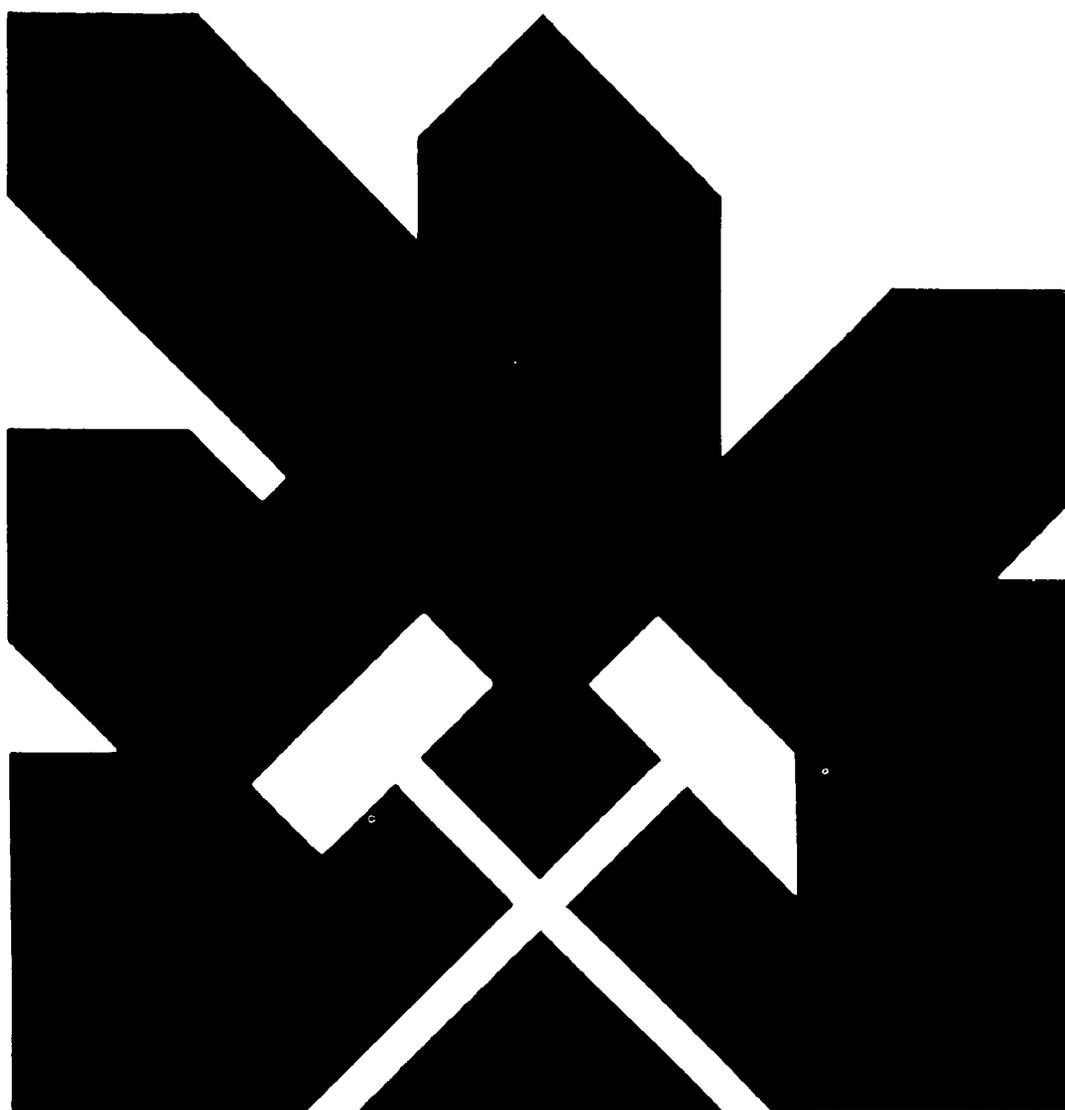


MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA
SECRETARIA DE LA ENERGIA Y RECURSOS MINERALES

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA RECARGA ARTIFICIAL
EN LAS ISLAS CANARIAS
(SUBSISTEMA ACUIFERO ARINAGA-TIRAJANA)

MEMORIA



INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

36523

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA RECARGA ARTIFICIAL
EN LAS ISLAS CANARIAS
(SUBSISTEMA ACUIFERO ARINAGA-TIRAJANA)

MEMORIA

"Convenio para la Realización de Estudios Hidrogeológicos de apoyo a la Gestión Hídrica en Asturias, Cantabria, Murcia, Castilla-La Mancha, Andalucía, Extremadura y Canarias"

I N D I C E

	<u>Págs.</u>
1.- INTRODUCCION	1
2.- OBJETIVOS Y PLANTEAMIENTOS	4
3.- TRABAJOS REALIZADOS	7
3.1.- DESCRIPCION	8
3.2.- INCIDENCIAS DE EJECUCION	13
4.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	15
5.- BIBLIOGRAFIA	25
6.- PARTE 1 ^a . SELECCION DE LA ZONA DE ESTUDIO	34
6.1.- ALTERNATIVAS	35
6.1.1.- Subsistema Acuífero 84B: Valle de Güimar	36
6.1.2.- Subsistema Acuífero 84C: Valle de San Lorenzo	37
6.1.3.- Subsistema Acuífero 84A: Arinaga - Tirajana	38
6.1.4.- Subsistema Acuífero 83C: Maspalomas	39
6.2.- CRITERIOS DE SELECCION	40
6.3.- DECISION	44
7.- PARTE 2 ^a . CARACTERIZACION DEL SECTOR ARINAGA-TIRAJANA	45
7.1.- SITUACION Y CARACTERISTICAS GENERALES	46
7.2.- CLIMATOLOGIA E HIDROLOGIA SUPERFICIAL	47
7.3.- GEOLOGIA	49

	<u>Págs.</u>
7.3.1.- Marco geológico. Unidades Volcano- Estratigráficas de la Isla	49
7.3.2.- Geomorfología	53
7.3.3.- Descripción de las Formaciones ...	54
7.3.4.- Tectónica	62
7.4.- HIDROGEOLOGIA	64
7.4.1.- Descripción de las formaciones Acuíf feras	64
7.4.2.- Esquema Hidrodinámico	67
7.4.2.1.- Modelo global de flujo ..	67
7.4.2.2.- Esquema Hidrodinámico lo- cal. Formaciones Saturadas	69
7.4.2.3.- Modelo conceptual de Flu jo en la Zona No Saturada	72
7.4.3.- Características del Acuífero y del Manto	75
7.5.- BALANCE HIDRICO	79
7.5.1.- Elementos del Balance	79
7.5.1.1.- Infiltración	79
7.5.1.2.- Alimentación lateral	79
7.5.1.3.- Retornos de Riego	84
7.5.1.4.- Infiltración de Escorren- tía de Barrancos	85
7.5.1.5.- Explotación por bombeo . Usos del agua	86
7.5.1.6.- Salidas al Mar	87
7.5.1.7.- Demandas	89
7.5.2.- Balance Interanual	89
7.5.3.- Balance 1986	90

	<u>Págs.</u>
7.6.- EVOLUCION Y ESTADO ACTUAL	92
7.6.1.- Evolución	92
7.6.2.- Situación actual	101
8.- PARTE 3 ^a . ANALISIS PRELIMINAR DE VIABILIDAD DE - RECARGA ARTIFICIAL EN EL SECTOR ARI- NAGA - TIRAJANA	108
8.1.- ANTECEDENTES	109
8.2.- NECESIDAD Y OBJETIVOS DE LA RECARGA ARTIFI CIAL EN EL SECTOR ARINAGA - TIRAJANA	115
8.3.- PLANTEAMIENTO GENERAL DE LA RECARGA EN - ARINAGA - TIRAJANA	118
8.4.- OBJETIVOS DEL ESTUDIO PRELIMINAR	119
8.5.- ELEMENTOS DE ANALISIS	120
8.6.- DISPONIBILIDADES DE AGUA	121
8.6.1.- Disponibilidades potenciales	121
8.6.2.- Estudio de las disponibilidades ..	123
8.6.2.1.- Aguas Residuales Depura- das	123
8.6.2.2.- Aguas de Escorrentía Su- perficial	125
8.6.3.- Disponibilidades Reales	127
8.7.- TIPOS DE INSTALACIONES DE RECARGA	129
8.8.- EFICACIA DE LAS INSTALACIONES. ENSAYOS PRE VIOS	131
8.9.- ESTUDIO DE PRE-VIABILIDAD	132
8.9.1.- Análisis	132
8.9.2.- Replanteamiento	134

	<u>Págs.</u>
8.10.- PROPUESTAS PARA EL FUTURO	136
8.10.1.- Esquema de recarga	136
8.10.2.- Estudios complementarios	143

INDICE DE ANEXOS

- ANEXO 1.- ESTUDIO CLIMATOLOGICO DEL SECTOR ARINAGA-TIRAJANA.
- ANEXO 2.- ACTUALIZACION DE DATOS DE INFRAESTRUCTURA: INVENTARIO, EXPLOTACION, CALIDAD QUIMICA Y USOS DEL AGUA.
- ANEXO 3.- ESTUDIO HIDROLOGICO DE AVENIDAS EN LOS BARRANCOS DEL SECTOR ARINAGA-TIRAJANA.
- ANEXO 4.- PRUEBAS REALIZADAS "IN SITU" 1.
ENSAYOS DE PERCOLACION EN SUELOS Y ENSAYOS HIDRODINAMICOS.
- ANEXO 5.- PRUEBAS REALIZADAS "IN SITU" 2.
ENSAYOS DE RECARGA ARTIFICIAL EN Balsa Y EN POZO.

INDICE DE PLANOS

- PLANO M 1.- Situación de Zonas Alternativas para Recarga Artificial en la Isla de Tenerife.
- PLANO M 2.- Situación de Zonas Alternativas para Recarga Artificial en la Isla de Gran Canaria.
- PLANO M 3.- Cuencas Vertientes y Límite del Subsistema Acuífero Arinaga-Tirajana.
- PLANO M 4.- Cartografía Geológica.
- PLANO M 5.- Perfiles Geológicos.
- PLANO M 6.- Formaciones Saturadas y Esquema de Circulación en Zona no Saturada.
- PLANO M 7.- Ilustración del Estado Actual. Ensayo de Isopiezas.
- PLANO M 8.- Ilustración del Estado Actual. Ensayo de Isocloruros y Relación $rCl/r CO_3H$

INDICE DE FIGURAS

- FIGURA M 1.- ESQUEMA GLOBAL DE FLUJO EN UN ACUIFERO INSULAR.
- FIGURA M 2.- ESQUEMA HIDRODINAMICO TEORICO DEL SUBSISTEMA ARINAGA-TIRAJANA.
- FIGURA M 3.- ESQUEMA HIDRODINAMICO ILUSTRATIVO DE LA SITUACION ACTUAL.
- FIGURA M 4.- CORTE HIDRODINAMICO TIPO EN EL SECTOR NORTE (BARRANCO DE BALOS).
- FIGURA M 5.- EXPLOTACION POR BOMBEO EN EL SUBSISTEMA ACUIFERO ARINAGA-TIRAJANA. DISTRIBUCION MENSUAL 1986.
- FIGURA M 6.- EVOLUCION DE PARAMETROS HIDROQUIMICOS Y EXPLOTACION POR BOMBEO EN POZOS REPRESENTATIVOS.
- FIGURA M 7.- IDEM.
- FIGURA M 8.- ILUSTRACION DEL ESTADO ACTUAL. PERFILES HIDROQUIMICOS.
- FIGURA M 9.- IDEM.
- FIGURA M10.- INSTALACIONES DE RECARGA ACTUALES EN EL BARRANCO DE TIRAJANA.
- FIGURA M11.- IDEM., EN EL BARRANCO DE BALOS.
- FIGURA M12.- ESQUEMA DE RECARGA PROPUESTO. INSTALACIONES EN EL BARRANCO DE BALOS.
- FIGURA M13.- IDEM. INSTALACIONES EN LOS BARRANCOS DE TIRAJANA Y DE LA LICENCIA.

