.

Es imposible por ahora evaluar el número de sondeos o de metros de perforación, tanto de gran diámetro (investigación/explotación) como de pequeño diámetro (investigación/observación), dados los grados de incertidumbre existentes. No obstante podría hacerse una reserva que podría alcanzar los 13-14.000 m. lineales, para los de gran diámetro, y los 10-12.000 m. para los de diámetro menor.

6.- CONCLUSIONES DEL ANALISIS PREVIO

Con el exámen de la propuesta de operaciones de inyección-recuperación de aguas residuales urbanas, totalmente regeneradas, en el Acuífero Superior Central, así como del bombeo complementario en dicho acuífero y en los acuíferos Intermedio y Superior Noreste del Campo de Dalías, todo ello a la luz de los conocimientos y datos disponibles, y sólo mediante un análisis muy rápido, de carácter exclusivamente preliminar, simplificando los procesos que pueden producirse, utilizando estimaciones sin contrastar de los parámetros hidráulicos que rigen el flujo subterráneo, etc., se puede adelantar, como conclusión de lo que antecede, lo siguiente:

- Se han eliminado una serie de zonas del A.S.C. donde la

operación de inyección-recuperación no es viable, por no permitirlo el medio físico o por generar impactos indeseables.

- Se han preseleccionado unas áreas donde, en principio, no puede descartarse la viabilidad de estas operaciones, al menos utilizando dos de ellas, y situando en otras distintas el bombeo complementario que sea necesario.

- Se considera en principio viable la ubicación de un bombeo complementario, a determinar en cantidad y sometido a un riguroso control, en el Acuífero Intermedio Noreste y, eventualmente, también en el Superior Noreste.

- En la medida que estas operaciones entrañan importantes riesgos e inversiones, y que su naturaleza requiere un conocimiento muy detallado que no existe en la actualidad, se considera imprescindible llevar a cabo un estudio adecuado del problema, apoyado convenientemente de las técnicas necesarias para ello: sondeos mecánicos, bombeos de ensayo, testificaciones, modelización matemática, etc. Este estudio, además de analizar la viabilidad del proyecto, y en su caso definir las operaciones concretas a realizar desde el punto de vista hidrogeológico, en cada zona, deberá diseñar los sistemas de control necesarios, tanto para validar con su seguimiento las citadas operaciones, como para asegurar que no se produzcan con ellas efectos indeseables.

Coordinador del Equipo de Trabajo

Fdo: Angel González Asensio

VºBº
El Director de
Aguas Subterráneas y Geotécnia

Fdo: Agustín Navarro Alvargonzález

FIGURAS

INDICE

- 1.- ANTECEDENTES
- 2.- ESQUEMA DE ACTUACIONES CUYA VIABILIDAD SE PLANTEA
 - 2.1.- Primer Grupo: Inyección-Recuperación. Preselección de zonas
 - 2.2.- Segundo Grupo: Bombeo Complementario
- 3.- ANALISIS PREVIO RELATIVO A LA EVENTUAL INYECCION-RECUPERACION
 - 3.1.- Zonas Descartadas
 - 3.2.- Zonas Preseleccionadas
 - 3.3.- Estimaciones Previas sobre las Zonas Preseleccionadas
- 4.- BOMBEO COMPLEMENTARIOS
 - 4.1.- Bombeo en el A.It.N./S.N.
 - 4.2.- Bombeo en el A.S.C.
- 5.- ESTIMACIONES PREVIAS RELATIVAS AL ESTUDIO DE VIABILIDAD Y SONDEOS NECESARIOS
 - 5.1.- Estudio de viabilidad
 - 5.2.- Sondeos y ensayos
- 6.- CONCLUSIONES DEL ANALISIS PREVIO