INDICE DE CUADROS

CUADRO M 1.- EVOLUCION DE PARAMETROS HIDROQUIMICOS SIGNIFICATIVOS. CONDUCTIVIDAD ($\mu\text{mhos/cm}$).

CUADRO M 2.- IDEM. ION CLORURO (mg/l)

CUADRO M 3.- IDEM. RELACION $r \text{ Cl}/r \text{ CO}_3\text{H}$ en meq/l .

CUADRO M 4.- EVOLUCION DE LA EXPLOTACION ANUAL EN POZOS DEL -
SUBSISTEMA ACUIFERO ARINAGA-TIRAJANA.

CUADRO M 5.- VOLUMENES DE ESCORRENTIA SUPERFICIAL TEORICAMENTE DISPONIBLES A LA ENTRADA DEL SECTOR ARINAGA-TIRAJANA (en hm^3).

1.- INTRODUCCION

Dentro de las actividades programadas por el Instituto Geológico y Minero de España en las Islas Canarias, en el marco de la colaboración existente entre el IGME y la Dirección General de Aguas dependiente de la Consejería de Obras Públicas del Gobierno Autónomo, y atendiendo a la tradicional escasez de recursos hídricos en algunos sectores de las Islas, se incluyó un estudio hidrogeológico para recarga artificial de acuíferos, que se desarrollaría en tres fases:

- una primera fase de estudios básicos a nivel de prefactibilidad que condicionaría y, en su caso, permitiría programar
- una segunda fase que consistiría en la eventual puesta en servicio de una instalación experimental de recarga artificial, que proporcionaría la información necesaria para
- una tercera fase, que consistiría en un estudio final de factibilidad técnica y económica de una instalación permanente de recarga artificial.

Los estudios correspondientes a la primera fase, de prefactibilidad, se han desarrollado durante los años 1986 y 1987 como parte de las actividades contempladas en el Convenio para "La Realización de Estudios Hidrogeológicos de Apoyo a la Gestión Hídrica en Asturias, Cantabria, Murcia, Castilla-La Mancha, Andalucía, Extremadura y Canarias", suscrito por el Instituto Geológico y Mi

nero de España con la Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras, S.A., que viene actuando como empresa consultora del IGME en las Islas Canarias intermitentemente desde 1975 y con carácter continuo desde 1980.

El presente informe recoge la descripción de los trabajos realizados y de los resultados obtenidos en el proyecto denominado "Estudio Hidrogeológico para Recarga Artificial de Acuíferos en las Islas Canarias", que ha sido llevado a cabo por el siguiente equipo técnico de trabajo:

- Por parte del Instituto Geológico y Minero de España:

- . D. Jesús Gómez de las Heras Gandullo, Ingeniero de Minas, Director y Supervisor del Estudio.
- . D. Emilio La Moneda González, Ldo. en Ciencias Geológicas.

- Por parte de la Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras, S.A.:

- . D. Luis Angel González Fernández, Ingeniero de Minas, - Responsable del proyecto.
- . D. Ramón Olmedo Villarejo, Ingeniero Técnico de Minas.
- . D. Pedro Rosa Farina, Auxiliar de campo.

2.- OBJETIVOS Y PLANTEAMIENTOS

Tal como se indica en la introducción de este informe, el objetivo global del estudio consiste en establecer las bases y criterios necesarios para un estudio posterior, a nivel de factibilidad, que comportará un análisis de viabilidad técnica y económica de la operación de recarga junto con el diseño y puesta en servicio de las obras requeridas por una instalación de recarga artificial, primero con carácter experimental y, si es viable, con carácter permanente.

En función de este objetivo general de estudios básicos quedan fijados los objetivos concretos de este proyecto, que consisten en:

- Elegir el sector de Sistema Acuífero Insular más adecuada para la realización del primer estudio piloto.
- Estudiar con detalle las características de la zona elegida y sus posibilidades de cara a constituirse en sede de una instalación de recarga artificial. Esto implica un conocimiento detallado de la hidrología e hidrogeología de la zona y del sistema acuífero presente, con especial énfasis en los siguientes aspectos:
 - . geología de superficie y de subsuelo,
 - . régimen de explotación y utilización del agua subterránea,
 - . origen y volumen de los recursos de agua excedentes,

- . selección de las zonas más apropiadas geológica e hidrogeológicamente, para recarga artificial y,
 - . estudio de la capacidad real de filtración de agua de dichas zonas.
- Realizar un análisis de evaluación preliminar basado en las disponibilidades de agua y en ensayos experimentales, que permita decidir sobre la viabilidad de la recarga y, en caso afirmativo, elaborar un anteproyecto que recoja las conclusiones preliminares, el diseño conceptual del esquema de recarga y el programa de trabajos adicionales que sean necesarios para el diseño de la instalación y la valoración definitiva de la operación de recarga artificial.

Para dar cumplimiento a estos objetivos se preparó y ejecutó un programa de trabajos que, de acuerdo con el planteamiento anterior, se puede estructurar en las tres partes o fases siguientes:

- 1.- Selección de la zona de estudio.
- 2.- Caracterización de la zona.
- 3.- Ensayos experimentales previos y análisis de viabilidad.

y que, en su conjunto, está compuesto por las actividades que se describen de forma resumida, junto con sus principales objetivos y características, en el apartado siguiente.

3.- TRABAJOS REALIZADOS

3.1.- DESCRIPCION

1.- Selección de la Zona de Estudio

El proceso de selección tenía por objeto elegir la zona más adecuada para realizar en ella el primer estudio de recarga artificial, que sirviera como base de referencia para, en su caso, extenderlo a otras zonas de las Islas Canarias.

"A priori", existían cuatro posibles sectores, dos en la Isla de Tenerife, Valle de Güimar y Valle de San Lorenzo, y dos en la Isla de Gran Canaria, sector de Maspalomas y zona de Los Llanos de Arinaga-Tirajana.

El sistema de selección se basó en una serie de criterios objetivos, de naturaleza hidrogeológica, y subjetivos, basados en la experiencia y el conocimiento que se posee de las Islas. En la decisión final los dos tipos de criterios se inclinaron por el sector de Arinaga-Tirajana como más indicado para realizar el presente estudio.

De forma simultánea con la elección de la zona de estudio quedó definido el origen del agua potencialmente disponible para la futura recarga, puesto que, la existencia de recursos excedentes, y su origen, es una característica propia de cada zona, siendo, por tanto, un aspecto del estudio impuesto por la zona. En el Sector de Arinaga-Tirajana las únicas fuentes potenciales de recursos excedentes son las aguas residuales depuradas y las aguas de escorrentía que circulan por los barrancos ocasionalmente.

2.- Características de la zona

- Reconocimiento Geológico.- Se ha realizado un estudio geológico exhaustivo, tanto de la distribución superficial de los terrenos como de la estructura en profundidad. La intensidad del estudio obedece, no a un intento genérico de afinar el conocimiento geológico, sino que este estudio se enfocó con tres objetivos muy concretos:

- . conocer la disposición en superficie de las distintas formaciones sedimentarias con objeto de determinar aquellas más favorables para recarga,
- . idem de las volcánicas, sobre todo las más recientes con objeto de identificar las posibles vías de circulación de agua desde la superficie hasta la zona saturada,
- . conocer la estructura vertical para identificar la distribución de las distintas series volcánicas, formaciones saturadas y espesor de acarreos suprayacentes al volcánico.

- Actualización Hidrogeológica.- Uno de los requisitos previos indispensables para, justificar primero y desarrollar o proyectar después, una recarga artificial es un buen conocimiento del acuífero o acuíferos presentes en la zona, tanto en lo que se refiere a sus características como a su estado de explotación. Por ello durante este proyecto y dentro de las posibilidades presupuestarias del mismo, se ha realizado un esfuerzo notable para actualizar y aclarar en lo posible todos los aspectos que caracterizan a un acuífero explotado de una forma exhaustiva, como lo es el sector costero de Arinaga-Tirajana. En concreto, se ha profundizado en los siguientes aspectos:

- . Actualización exhaustiva del inventario de pozos, tanto de los pasados o abandonados como de los que están en activo, y de los volúmenes de agua que se extraen del acuífero. En total se encuestaron o visitaron 121 pozos, con medida de profundidad de nivel de agua y toma de muestra de agua para análisis hidroquímico, datos fundamentales para establecer el estado actual del acuífero y estudiar su evolución en el tiempo. Igualmente se recabó información sobre volumen extraído, régimen de explotación y usos a los que se aplica el agua extraída - con objeto de tener una idea aproximada de las demandas de agua (usos) por sectores y su modulación anual.
- . Estudio de las vías posibles de circulación de agua en la franja no saturada en los materiales volcánicos mediante la observación de la disposición geométrica de los diferentes episodios eruptivos, sobre todo los más modernos, que son los que tienen mayor permeabilidad. Este estudio se ha realizado aprovechando el reconocimiento geológico de detalle que se efectuó en campo, tanto de cartografía como de reconocimiento geomorfológico de cauces de barrancos, puesto que en terrenos volcánicos es relativamente fácil la selección de materiales - basada en la inspección visual, tanto en lo que se refiere a sus características hidráulicas como a la localización de afloramientos y su extensión y disposición superficial, cuyo conocimiento es fundamental para una formación pueda ser considerada como vía favorable o preferente para la circulación de agua de infiltración en régimen no saturado o, por el contrario, como elemento de impedimento de infiltración y retención del agua en superficie.
- . Reconocimiento hidrodinámico con objeto de: obtener de los coeficientes de formación (T, S y/o me), si es que pueden denominarse así en terrenos de hidrodinámica tan

atípica como lo son los materiales volcánicos, de las formaciones saturadas, y de adquirir una idea, al menos cualitativa, de la capacidad de infiltración o percolación de los terrenos en superficie.

El comportamiento hidrodinámico del acuífero se ha estudiado a partir de 5 bombeos de ensayo (3 en basaltos antiguos y dos en fonolitas) y 1 ensayo de mareas en basaltos antiguos,

El estudio de la capacidad de percolación de los distintos terrenos sedimentarios, se ha realizado por medio de una campaña de ensayos de percolación de duración reducida, según una adaptación de la metodología recomendada en las normas del U.S. Soil Conservation.

- . Actualización de los valores de la tasa de recarga directa por lluvia mediante un análisis climatológico utilizando el programa THORDIA que posibilita el cálculo automático de ETP, ETR, lluvia útil e infiltración mediante una adaptación que aplica el método de Thornthwaite con periodicidad diaria.
- . Por último, establecimiento de los balances hídricos, estudio de la evolución seguida por el acuífero y análisis de la situación actual de sobreexplotación a que está sometido el sector de acuífero basal bajo los llanos de Arinaga y Tirajana.

- Disponibilidades de Agua.- Como consecuencia inmediata del aprovechamiento intenso que se realiza en las Islas Canarias de los recursos de agua captados, provocado por la benignidad del clima, que posibilita una agricultura de cultivos intensivos casi todo el año, el origen del agua aplicable a una eventual recarga artificial se reduce a dos posibilidades únicamente: aguas residuales y aguas de escorrentía episódica procedente de lluvias in-

tensas que se producen de tiempo en tiempo.

Ambos tipos de agua han sido estudiados según la información disponible, que es escasa.

En el caso de las aguas residuales tratadas se ha recabado información sobre los planes de instalación de E.D.A.R. en los organismos públicos competentes: Cabildo Insular y Servicio Hidráulico.

Por su parte en el caso de las aguas de avenidas, que circulan ocasionalmente por los barrancos se puede decir que no existía ninguna información de partida por cuya razón se ha realizado un análisis hidrológico utilizando la metodología preconizada por el Soil Conservation Service (USA), que permite estimar los caudales y volúmenes de agua de avenida en diferentes puntos del cauce y su probabilidad de presentarse en el tiempo.

3.- Ensayos experimentales

Aunque inicialmente sólo estaba previsto un ensayo de recarga en pozo de corta duración (unas 8 horas), el avance de los trabajos y el desarrollo de las ideas sobre el esquema racional de recarga a utilizar en la zona, aconsejó modificar la planificación en el sentido de realizar los ensayos de recarga, uno en balsa y otro en pozo, y aumentar la duración de los mismos a un período de tiempo de 24 horas, considerado como duración media.

Así se realizaron dos ensayos que, por necesidades de adecuación al régimen de bombeos de la zona y condicionados por las dificultades de conseguir una instalación adecuada y de disponer del agua precisa, tuvieron una duración de 21 horas de ensayo en balsa, realizado a carga constante variable en varios escalones, y de 18 horas el ensayo de inyección en pozo realizado a caudal constante.

Con la información acumulada a lo largo del proyecto, especialmente la referente a recursos de agua disponible y a los resultados de los ensayos de infiltración, se realizó el análisis de previabilidad de recarga artificial cuya entidad quedó reducida al mínimo, así como el anteproyecto de recarga que se limitó a un estudio teórico de posibilidades de instalaciones puntuales y a la mejora en la gestión de las aguas en su conjunto.

3.2.- INCIDENCIAS DE EJECUCION

El progreso y, a veces, el contenido de las actividades que forman este Estudio se ha visto condicionado en sentido negativo, fundamentalmente, por dos razones:

- La primera de las razones es el ritmo de las extracciones a que está sometido el acuífero tanto en intensidad como en régimen temporal, que tiene como consecuencia que el manto de agua esté deprimido durante todo el año en mayor o menor grado. La consecuencia inmediata es que no existe la posibilidad de seguir la evolución de los niveles piezométricos. Por otra parte, el período de riesgos más intensos, por la zafra del tomate, va de septiembre-octubre a marzo-abril, circunstancia que ha provocado un importante desfase en el proyecto, puesto que la campaña de bombeos de ensayo tuvo que ser retrasada hasta el mes de marzo de 1987, cuando la zafra ya estaba casi acabada. La posibilidad de disponer de agua para los ensayos de recarga, estuvo también muy mediatizada por la explotación, incluso más que los bombeos, hasta el punto que la ejecución de los ensayos debió posponerse hasta principios del mes de julio.
- Un segundo motivo que afectó negativamente al Estudio, aunque con menor importancia, fue la aprobación de la Ley de Aguas en las Islas y la normativa sobre reprofundización de pozos, que, en muchos, retraen a los propie

tarios a facilitar el acceso a las captaciones (de hecho, algunas no han podido ser encuestadas), y condicionan informaciones incompletas de caudales y tiempo de bombeo.

Afortunadamente, esta última dificultad no es generalizada, antes bien minoritaria, siendo necesario dejar constancia de que, como contrapartida, el Estudio ha encontrado colaboraciones decisivas que han hecho posible la ejecución de los trabajos previstos.

Este fue el caso de:

- El Servicio Hidráulico de Las Palmas, que ha facilitado los datos de climatología y depuración de aguas residuales.
- La Asociación Mixta de Compensación del Polígono de Arinaga, que ha prestado una colaboración generosa y capital para el desarrollo de los bombeos de recarga, especialmente el ensayo en balsa.
- Por último, el propietario del pozo nº de inventario 424330006 que ha puesto amablemente el pozo y las instalaciones a disposición del Proyecto, tanto para la realización de bombeos de ensayo como para el ensayo de recarga en pozo.

4.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El conjunto de trabajos realizados ha permitido obtener conclusiones que dan respuesta a los tres niveles de objetivos establecidos como fines concretos del Estudio Hidrogeológico para Recarga Artificial de Acuíferos en las Islas Canarias. Son las que se describen seguidamente.

1. Se ha puesto de manifiesto, una vez más, que la Isla de Gran Canaria es, dentro del Archipiélago Canario, la que tiene mayores problemas con el agua en la doble vertiente de, la gran dificultad existente para hacer acopio de los recursos necesarios para hacer frente a la demanda y que la mayor parte de los recursos son de origen subterráneo y deben ser extraídos por bombeo, lo cual se traduce en un impacto negativo sobre el equilibrio hidrodinámico del Sistema Acuífero Insular, sobre todo en algunas zonas concretas.

La zona que registra un mayor desequilibrio es el denominado Subsistema Acuífero Arinaga - Tirajana, que, por ello, fue elegida para desarrollar el estudio después de un proceso de selección en el que también se consideraron los Subsistemas de Maspalomas (Isla de Gran Canaria) y Valle de Güimar y Valle de San Lorenzo, ambos en la Isla de Tenerife.

2. El Subsistema Acuífero Arinaga - Tirajana está situado en el S.E. de la Isla de Gran Canaria, ocupando una extensión

aproximada de 100 km², de topografía suave a resultas de estar formada por sucesivos aportes de acarreos aluviales de los Barrancos de Bales y Tirajana que desembocan en la zona, con un clima cálido y árido con temperatura media anual de 20,3^o C y lluvia media de 150,7 mm/año, y un régimen de escorrentías intermitentes que sólo se producen en períodos aislados de lluvias muy intensas.

- La topografía favorable y la benignidad del clima dan a la zona un potencial agrícola teóricamente equivalente a su superficie, pero que está condicionado, por la limitación que impone la escasez de agua, al cultivo de un total medio anual de 2.000 ha. de regadío itinerante que demandan un volumen de 14 hm³/año.
- La población humana (unos 45.000 habitantes) y las industrias radicadas en la zona demandan 1,5 hm³/año de agua para abastecimiento.
- No es posible identificar el grado de satisfacción de estas demandas propias porque no es posible discernir sobre el origen del agua que se les aplica, puesto que el régimen de propiedad del agua da lugar a continuos trasvases entre distintas zonas y es seguro que una parte del agua extraída en esta zona se destina al norte (Las Palmas) o al Sur (zona turística). Por el balance explotación-demandas se puede deducir que la cobertura es aceptable para la demanda actual, pero su crecimiento está anulado por la falta de recursos de agua.
- El principal acuífero explotado está constituido por

los basaltos del Ciclo I que, al norte del Barranco - de Tirajana, están bajo los materiales del aluvión al bergando un manto de carácter libre.

Al Sur de Tirajana los basaltos están confinados bajo una potente formación de fonolitas, existiendo la du- da de que, si los pozos excavados en ellas extraen - agua de las fonolitas o de formaciones infrayacentes, concretamente los basaltos antiguos.

- La permeabilidad del acuífero oscila entre 0,2 y 85 - m/día reflejando la gran heterogeneidad de las forma- ciones volcánicas, siendo más probables los valores - bajos, de 0,2 a 5 m/día, que los que superen este últi- mo valor.
- El manto está captado por más de un centenar de pozos de gran diámetro (2-3 m) que llegan a alcanzar profun- didades de hasta - 170 metros bajo el nivel del mar . En la actualidad, están en activo 77 pozos, que ex- traen agua por bombeo de forma casi continua, dando - lugar a una explotación intensiva, que alcanza los 18 hm³/año (4,9 hm³ dedicados a abastecimiento urbano e industrial y 13,2 hm³ destinados a riegos) en los úl- timos años, y que ha desembocado en una situación de deterioro del acuífero caracterizada por:
 - . Un manto de agua permanentemente deprimido como - consecuencia de una explotación uniforme a lo largo del año, máxima de 1,6 hm³/mes (Noviembre y Diciembre) y míni- ma de 1,1 hm³/mes (Junio).
 - . Una superficie piezométrica con profundos conos de

desaturación y/o depresión que alcanzan cotas de -
- 150 m bajo el nivel del mar, en períodos de máxi
ma extracción, y - 80 m en los períodos de menores
bombeos, dando al conjunto del Subsistema un aspect
to de sumidero que provoca una alimentación radial
procedente del resto del acuífero insular y del -
mar, evaluada en $10,6 \text{ hm}^3$ en 1986 ($6,0 \text{ hm}^3/\text{año}$ de
media).

- . Una sobreexplotación, que se traduce en una extrac
ción de reservas cifrada en $4,5 \text{ hm}^3$ en el año 1986
($3,6 \text{ hm}^3/\text{año}$ de media), resultado del balance entre
las entradas, por infiltración de lluvia de 0 hm^3 -
($2,3 \text{ hm}^3/\text{año}$ de media), laterales de $10,6 \text{ hm}^3$ ($6,0$
 $\text{hm}^3/\text{año}$), retornos de riegos $2,8 \text{ hm}^3/\text{año}$ y esco
rrentía superficial de $0,0 \text{ hm}^3$ ($0,5 \text{ hm}^3/\text{año}$), y sa
lidas por bombeo $17,9 \text{ hm}^3$ ($15,0 \text{ hm}^3/\text{año}$ como media)
y al mar, 0 hm^3 en 1986 ($0,2 \text{ hm}^3/\text{año}$).
- . Un empeoramiento de la calidad del agua por salini
zación, debida al avance lento de la interfase agua
dulce-agua salada hacia el interior del acuífero ,
y, en menor medida, por la movilización de agua pro
funda del interior de la isla de circulación lenta
y, por tanto, que se ha cargado en sales por disolu
ción.

La intrusión se manifiesta por valores altos de re
lación $r_{\text{Cl}}/r_{\text{CO}_3\text{H}}$ (indicador hidroquímico fiel de
la intrusión) que llegan a alcanzar valores superio
res a 50 en dos sectores alejados de 3 a 4 km de la
costa.

- En conjunto puede decirse que el Subsistema ha seguido una evolución hasta un estado de desequilibrio progresivo, sostenido por la gran inercia del Acuífero Insular con una carga de agua dulce muy importante aún (100 m.s.n.m. a pocos centenares de metros hacia el interior de las zonas deprimidas bajo el nivel del mar), pero al que es necesario aplicar medidas de control y corrección, puesto que las normas dictadas por la Administración Regional de impedir reprofundizaciones de pozos por debajo del nivel del mar, van a suponer un freno al aumento de la sobreexplotación, pero, como mal menor, van a mantener las extracciones por bombeo en la tasa actual que, de por sí, supone una extracción de reservas importantes (4 a 5 hm³/año) en los últimos años.