FIGURAS

FIG.1.- ACTUACIONES A ANALIZAR

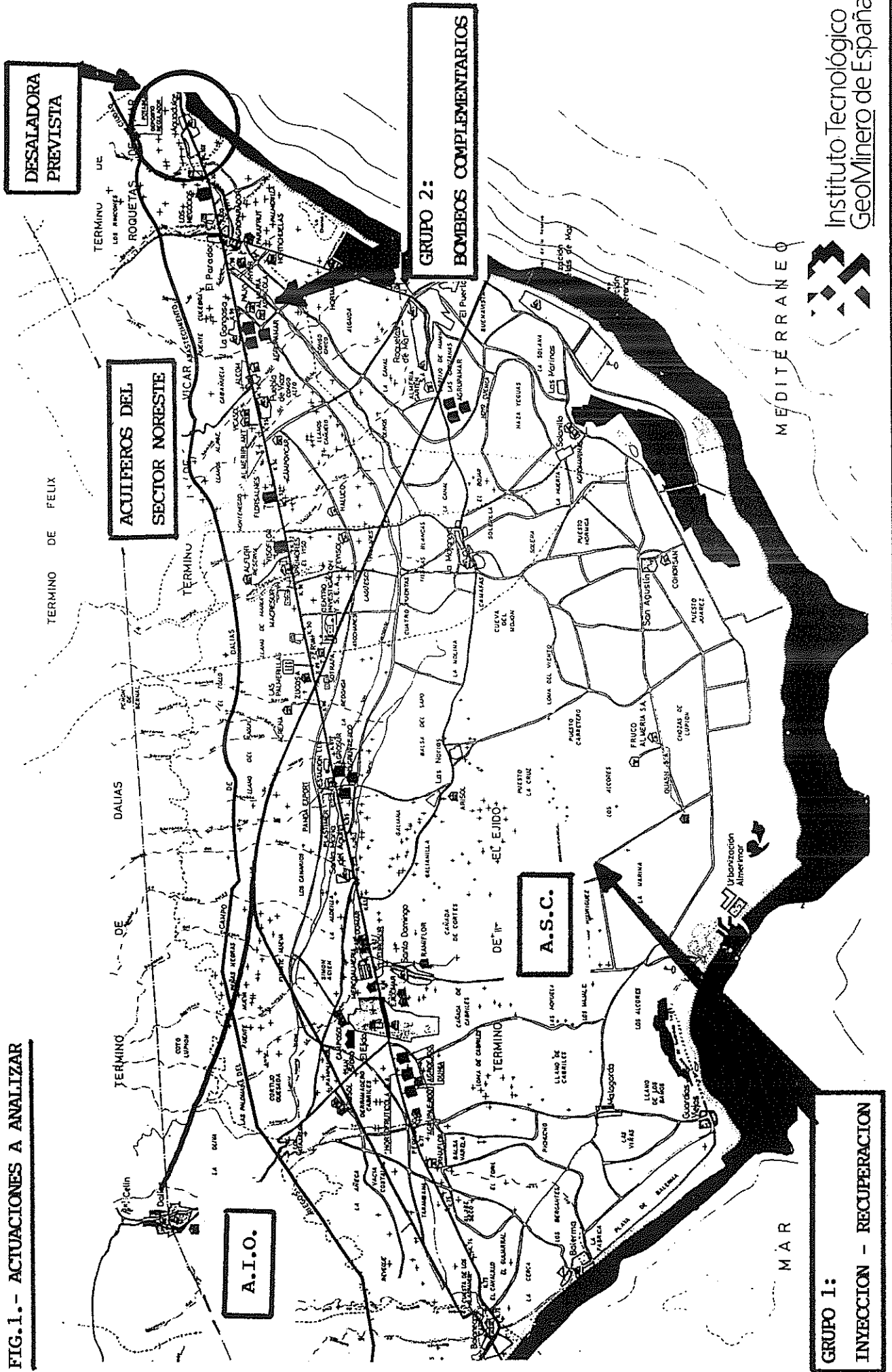