- De la actualización de datos hidrogeológicos del Subsistema se deduce una conclusión de carácter práctico importante, que se refiere a la imposibilidad de cuantificar el análisis de la evolución del acuífero, porque los estados de referencia son siempre relativos. Es decir, los datos de piezometría y calidad, corresponden a estados puntuales del manto, diferentes en cada campaña y que podrían ser sustancialmente distintos si se registrasen unos días antes o después, y todo ello no es a nivel general de manto, sino que cada pozo individualmente podría tener una tendencia distinta dependiendo si está en período de aumento o disminución de intensidad de bombeo.

- Como complemento a la caracterización hidrogeológica se realizaron dos ensayos de recarga artificial para

tener una primera valoración de la capacidad de filtración a través de la zona no saturada en acarreo (ensayo en balsa) y de la capacidad de infiltración directa en basaltos saturados (ensayo en pozo).

- . El ensayo de recarga en balsa, ha proporcionado un primer valor de los parámetros necesarios para diseños posteriores, caudal de infiltración (Q_{INF}) en l/s, y velocidad aparente de infiltración (VAI), en m/día que representa la altura de lámina de agua infiltrada por unidad de superficie y día. Los valores respectivos, en función de la profundidad de balsa o zanja h (au), son

$$Q_{INF} = 0,17 + 1,39 h$$

$$VAI = 959 + 4,80 h$$

Por su parte, el máximo rendimiento se obtiene para alturas de balsa a partir de 0,6 metros.

- . El ensayo de recarga en pozo ha permitido comparar el comportamiento del acuífero bajo depresión y sobrepresión de las mismas características, obteniéndose como conclusión que el caudal específico en inyección es del orden del 75% del caudal específico en bombeo; a la inversa la depresión específica en inyección es un 30% mayor que en bombeo. Como dato de diseño se ha obtenido la expresión

$$\Delta_I - \Delta_B = 0,77 \log t - 2,13$$

que permite estimar la sobrepresión que se producirá

al cabo de un cierto tiempo, cuando se inyecta un caudal igual al de bombeo, conociendo la depresión que se produce al cabo del mismo tiempo de bombeo.

3. Del análisis preliminar de viabilidad se deduce que la recarga artificial no es una solución solvente para remediar la situación deficitaria en que se encuentra el Subsistema, porque los recursos, teóricamente disponibles, para ser suministrados al acuífero por infiltración inducida, no justifican una instalación de recarga de carácter permanente con los costes de inversión y mantenimiento que ello supondría, puesto que la instalación sólo entrará en servicio de forma intermitente e irregular en el tiempo, y los posibles excedentes utilizables son muy inferiores a la tasa de sobreexplotación anual.

- Por un lado, las aguas residuales no constituyen, de momento, alternativa válida porque sólo se podría utilizar el agua tratada por la Estación Depuradora del Sureste que tiene una capacidad nominal de 70 l/s, es decir $2,2 \text{ hm}^3/\text{año}$.
- Por otro lado las avenidas, que se presentan esporádicamente en el tiempo, tienen una probabilidad de presentar una aportación de 2 hm^3 ($1,3 \text{ hm}^3$ en el Barranco de Balos y $0,7 \text{ hm}^3$ en la cuenca baja de Tirajana) una vez cada 20 años. Incluso, en el caso hipotético de que se diera una conjunción de lluvias y los aportes correspondientes a avenidas de períodos de retorno de 2, 5, 10, 15 y 20 años, se reuniesen en un mismo espacio de tiempo, p.e.: una semana o 15 días anormalmente lluviosos, la aportación total sería de 6 hm^3

(4 hm³ en Barranco de Balos y 2 hm³ en Barranco de Tirajana) con probabilidad de presentarse una vez cada 20 años.

- En cualquiera de los dos casos, la rentabilidad no es buena porque, el agua depurada habría que bombearla a la zona de recarga, en parte está comprometida para riegos y es más fácil y económico que se utilice totalmente para riegos mezclada con agua de pozo en vez de preparar una instalación de recarga expresamente para ella, y el agua de escorrentía sólo afecta un máximo teórico de 6 hm³ una vez cada 20 años, que frente a una extracción anual de unos 5 hm³ de reservas no supondría más que un 30% del sobrebombeo en ese periodo de 20 años.

4. No obstante, de cara al futuro, la recarga artificial sí tendría papel, como medio de captación de unos recursos de agua, no importa si pocos o muchos, que en caso contrario se perderían en el mar, dentro de un esquema global de gestión, aprovechamiento y explotación racional de los recursos hídricos de la Isla, cuyas líneas maestras en el sector de Arinaga - Tirajana serían:

- Utilización de las aguas residuales tratadas, como alternativa para regadío, solas o mezcladas con agua bombeada, lo cual permitiría reducir, en una cantidad equivalente, el volumen de agua extraído del acuífero por bombeo.
- Captación de las aguas superficiales de las avenidas mediante un dispositivo compuesto por obras robustas,

sencillas y baratas, a base de diques, zanjias y pozos, que, a la vez, servirían como medio de almacenaje en el acuífero por infiltración inducida desde las zanjias o directa desde los pozos abandonados.

Se propone un esquema de instalaciones (prediseño base para un proyecto de detalle) compuesto por

- . 18 diques y un sistema de zanjias de perímetro y su superficie equivalentes de 15.000 m y 100.000 m² - respectivamente, profundidad de 0,5 a 1 m con una capacidad de infiltración (las zanjias) máxima teórica de 0,5 hm³/día, en el cauce del Barranco de Balos
 - . 1 dique en el cauce del Barranco de la Licencia.
 - . 3 diques y un sistema de balsas de perímetro y superficie respectivos de 15.000 m y 980.000 m², profundidad 1,5 a 2 m y una capacidad máxima teórica - de infiltración de 4,9 hm³/día.
- Regulación de los bombeos, en combinación con un sistema de control de la interfase a base de sondeos, - con objeto de lograr una situación de equilibrio que permita extraer el volumen óptimo por bombeo y mantener anuladas las salidas de agua dulce al mar.

5.- BIBLIOGRAFIA

ABDULRAZZAK, M. & MOREL-SEYTOUX, H. (1983). "Recharge from an Ephemeral Stream Following Wetting Front Arrival to Water Table". Water Resources Research, Vol. 19, nº 1. pp. 194-200.

ANGUITA, F. (1972). "La evolución magnética en el cielo Roger Nublo". Est. Geol., 32, 279-324.

ARCHAMBAULT, J., BIZE, J. & MARGAT, J. (1968). "Données sur l'alimentation artificielle des nappes souterraines". Rapport 68 SGL020 HYD, BRGM. Orléans-La Source, Francia.

ARCHAMBAULT, J., BIZE, J. & MARGAT, J. (1968). "Alimentation artificielle des nappes souterraines". Bull. B.R.G.M. - Sect. 3. Hydrogéologie.

BALCELLS, R., BARRERA, J.L. (en prep.) "Serie MAGNA. Hoja de Arucas: 83-81; 83-82. Escala 1/25.000". IGME.

BARRERA, J.L. y GOMEZ, J.A. (en prep.). "Serie MAGNA. Hoja San Nicolás: 81-84; 82-84, Escala 1/25.000". IGME.

BEHNKE, J.J. (1978). Clogging in surface spreading operations for artificial ground water recharge". W.R.R. Vol. 5 nº 4 pp. 870-876.

BESBES, M, DELHOME, J.P., & MARSILY, G. (1978) "Estimating Recharge From Ephemeral Streams in Arid Regions: A case Study at Kaironan". Tunizia. W.R.R., Vol. 14, nº 2.

- BIANCHI, W.C., & E.E. HASKELL, Jr. (1968). "Field observations - compared with Dupuit-Fochheimer theory for mounds a recharge basin" W.R.R., 4, pp. 1049-1057).
- BIANCHI, W.C., & MUCKEL, D.C. (1970). "Ground water recharge - hydrology". U.S. Dpt. of Agriculture. A.R.S. AR-541-161.
- BIANCHI, W.C., & LANG, G.J. (1974). "The city of Fresno S. Leaky acres ground-water recharge project; construction - and performance. J.Amer.Wat.Works. AR. USA.
- BIANCHI, W.C., & LANG, G.J. (1978). "A one history to evaluate the performance of water spreading projects". J.A.W.W. - págs. 176-180, 1978.
- BIZE, J., BOURGUET, L. & LEMOINE, J. (1972). "L'alimentation artificielle des nappes souterraines". Masson Ed. París.
- BLAIR, A.H. (1974). "Le colmatage des couches superficielles - pendant la recharge artificielle". Bull. B.R.G.M. - section III, nº 2, Francia.
- BOUCART, N. & JEREMINE, F. (1937). "La Grande Canarie. Etude - Geologique et lithologique". Bull. Volcanol., 2, 2, - 3-77.
- BOURGUET, L. (1971). "Inventaire international des aménagements d'alimentation artificielle: dépouillement et synthèse des réponses". Bull. B.R.G.M., 2ª Serie, Sec. III. nº 3 pp. 43-80, París. También en Bull. Int. Asoc. Scientific Hydrology, Vol. XVI. nº 9, pp. 51-102.
- BOVWER, H. (1962). "Analyzing ground-water mounds by resistance network". J. Irrig. Drain. Div. Proc. Amer. Soc. Civ. Engrs. 88 (IR3) pp. 15-36-

- BOVWER, M. (1965). "Theoretical aspects of seepage from open channels". J. Hydraul., Div., Proc. Amer. Soc. Civil Engrs., 91 (HM3), pp. 37-59.
- BROCK, R.R.; AMAR, A.C. (1974). "Ground-water recharge strip Basin experiments". Proc. Amer. Soc. Civ. Engrs. J-Hydraul. Div. USA.
- COOPER, H.H. (Jr) & JACOB, C.E. (1946). "A generalizaed graphical method for evaluating formation constants and summarizing well field history. Trans. Amer. Geogh. Union, Vol 27. 526-534.
- CREMILLE, L. & RAMON, S. (1970). "Méthode de recherche systématique des sites favorables à l'alimentation artificielle des nappes libres" Rapport 70 SGN 343 NPA, BRGM, Orléans-La Source, Francia.
- CUSTODIO, S. (1986). "Recarga Artificial de Acuíferos. Avances y Realizaciones". Bol. Inf. y Est. Servicio Geológico, - MOPU.
- CUSTODIO, E., VILARO, F. (1976). "Recarga artificial de acuíferos subterráneos". Hidrogeología Subterránea. Ed. E. Custodio y M.R. Llamas. Edic. Omega. Vol. II. Sec. 19. pp. 1983-2026. Barcelona.
- EDWORTHY, K.J. (1974). "Les transferts d'eau au-dessous des sites de recharge artificielle". Bull. B.R.G.M., section III n° 2, Francia.
- FERRIS, J.G. (1963). "Cyclic Fluctuations of water level as a Basis for Determining Acuífer Transmissibility". Water Supply, Paper, n° 1536. I U.S. Geological Survey.

- FREEZE, R.A. & CHERRY, J.A. (1979). "Ground-water". Ed. Prentice Hall; Englewood Cliffs, New Jersey.
- FUSTER, J.M., HERNANDEZ-PACHECO, A., MUÑOZ, M., RODRIGUEZ BADIO-LA, E. y GARCIA CACHO, L (1968). "Geología y volcanología de las Islas Canarias. Gran Canaria". Instituto Lucas Mallada. C.S.I.C.
- HANTUSH, M.S. (1964). "Hydraulics of well". In Advances in - Hydroscience, Van Te Chow Ed., Vol. 1. Academic Press. New York.
- HANTUSH, M.S. (1967). "Growth and delay of ground-water normals in reponse to uniform percolation". W.R.R., 3, pp. - 227-234.
- HAUSEN, H. (1962). "New contributions to the geology of Gran Canaria (Gran Canaria)". Soc. Sci. Fenn. Comm. Phys-math., 27, 1, 1-418
- HERAS, R. (1972). "Evaporación en superficies libres". Manual de Hidrología, Vol. 2, Sec. 2, pp. 151-293. Instituto de hidrología. D.G.O.H., C.E.H.
- HERMAN, R. (1976). "Estudio petrológico-estructural del Complejo Traquisienítico de Gran Canaria". Est. Geol., 32, - 279-324.
- HERNANDEZ-PACHECO, A. (1979). "Lineaciones estructurales y volcanismo en el Archipiélago Canario". Com. III. As. Nac. Geol. y Geof. Madrid.
- HUISMAN, L. (1971). "The hydraulics of artificial recharge". Artificial Ground-water Recharge Conference. Univ. of Reading. England. pp. 21-24. The Water Research Aso. - Medmenham, Marlow, pp. 223-262.

- HUISMAN, L., & OLSTHOORN, T.N. (1983). "Artificial ground-water recharge". Pitman Advanced Pub. Program. ed., 320 pp.
- IGME. (1976). "Estudio sobre la Viabilidad de Recarga Artificial en Gran Canaria".
- (1979). "Estudio de Viabilidad de Utilización de Parte de los Recursos Superficiales de la Cuenca del Adra mediante Recarga Artificial de los Acuíferos Cercanos". Almería.
- (1981). "PROGRAMA NACIONAL DE GESTION Y CONSERVACION DE ACUIFEROS. CANARIAS 1981".
- Evolución de los niveles piezométricos y de la calidad del agua de los acuíferos costeros de la Isla de Tenerife.
 - Idem. de la Isla de Gran Canaria.
- (1982/83). PGCA. CANARIAS 1982/83
- Estudio Hidrogeológico del Acuífero Costero de Arinaga - Tirajana.
 - Control de la Calidad y Niveles Piezométricos en los Acuíferos Costeros de Gran Canaria.
 - Control de la Calidad y Niveles Piezométricos en los Acuíferos Costeros de Tenerife.
- (1984). "Estudio Hidrogeológico para la Viabilidad de Recarga Artificial de Acuíferos en el Valle de La Orotava. Isla de Tenerife".

IGME. (1984). "Control Piezométrico y de Calidad de las Aguas Subterráneas en los Acuíferos Costeros de la Isla de Gran Canaria. Análisis del Período 1979/1983. COLECCION INFORME.

---- (1984). "PGCA. CANARIAS 1984"

- Control Piezométrico y de Calidad de las Aguas Subterráneas en la Isla de Gran Canaria.

- Idem. en las Islas de Tenerife y La Gomera.

---- (1985). "PGCA. CANARIAS 1985"

- Control Piezométrico y de Calidad de las Aguas Subterráneas en los Acuíferos Costeros de Gran Canaria.

- Acuíferos Costeros de Gran Canaria.

- Control Piezométrico, Caudales y Calidad de las Aguas Subterráneas en las Islas de Tenerife y La Gomera.

JEPPSON, R.W. (1968), "Axisymmetric Seepage through homogeneous and nonhomogeneous porous mediums" W.R.R., 4. pp. 1277-1288.

JEPPSON, R.W. & R.W. NELSON (1970). "Inverse formulation and finite difference solution to partially-saturated seepage from canals. Soil Sc. Soc. Amer. Proc., 34 pp. 9-14.

LIETZ, J. & SCHMINCKE, H.V. (1975). "Miocene-Pliocene sea-level changes and volcanic phases on Gran Canaria (Canary Islands) in the light of new K-Ar ages". Paleogeogr. Palaeoclimatol. Palaeocal.), 18.

- MARGAT, J. (1972). "L'alimentation artificielle des nappes souterraines en France; aide-mémoire sus les expériences et les réalisations entreprises". Rapport 72 GN 263 AME, BRGM, Orléans-La Source. Francia.
- MARINO, M.A. (1975a). "Artificial ground-water recharge: I Circular recharging area". S. Hydrolog. 25, pp. 201-208.
- MARINO, M.A. (1975b). "Artificial ground-water recharge: II Rectangular recharging area. S. Hydrolog., 26, pp. 29-37.
- MC DOUGALL, I & SCHMINCKE, H.V. (1976). "Geochronology of Gran Canaria. Canary Islands: age of shield buildings volcanism and other magnetic phases ". Bull. Volcanol, 40-1.
- MC WHORTER, D.B. & BROOKMAN, J.A. "Pit recharge influenced by subsurface spreading". Ground-Water, Colorado, pp.6-11., 1972.
- PAPADOPULOS, I.S. & COOPER, H.H. (Jr). (1967). "Drawdown in a Well of Large Diameter" W.R.R., Vol. 3. No 1, 241-244.
- RAO, N.H. & SARMA, P.B.S. (1980). "Growth of Ground-Water Mound in Response to Recharge". Ground-water, Vol. 18, No 6.
- ROESER, H.A., HINZ, K. & PLAUMANN, S. (1971). "Continental margin structure in the Canaries". Inst. Geol. S. Report. - 70/16, 27-36.
- SCHMINCKE, H.V. (1967). "Cone sheet Swarm, resurgence of Tejada - Caldera, and the early geologic history of Gran Canaria". Bull. Volcanol., 31, 153-162.
- SCHMINCKE, H.V. (1968). "Faulting versus erosion and the reconstruction of the Mid-Miocene Shield Volcano of Gran Canaria. Geol. Mitt., 8, 23-50.

- SEABURN, G.E. (1970). "Preliminary results of hydrologic studies at two rechargebasins on Long Island. New York". - U.S. Geol. Surv. Prof. Paper 627-C, 17 pp.
- SOLER, C y LOZANO, O. (1985). "El agua en Canarias". Boletín de Informaciones y Estudios. Nº 44. Servicio Geológico. MOPU.
- xxxx (1963). "Manual of Septic Tank Practice". U.S. Department of Health, Education and Welfare, Public Health Service. Washington, D.C.
- xxxx (1970). "Artificial Ground-water Recharge". Proceeding Reading Conference. The Water Research Association, 479 pp. England.
- xxxx (1975). "Estudio Científico de los Recursos de Agua en las Islas Canarias, SPA 69/615". MOP-UNESCO. Madrid.
- xxxx (1977). "Almacenamiento y Recarga Artificial de Aguas Subterráneas". Recursos Naturales/Serie del Agua Nº 2. - Naciones Unidas.
- xxxx (1981). "Proyecto de Planificación y Explotación de los Recursos de Agua en las Islas Canarias. Proyecto MAC-21". CICAEMA.
- xxxx (1982). "Artificial Ground-water Recharge". International - Symposium-Research results and practical applic". 1500 pp. Dortmund.

6.- PARTE 1a. SELECCION DE LA ZONA DE ESTUDIO

6.1.- ALTERNATIVAS

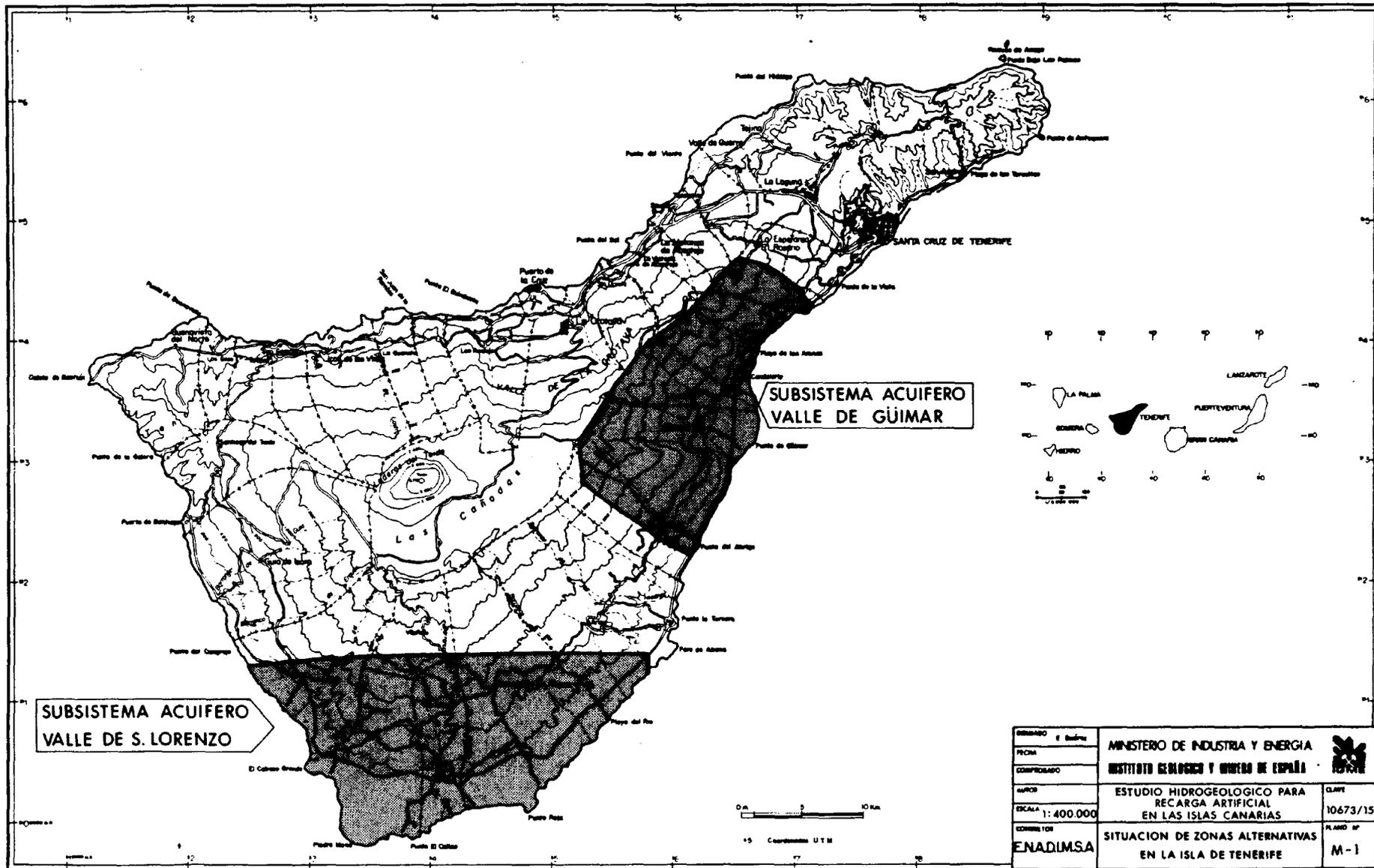
En el conjunto de las Islas Canarias, el papel del IGME se centra, además de la infraestructura hidrogeológica de las Islas menores, en el estudio y control de los sectores costeros de los Sistemas Acuíferos insulares de las Islas de Tenerife (nº 84) y Gran Canaria (nº 83), que, por otra parte, son las zonas de mayor intensidad de explotación de agua subterránea por bombeo, por razones evidentes de altura de elevación y localización de la demanda de agua.