FIGURA 2.- ZONAS PRESELECCIONADAS PARA INYECCION - RECUPERACION

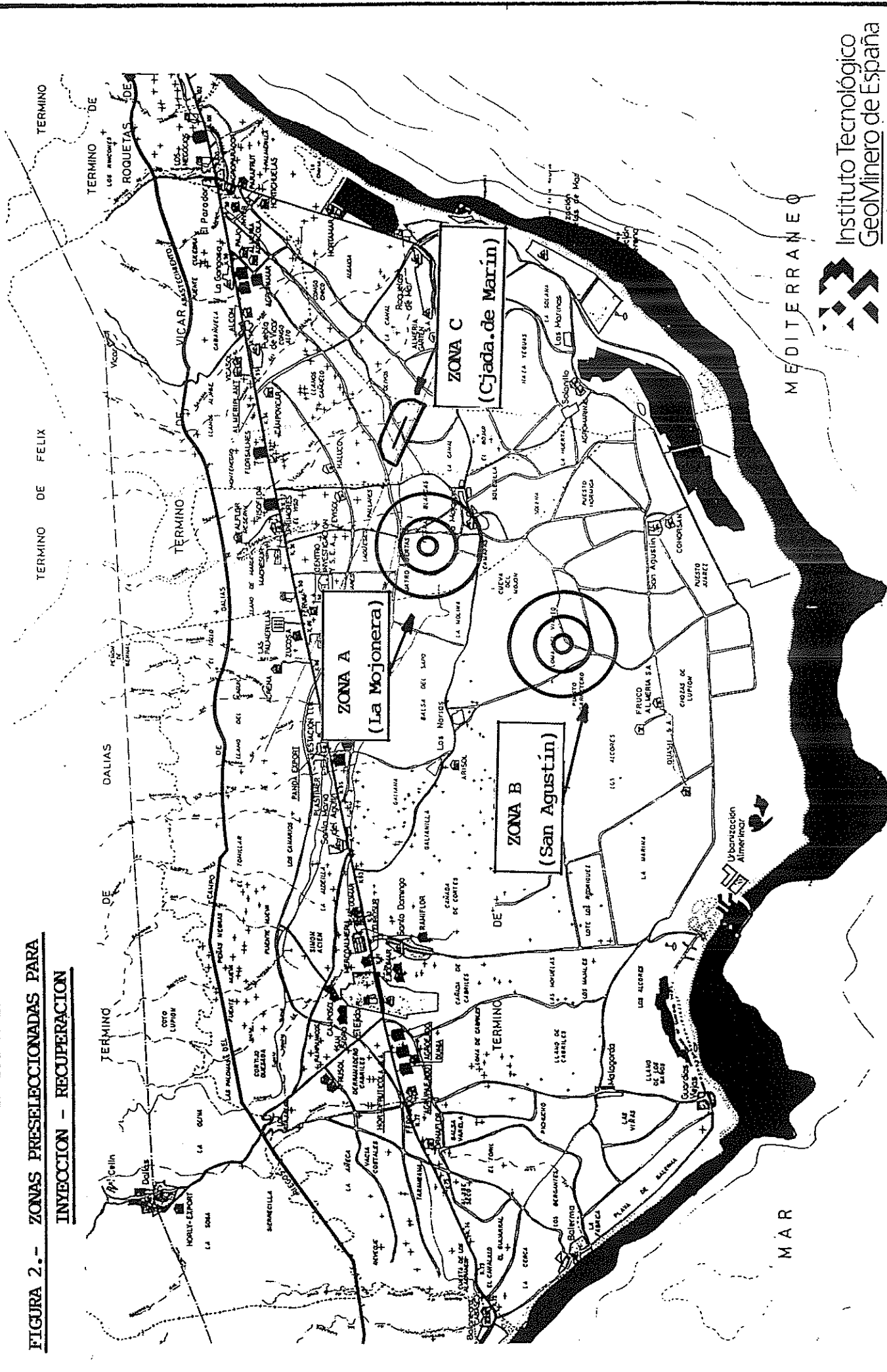
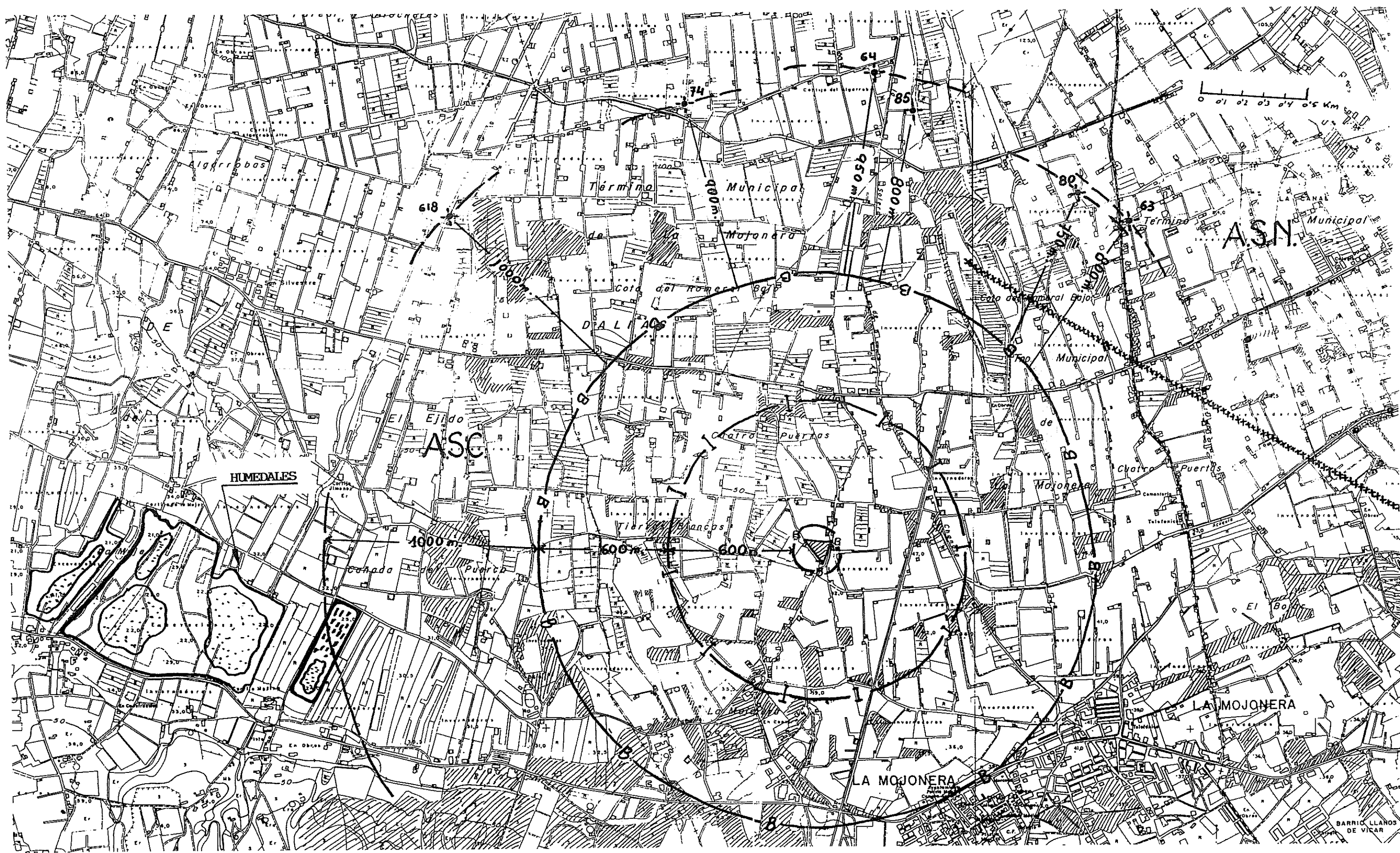