Por tanto, un estudio preliminar de recarga artificial debería llevarse a cabo en alguna de las zonas costeras individualizadas como Subsistemas Acuíferos y, en concreto, en los Subsistemas situados en las zonas Este y Sur de las dos Islas, porque son las que reciben una recarga natural propia de menor cuantía.

En estas condiciones, existían cuatro alternativas posibles para localizar el primer estudio de factibilidad de recarga artificial, situados dos en Tenerife y dos en Gran Canaria, que son los Subsistemas Acuíferos correspondientes a los sectores costeros denominados:

- Valle de Güimar y Valle de San Lorenzo, en Tenerife.
- Maspalomas y Arinaga-Tirajana, en Gran Canaria.

En los planos M1 y M2 se indica la situación de los cuatro Subsistemas, cuyos principales rasgos hidrogeológicos, tomados de



ENCARGADO E. Ballester	MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA	
FECHA	INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA	
COORDINADO		
AUROC	ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA RECARGA ARTIFICIAL EN LAS ISLAS CANARIAS	CLASE 10673/15
ESCALA 1:400.000		
COMISIÓN ENADIMSA	SITUACION DE ZONAS ALTERNATIVAS EN LA ISLA DE TENERIFE	PLANO Nº M-1

los Informes de Control y Evolución Piezométrica y de Calidad realizados por el IGME a partir de 1980, se resumen en los párrafos siguientes.

6.1.1.- Subsistema Acuífero 84B: Valle de Güimar

Está situado en el Este de la Isla de Tenerife, a unos 20 km de la ciudad de Santa Cruz de Tenerife.

Es una zona con topografía bastante fuerte, constituida por un apilamiento de coladas basálticas, desde la Serie Antigua hasta la Serie III, que aflora predominantemente en superficie, condicionando una infiltración completa del agua meteórica, de forma que no existe escorrentía superficial.

Como consecuencia de la topografía y la permeabilidad relativamente baja de los materiales basales, la superficie piezométrica tiene una pendiente entre 0,7 y 1%, que aumenta con la distancia a la costa.

La zona de acuífero explotada está compuesta por los materiales de las Series III y, fundamentalmente, II.

El balance hídrico es francamente positivo, con unas extracciones del orden de $8 \text{ hm}^3/\text{año}$ frente a unos recursos medios de $14 \text{ hm}^3/\text{año}$, estimándose, por tanto, unas salidas al mar de $6 \text{ hm}^3/\text{año}$.

A pesar de ello, existen algunas zonas puntuales con depresiones importantes que hacen descender el nivel piezométrico hasta -8m. s.n.m.

La intrusión de la cuña de agua salada se mantiene en una posición media no alarmante, aunque hay puntos -los de mayor explotación- que indican niveles de intrusión altos, seguramente por

efectos dinámicos, reversibles al reducir las extracciones. El reflejo de esta situación lo da la relación r_{Cl}/r_{CO_3H} , cuyos valores oscilan entre 0,5 y 9,3, confirmando el valor superior, la existencia de pozos en los que se bombea agua con componente salina apreciable.

6.1.2.- Subsistema Acuífero 84 C: Valle de San Lorenzo

El Subsistema Acuífero del Valle de San Lorenzo está constituido por una franja de terreno de topografía muy suave, que ocupa el extremo Sur de la Isla de Tenerife.

Geológicamente es una zona moderna, formada por coladas basálticas subrecientes y recientes de las Series III y IV, con disposición subhorizontal, que, en superficie, están parcialmente recubiertas de suelos también muy recientes.

La permeabilidad de las rocas volcánicas modernas es muy alta, dando lugar a una tasa de infiltración del 100% con ausencia de escorrentía superficial. Sólo en ocasiones excepcionales circula agua por los barrancos en el valle, quedando la escorrentía reducida a los tramos superiores del cauce.

Por el mismo motivo, la superficie libre es subhorizontal, con una interfase agua dulce/agua salada de poca pendiente por el gradiente tan pequeño del manto e incluso con la posibilidad de existencia de algunas zonas con salinidad residual, debido a que es un territorio ganado al mar en épocas relativamente recientes.

La relación r_{Cl}/r_{CO_3H} varía entre 0,1 y 12,3, es decir hay puntos con evidencia de intrusión de agua salada, hecho lógico porque los niveles medios oscilan entre 1,6 y 5,9 m.s.n.m. y en explotación bajan hasta 15 metros bajo el nivel del mar.

Los recursos totales se han evaluado en $10 \text{ hm}^3/\text{año}$, de los cuales unos $8,5 \text{ hm}^3/\text{año}$ se extraen, como media, por bombeo. Está, pues, en una situación de equilibrio relativo, pero con visos de empeorar a corto plazo, porque es una zona en expansión por la ubicación del nuevo aeropuerto y el desarrollo constante del turismo.

6.1.3.- Subsistema Acuífero 83 A. Arinaga-Tirajana

Está situado en el Sureste de la Isla de Gran Canaria. Es una llanura de unos 100 Km^2 de extensión, formada por un abanico aluvial que se apoya en materiales volcánicos de litología varia da, que van desde las Series basálticas y fonolíticas del Ciclo I hasta basaltos modernos de las Series III y IV.

Actualmente el acuífero explotado está formado básicamente por basaltos antiguos y fonolitas, de baja permeabilidad, porque la intensa explotación por bombeo ha provocado la desaturación de los materiales aluviales de alta permeabilidad.

La propia geomorfología de la zona, con un régimen pluvio métrico muy bajo, menos de 200 mm/año de lluvia media, indica la existencia de escorrentía intermitente, de carácter torrencial, en los barrancos de Balos y Tirajana, que llega a perderse en el mar, actualmente regulada en parte por la Presa de Tirajana, de $3,1 \text{ hm}^3$ de capacidad.

Como consecuencia de una topografía favorable para la ex plotación de agua mediante pozos y de una fuerte demanda de agua, tanto propia del sector Arinaga-Tirajana cifrada en unos $16,5 \text{ hm}^3$ al año, como de la vecina zona turística del Sur, el Subsistema - Acuífero está sometido, desde antiguo, a un régimen de extracciones por bombeo que ha desembocado en un estado de sobreexplotación con niveles piezométricos permanentemente deprimidos hasta cotas

que alcanzan los 150 metros bajo el nivel del mar.

El balance hídrico incide un déficit importante, pues frente a unos recursos medios estimados en $11 \text{ hm}^3/\text{año}$, la explotación media sobrepasa los $16 \text{ hm}^3/\text{año}$, es decir, hay una sobreexplotación local del orden de $5 \text{ hm}^3/\text{año}$ como mínimo, que ha dado lugar a una salinización parcial del manto, variable según la explotación en distribución espacial e intensidad, con máximos reflejados en valores de la relación $r_{\text{Cl}}/r_{\text{CO}_3\text{H}}$ superiores a 50.

La situación del Subsistema no tiene visos de mejorar, por la demanda propia y, sobre todo, por la proximidad de la zona turística del Sur, que demanda volúmenes crecientes de agua.

6.1.4.- Subsistema Acuífero 83C: Maspalomas

Ocupa el extremo Sur de la Isla de Gran Canaria, y está compuesto por una franja costera llana formada por dunas y una terraza sedimentaria, y una serie de barrancos radiales en los que están situados casi todos los pozos que explotan, como en Arinaga-Tirajana, el acuífero basal compuesto por fonolitas y basaltos antiguos del Ciclo Volcánico I. En los tramos altos y medios de los barrancos se han constituido presas que regulan un volumen de unos $5 \text{ hm}^3/\text{año}$, de forma que se ha minimizado la escorrentía que circulaba por ellos en períodos de lluvias muy intensas.

La demanda de agua, condicionada por la agricultura y un turismo en continuo crecimiento, es del orden de $16,5 \text{ hm}^3/\text{año}$, que se satisface con los $5,5 \text{ hm}^3/\text{año}$ regulados por las presas, retorno de riegos, volúmenes importados de otras áreas (sobre todo Arinaga-Tirajana) y una extracción por bombeos de $5 \text{ hm}^3/\text{año}$, que se realiza en unos 40 pozos.

El balance del acuífero está equilibrado, pues las entradas se cifran en 6,5 hm³/año. A pesar de ello, se aprecia intrusión, valores de rCl/r CO₃H entre 3 y 21, debido a la concentración de bombeos en un espacio muy reducido que provoca, seguramente, un as censo puntual de la interfase.

6.2.- CRITERIOS DE SELECCION

Para decidir en cuál de los cuatro Subsistemas Acuíferos - descritos se llevaría a cabo el proyecto de evaluación preliminar de posibilidades de recarga artificial, se estableció una base de se lección con los siguientes criterios:

- 1.- Condiciones hidrogeológicas y geomorfológicas más o menos favorables.
- 2.- Estado de explotación e intrusión del acuífero.
- 3.- Demanda de agua.
- 4.- Derechos y usos del agua.
- 5.- Existencia de recursos de agua excedentes.
- 6.- Experiencias de recargas previas.
- 7.- Posibilidades de realizar ensayos.

El análisis comparativo de selección se centró en los rite rios diferenciadores que resultaron ser el 1, 2, 3 y 5, porque, en realidad, en los usos y derechos sobre el agua no hay diferencias - al ser la legislación única. Por su parte, los criterios 6 y 7 son secundarios y no sirven más que como apoyo a los principales.

En síntesis, la aplicación de los cuatro criterios básicos a las cuatro alternativas posibles, permite discutir criterio a criterio y obtener las conclusiones siguientes.

1y2. Los dos primeros criterios, basados en las características y en las condiciones hidrogeológicas en que se encuentra cada uno de los cuatro Subsistemas, se han utilizado de forma simultánea, - porque su aplicación conjunta tiene carácter limitativo y produjo la primera criba, que descartó a los dos Subsistemas de la Isla de Tenerife. Las razones son:

- En el caso del Valle de Güimar, la superficie del manto tiene un gradiente del 0,7 0/00 hacia el mar y, aunque hay alguna zona puntual con el nivel por debajo de la cota 0, sigue descargando un volumen apreciable de agua dulce en el mar; por lo tanto, cualquier aporte suplementario se traduciría en un aumento de la descarga por lo que sería mucho más razonable diversificar la explotación y ajustar las salidas al mar.

- En el Valle de S. Lorenzo, el planteamiento es inicialmente el mismo porque se trata de un Subsistema Acuífero excedentario, pero con un planteamiento muy distinto. Al ser una zona de permeabilidad alta, la superficie libre es casi plana y, al ser el frente de descarga al mar muy grande, el espesor de agua dulce es muy reducido. En estas condiciones, una sobreexplotación puede ser catastrófica, pero una recarga artificial sería muy poco eficaz porque la sobrepresión sería absorbida rápidamente por el acuífero restableciendo un equilibrio inestable.

Por otra parte, las perspectivas en este Subsistema no son muy optimistas, por tratarse de una zona de expansión turística, de tal modo que un aumento de los bombeos puede transformar el precario equilibrio actual en una situación deficitaria, complicada por la estructura del acuífero. En estas condiciones, una recarga artificial puede tener interés, pero debe ir precedida por un estudio profundo que permita optimizar la explotación del acuífero, en cuyo diseño podría haber una recarga artificial en una situación apropiada.

Los dos Subsistemas de la Isla de Gran Canaria tienen una situación hidrogeológica favorable, con gradientes pronunciados y valles piezométricos a cotas inferiores a la del nivel del mar como consecuencia de bombeos superiores a la capacidad productora de los pozos. La diferencia entre ambas zonas está en la intensidad de la sobreexplotación. Así, mientras en el Acuífero de Maspalomas se trata de un fenómeno de depresión localizada, provocado por el bombeo de un número de pozos muy reducido, pero en un contexto hidrogeológico general de recursos excedentes como indica que entre la zona deprimida y la costa, la superficie libre alcanza cotas del orden de 20 m.s.n.m., en el Subsistema Arinaga-Tirajana la intensa explotación da lugar a un profundo valle piezométrico, que llega a cotas de -150 m con respecto al nivel del mar, de eje paralelo a la costa, distante unos 6 km de ella, y de tal forma que no hay cota de nivel positiva entre el valle y el nivel del mar, situación que lleva aparejada una fuerte penetración general de la interfase agua dulce-agua salada (1 km tierra adentro), con algunos fenómenos de "up-coning" en puntos más interiores del acuífero. Es decir, aunque cualitativamente la situación es similar, cuantitativamente se decanta hacia el Subsistema Arinaga-Tirajana.

Por lo que respecta a las condiciones geomorfológicas, salvo el Valle de Güimar, que, por el buzamiento de las coladas hacia el mar y la pendiente de la superficie, plantearía problemas a la infiltración artificial, los demás Subsistemas tienen condiciones favorables por la baja pendiente y alta permeabilidad de materiales en superficie.

3. El criterio basado en la demanda de agua se inclina, de modo evidente, hacia el Subsistema Arinaga-Tijarana porque es el único caso de balance negativo.

En realidad, la demanda de agua no es un criterio selectivo porque está muy condicionada por las posibilidades de explotación. En efecto, en las Islas Canarias, y sobre todo en Gran Canaria, los recursos son escasos y la productividad de las captaciones está limitada por la permeabilidad y la intrusión, de forma que si, de alguna manera, pudiera aumentarse la movilización de recursos y reservas del acuífero insular hacia las zonas costeras, la explotación aumentaría y la demanda crecería de forma paralela, sobre todo la agrícola.

4. La existencia de recursos excedentarios está limitada a las escorrentías torrenciales que circulan por los barrancos después de lluvias excepcionalmente intensas.

En el Valle de Güimar, prácticamente no hay escorrentía por la morfología de la zona. En el Valle de San Lorenzo, el agua llega a circular por el tramo alto pero las aportaciones raramente llegan al valle pues se infiltran en el cauce, es decir, que posiblemente habría que recurrir a recursos ajenos a la zona.

En los dos Subsistemas de Gran Canaria, se producen avenidas periódicas en las que el agua puede llegar al mar, aunque en la actualidad algunos barrancos clásicos, como Ayagaures en Mas

palomas o Tirajana en Arinaga-Tirajana tienen su capacidad disminuida por las presas de regulación construídas en las cuencas medias y altas. Por otra parte, el Barranco del Balos, que también tiene tradición de movilizar agua, no está regulado por obras artificiales y tiene un cauce amplio en su cuenca baja con un importante relleno de acarreos.

Objetivamente, tanto uno como otro Subsistema sería favorable, bajo el punto de vista de excedentes recargables, pero la concentración de bombeos en Arinaga-Tirajana inclina la balanza de su lado.

5y6. Algo similar puede concluirse con relación a los dos criterios restantes, pues en los dos Subsistemas de Gran Canaria hay experiencias previas de recarga por iniciativa particular, aprovechando el agua de escorrentía con buen resultado.

Por su parte, las posibilidades de efectuar ensayos son mayores en Arinaga-Tirajana por haber bastantes pozos abandonados, una gran densidad de pozos en producción y una extensión de acarreos muy importante (en los tres casos, en cuantía superior a Maspalomas), lo cual multiplica el número de combinaciones, excedentes de agua-instalación para recarga, posibles para realizar ensayos experimentales.

6.3.- DECISION

Del razonamiento precedente se deduce como conclusión obvia, que el Subsistema Acuífero Arinaga-Tirajana es el sector más apropiado para plantear y desarrollar un primer estudio previo para analizar las posibilidades de realizar una experiencia de recarga artificial.

7.- PARTE 2a. CARACTERIZACION DEL SECTOR ARINAGA-TIRAJANA

7.1.- SITUACION Y CARACTERISTICAS GENERALES

Con el nombre de Subsistema Acuífero Arinaga-Tirajana, se conoce la franja sureste de la isla de Gran Canaria comprendida entre la Bahía de Arinaga al Norte y la playa del Cardín al mar. Hacia el interior, los límites son más imprecisos y, arbitrariamente, se han situado hasta las estribaciones meridionales del Lomo el Cabezo, montaña Caraballo y El Roque, al Norte, y las estribaciones orientales de la montaña de Las Carboneras y los lomos de las Fuentecillas y La Ladera, al Oeste. La delimitación de este acuífero se ha basado más en criterios geomorfológicos que estrictamente geológicos, si bien estos, en un principio, fueron los que condicionaron la existencia de un acuífero en la formación sedimentaria de Tirajana. En conjunto, la extensión superficial es de unos 100 Km² que pertenecen, administrativamente, a los Términos Municipales de Agüimes y San Bartolomé de Tirajana. Los asentos de población más importantes son los núcleos de Cruce de Arinaga, Arinaga Vecindario, El Doctoral, Sardina, Juan Grande y Aldea Blanca, que totalizan una población de 45.000 habitantes.

En el Sector Norte de la zona, entre Arinaga y el Cruce de Arinaga, está ubicado el Polígono Industrial de Arinaga, que tiene una extensión de 14 Km², dedicada, en parte, a instalaciones industriales y, en parte, a zona residencial.

La zona se caracteriza por ser relativamente llana debido a que se asienta sobre un gran depósito sedimentario que, posteriormente, ha sido erosionado por la red de drenaje actual. Limitando esta superficie más o menos llana, comienza un relieve más abrupto correspondiente al substrato volcánico. Debido a las buenas calidades agrícolas de esta zona y a la escasa profundidad a que se encontraba el nivel freático, se realizaron gran número de pozos que explotaban el acuífero detrítico. Una vez que las extracciones superaron la recarga natural del acuífero detrítico, las captaciones tuvieron que profundizarse por debajo del contacto, a cotas muy inferiores a la del nivel del mar, originando la instrusión marina - actual y delimitando el espacio del denominado acuífero Arinaga-Ti rajana.

7.2.- CLIMATOLOGIA E HIDROLOGIA SUPERFICIAL

El clima del sector costero Arinaga-Tirajana (ver Anexo 1) es ligeramente cálido, con una temperatura media anual de 20,3°C, y muy regular, con una oscilación entre las temperaturas del mes más cálido (23,8°C en Agosto) y del mes más frío (17,3°C en Enero), de sólo 6,5°C.

Con respecto a la precipitación, el clima se clasifica como árido y de precipitación escasa, con una media de 150,7 mm/año, en el período de 35 años comprendido entre los años hidrológicos 1951/52 y 1985/86.

La humedad relativa media anual es del 71% y el grado de insolación es bastante elevado, con 2.680h de sol al año, lo que supone un 60% del total teórico.

Los vientos dominantes son los alisios, de dirección N.N.E. que, junto con los de componente N y N.N.O. aportan la humedad a la vertiente Norte y toda la zona alta de la isla, mientras que la

precipitación en la franja costera Arinaga-Tirajana está asociada a vientos del S.O., descargando en forma de aguaceros intensos pero de muy corta duración.

Como consecuencia de la escasez e irregularidad de las lluvias, el régimen hidrológico, sobre todo en la franja costera, se caracteriza por la práctica inexistencia de escorrentía superficial, salvo en ocasiones excepcionales de concentración de precipitaciones intensas en muy poco tiempo.

En la zona desembocan dos importantes barrancos, los de Balos y de Tirajana, flanqueados por el Barranco de Guayadeque al Norte y el Barranco de las Palmas al Sureste. Ambos tienen una dirección N.O.-S.E. con la cabecera de la cuenca vertiente en las alturas centrales de la Isla. Generalmente, la escorrentía se reduce al tramo alto porque las aportaciones son escasas y se infiltran antes de llegar al tramo medio por la alta permeabilidad de los materiales que constituyen el cauce.

Los registros históricos son prácticamente inexistentes - salvo en el caso de la Presa de Tirajana, que regula las aportaciones de la cuenca alta del Barranco de Tirajana. Esta presa tiene una capacidad de $3,1 \text{ hm}^3$, con un volumen medio regulado inferior a $2 \text{ hm}^3/\text{año}$ (según datos del proyecto MAC-21). La última crecida importante en la que el agua llegó al llano costero fue en el año 1979, en el que se midió una punta de caudal de $50 \text{ m}^3/\text{seg.}$ rebosando la presa.

La morfología de los dos barrancos, en la zona baja, es muy distinta. Así, el Barranco de Balos, al que se une el de los Corralillos, a una cota de 150 m.s.n.m., que señala el fin de los escarpes montañosos, ha dado lugar a tramo terminal muy extendido en sentido lateral, de pendiente muy suave, que se conoce con el

nombre de Llanos de Arinaga. Por su parte, el Barranco de Tirajana tiene un cauce muy encajado en materiales volcánicos, hasta - prácticamente la cota 50 en que el cauce se abre formando un amplio abanico aluvial.

Una descripción más detallada, con características geomorfológicas y geométricas, se incluye en el Anexo 3, que recoge la metodología y resultados de un estudio hidrológico de máximas crecidas para períodos de retorno 20 años.

En el Plano M3, se representan las cuencas vertientes de la zona de estudio y el límite aproximado del Subsistema Acuífero Arinaga-Tirajana.

7.3.- GEOLOGIA

7.3.1.- Marco geológico. Unidades volcano-estratigráficas de la Isla

La isla de Gran Canaria se encuentra enclavada, según estudios geofísicos (Roeser, H.A. et al., 1971) entre una corteza de tipo oceánico al Oeste, y otra de tipo transicional al Este. Desde un punto de vista estructural, constituye el extremo Suroriental de la directriz atlántica del archipiélago, que comprende las islas de La Palma, Tenerife, Gran Canaria (N 74º 0'), y se caracteriza porque el volcanismo oceánico presenta un carácter más alcalino que en las restantes islas, con series volcánicas de tipo basaltoide-fonolita (Hernández-Pacheco, A., 1979).

La estratigrafía de las unidades volcánicas existentes en la isla de Gran Canaria se ha ido modificando con el tiempo, conforme se ha ido profundizando en los estudios geológicos así como con la utilización de técnicas de datación absoluta y paleomagnetismo. No fue hasta 1967, cuando Fúster, J.M. et al (1967) establecen la clásica disposición estratigráfica en ocho series volcánicas que a grandes rasgos coincidía con la de Boucart, J. y Jeremine, E. (1937)

y Hausen, H. (1962). Posteriormente, Anguita, F. (1972) agrupó tres de estas series en un mismo episodio, que denominó: Ciclo Roque Nublo. Lietz, J. y Schmincke, H.U. (1975) y McDougall, I. y Schmincke, H.V. (1976), a partir de dataciones absolutas han permitido establecer que la historia volcánica de Gran Canaria se caracteriza por la existencia de tres fases bien definidas: I, II y III, separadas por marcadas discordancias erosivas que constituyen períodos de inactividad en los que la erosión desmanteló parcialmente los edificios volcánicos. En el presente trabajo se ha adoptado la estratigrafía general utilizada por el IGME, Hojas de Arucas: Bañals, R. y Barrera, J.L. (en prep.) y de San Nicolás: Barrera, J.L. y Gómez, J.A. (en prep.), que aprovecha las dataciones absolutas realizadas previamente, e incorpora una detallada cartografía a escala 1:25.000 y datación paleomagnética. En el Cuadro N1 es posible observar las combinaciones entre las estratigrafías establecidas por los distintos autores.