FIGURA 3.- ZONA A



 ZONAS APARENTEMENTE LIBRES

FIGURA 4.- ZONA B

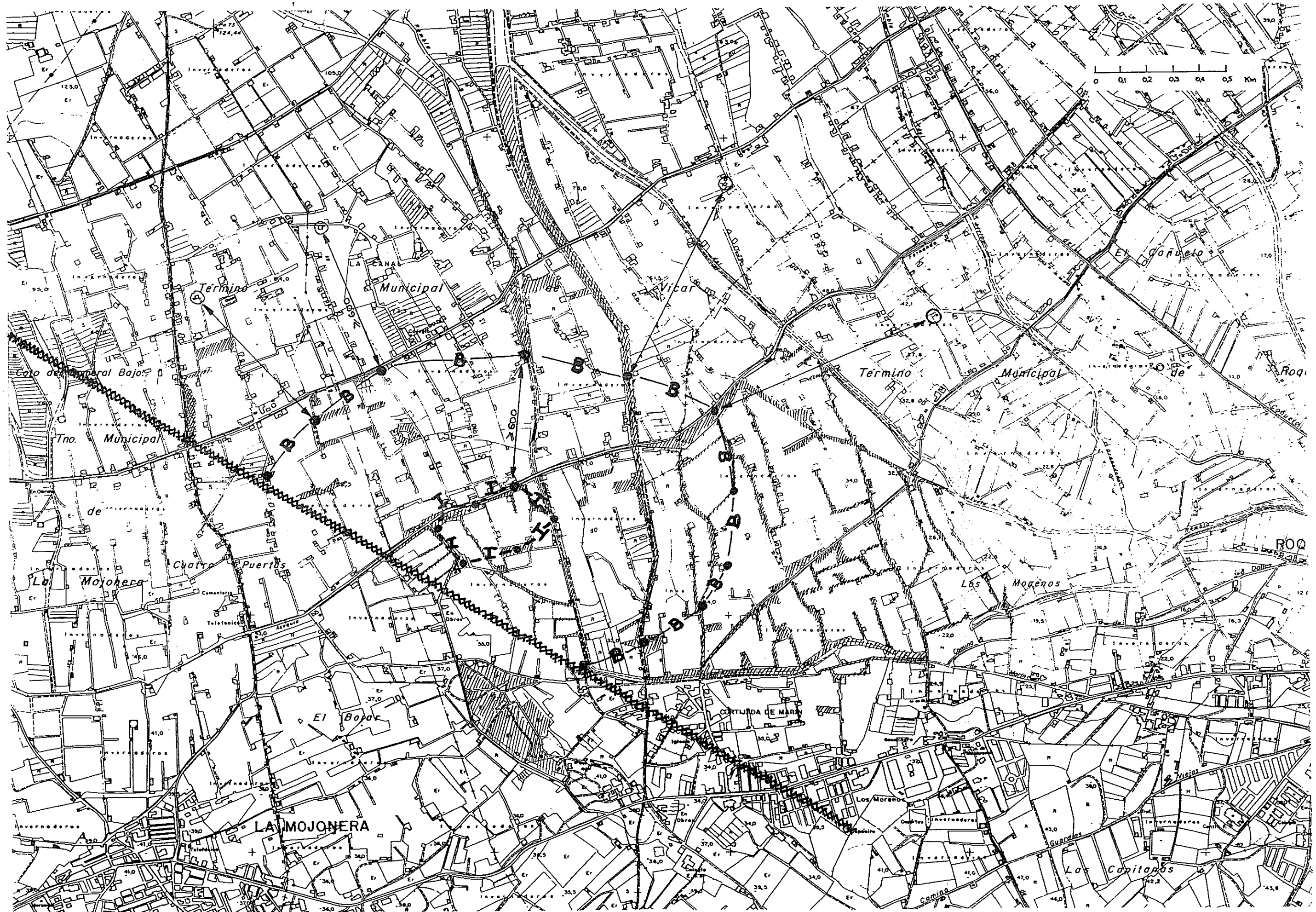


ZONAS APARENTEMENTE LIBRES



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

FIGURA 5.- ZONA C



 ZONAS APARENTEMENTE LIBRES

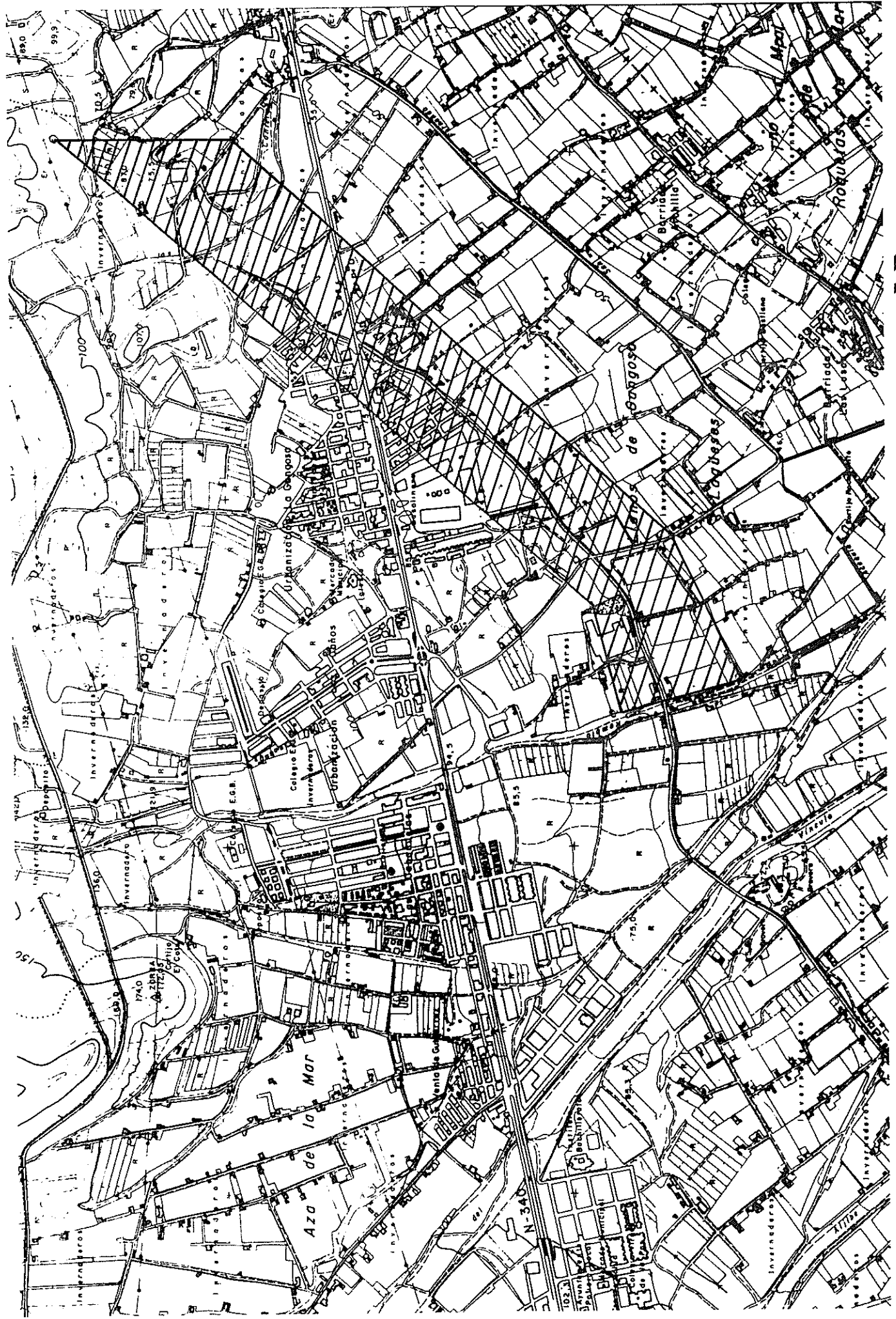


FIGURA 6.- ZONA DE BOMBEO COMPLEMENTARIO CONTROLADO EN EL ACUIFERO INTERMEDIO