Ciclo I

Este primer ciclo comenzó en el Mioceno, entre -14 y -9m.a. aproximadamente, con la emisión de una monótona serie de coladas basálticas de varios centenares de metros de potencia (Formación Basáltica). A continuación, se emitieron de forma explosiva un gran volumen de diferenciados sálicos, seguido de la formación de un espectacular "cane-sheet" asociado a la formación de una caldera en la parte central de la isla (Schmincke, H.V., 1967 y Hernan Reguera, F., 1975), que constituye la Formación Traqui-sienítica. Por último, este primer ciclo culmina con la emisión de potentes coladas fonolíticas (Formación Fonolítica).

CUADRO M1

Füster, J.M. et al. (1968)	Lietz, J. y Schmincke, H.U. (1975) McDaugall, I. y Schmincke, H.U. (1975)	Plan Magna (IGME) Barrera, J.L. y Gómez, J.A. (en prep.) Balcells, R. y Barrera, J.L. (en prep.)	
Serie Basáltica IV	FASE I	Sup.	CICLO RECIENTE
Serie Basáltica III	Formación post. Los Llanos	Inf.	
Serie Basáltica II	Formación Los Llanos de la Paz	Sup.	CICLO POST-ROQUE NUBLO
Serie Ordanchítica	FASE II O GRUPO ROQUE NUBLO	Med.	
Serie Roque Nublo	F. Tenteniguada, F. Ayacata, F. Presa de Hornos, F. Los Listos, F. Mesa de Junqui	Inf.	CICLO ROQUE NUBLO
Serie Pre-Roque Nublo	lla		
	FORMACION EL TABLERO		FORMACION PRE-ROQUE NUBLO
Serie Fonolítica	FASE I F. M ^{ña.} del Horno y F. Fataga		F. FONOLITICA
Complejo Traquítico-Sienítico	F. Tejada, F. M ^{ña.} del Horro y F. Mogan		F. TRAQUI-SIENITICA
	F. Horgazales	Sup.	F. BASALTICA
	F. Güigüi	Med.	
		Inf.	
			CICLO I

Ciclo Roque Nublo

El segundo ciclo o Ciclo Roque Nublo (Anguita, F., 1972) tuvo lugar en el Plioceno Inferior (entre -4,5 y -3,4 m.a.) con la emisión de basaltos y tefritas, a las que sucedieron violentas erupciones de tipo "nube ardiente" que cubrieron gran parte de la isla con potentes aglomerados. El ciclo termina con la extrusión de domos y pitones de diferenciados peralcalinos.

Ciclo Post-Roque Nublo

El tercer Ciclo, Post-Roque Nublo, comenzó en el Plioceno Medio Superior hace unos 2,8 m.a., prolongándose hasta unos 0,4 m.a. Comprende todas aquellas coladas y depósitos piroclásticos basálticos o basaníticos, situados por encima de materiales del ciclo Roque Nublo, cuyos centros de emisión no son observables o se encuentran muy desmantelados por la erosión.

Ciclo Reciente

Comprende los edificios volcánicos y coladas de basaltos y basanitas, con centros de emisión relativamente conservados - que, o bien son cortados por la actual red de drenaje (Ciclo Reciente Inferior), o bien ocupan el fondo de la misma (Ciclo Reciente Superior). La manifestación volcánica más reciente de este ciclo está datada en 400 años.

Además de estas formaciones volcánicas, en las zonas costeras se produce el depósito de sedimentos procedentes de la erosión de los materiales volcánicos del interior de la isla. - Lietz, J. y Schmincke, H.V. (1975) asocian estos depósitos sedimentarios principalmente a los períodos de inactividad, en los que la erosión desmantelaría parte de los edificios volcánicos, al tiempo que se produciría una regresión al elevarse la isla.

Los principales períodos de sedimentación, tienen lugar entre el Ciclo I y Ciclo Roque Nublo (Formación Arguineguín) y entre el Ciclo Roque Nublo y el Ciclo Reciente (Formación Tirajana). La formación sedimentaria de Las Palmas, que abarca un amplio sector - del NE de la isla comprendido entre Jinamar hasta el Oeste de - Arucas (Balcells, R. y Barrera, J.L., s.p.), comenzó a depositarse entre los dos primeros Ciclos y se prolongó hasta la emisión del Ciclo Roque Nublo, no existiendo los procesos sedimentarios y volcánicos.

7.3.2.- Geomorfología

La existencia de esta gran formación sedimentaria en forma de abanico, condiciona el relieve existente en la zona más baja del acuífero de Arinaga-Tirajana. De este modo, la zona ocupada por el mismo presenta una topografía suave de forma ligeramente convexa, con una parte axial algo más elevada que sus zonas marginales dando lugar a los Llanos de Sardina, La Aldea y Juan Grande. Excepto el barranco de Tirajana, el resto de la red de drenaje tiende a rodear el abanico aluvial. Al Noreste, el tramo final del Barranco de Balos se une a otros barrancos - (Temisa, Corralillos y Vacas) y origina un amplio cauce que bordea el abanico aluvial y da lugar a los Llanos de Arinaga. Al Sureste ocurre un hecho similar con los barrancos de Las Palmas y de Los Ahogados. El Barranco de Tirajana cuyo tramo final es más o menos rectilíneo, origina un amplio delta en su desembocadura que culmina en La Punta de Tenefé. Aguas arriba sufre un progresivo encajamiento en los materiales del abanico aluvial y del propio substrato, indicando un descenso del nivel de base.

En el Plano Geológico M4 se observa que el barranco de Tirajana es casi el único que actualmente participa en el proceso de construcción del abanico aluvial, y que éste ha sufrido una migración hacia el Sur. El acantilado existente entre Pozo Izquierdo y Punta Gaviota pone de manifiesto que esta parte del abanico

aluvial ha sufrido un proceso de regresión de la línea de costa importante.

La zona donde aflora el substrato presenta una típica red de drenaje en terreno volcánico, con barrancos muy escarpados y de fondo plano en los que tienen cierta entidad. En el Plano Geológico es posible observar fenómenos de captura por el Barranco de Tirajana y encajamiento de la red de drenaje a lo largo de zonas de fractura. La existencia de materiales volcánicos recientes a lo largo de los barrancos de La Licencia, Tirajana y de Temisa, indica que tiempo atrás constituían las direcciones de drenaje principales. Es importante resaltar el hecho, por las implicaciones hidrogeológicas que conlleva, que el Barranco de Tirajana presentaba un tramo final de dirección más Norte-Sur que la actual. Los retazos de terraza colgada (St) que es posible observar a lo largo de este barranco, es un indicativo del importante papel que ha tenido esta dirección de drenaje en la sedimentación aluvial a lo largo del tiempo.

7.3.3.- Descripción de las formaciones

Las distintas formaciones volcánicas y sedimentarias existentes en la zona de estudio se encuentran representadas en el Plano Geológico M4, a escala 1:25.000. Los perfiles geológicos del Plano M5 (A-A', B-B', C-C', D-D' y E-E') se realizaron a partir de este plano, del estudio geofísico realizado por el IGME (1982) y de la información recogida en algunos de los pozos existentes en la zona.

Por orden cronológico, las distintas formaciones volcánicas y sedimentarias son:

CICLO I

Formación Basáltica (B_{IC})

Se encuentra aflorando en la parte septentrional de la zona, en la Montaña de Las Carboneras, Montaña de Los Perros, Masaciega, etc.

Está constituida por coladas basálticas de tipo plagioclásico y olivínico-piroxénico, generalmente muy vacuolares y de escaso espesor (B_{IC}). Desde el punto de vista estructural, predominan los buzamientos hacia el Noroeste o Sureste, evidenciando una emisión probablemente de tipo fisural, de directriz NE-SO. La presencia de diques es bastante escasa. Por lo general, predominan las coladas de tipo "pahoe-hoe" sobre las "aa", encontrándose relativamente poco alteradas, pudiéndose observar buena parte de sus rasgos estructurales primarios.

La existencia de estos afloramientos basálticos al NE del Barranco de Tirajana fue puesta de manifiesto por Hausen, H. (1962) y Fuster, J.M. et al. (1967), poniendo en entredicho el supuesto salto vertical de la Falla de Boucart.

Sedimentos (S_I)

Se localizan en la ladera NE de la Montaña de los Perros, en la margen derecha del Barranco de Balos. Constituyen un conjunto sedimentario singular de más de 50 m de espesor que se apoya, de forma discordante, sobre la Formación Basáltica (BI). Está formada por brechas basálticas heterométricas, con cantos muy irregulares de diverso tipo, que hacia el techo dan paso a intercalaciones de areniscas y limos compactos de color beige claro.

Formación Traqui-sienítica (T-S_I)

Se encuentra en afloramientos dispersos al NO de la zona: S del Morro del Tablero, Montaña de Los Perros, SO y S de la Montaña de Las Carboneras y extremo oriental del Lomo de Las Fuentes. Se disponen de forma discordante sobre la Formación Basáltica y, concordantemente, sobre los sedimentos (S_I). Está constituida por tobas traquíticas de carácter ignimbrítico (T-S_{Iti}), mantos de ignimbritas traquíticas muy soldadas y aplastadas (T-S_{Ici}) y aglomerados traquíticos (T-S_{Ia}). En determinadas zonas, Montaña de los Perros y entorno SE de Montaña de Las Carboneras, aparecen en su parte basal un nivel vitrofídico de menos de un metro de espesor que marca el comienzo de esta formación - al igual que en otras partes de la isla (Barrera, J.L. y Gómez J.A., s.p.).

Formación Fonolítica (F_I)

Se extiende a lo largo del tercio SO de la zona y en puntos aislados del extremo NO (Horno del Tablero y El Roque). Se apoya discordantemente sobre las formaciones volcánicas anteriores. Está formada por potentes coladas de fonolitas (F_{IC}), generalmente de unos 5 m de espesor, entre las que, a veces, aparecen intercalados niveles de brechas pumíticas. Presentan, por lo general, buzamientos hacia el SO y menos frecuentemente al S. y SE.

CICLO ROQUE NUBLO

Basaltos y Tefritas (B-Tf_{RN})

Esta unidad se encuentra aflorando a lo largo de la mitad nororiental del Barranco de Tirajana, fondo del Barranco de La Licencia y ladera occidental del Horno del Tablero, en el extre-

mo NO de la zona. Se dispone sobre un fuerte paleorelieve desarrollado sobre materiales del Ciclo I, rellenando antiguos cauces de barrancos. En el caso del Barranco de Tirajana, esta unidad se encuentra a menudo adosada verticalmente, debido a que se trata de una dirección de drenaje muy antigua, rellenada durante el Ciclo Roque Nublo y erosionada de nuevo en épocas recientes. Al Sur del pueblo de Sardina, en la margen derecha del Barranco de Tirajana, es posible apreciar que esta formación presenta intercalaciones sedimentarias en un tramo superior.

Su litología está constituida por coladas basálticas de diversos tipos, si bien predominan las de tipo olivínico y coladas de tefritas (B-Tf_{RN}), y algún nivel piroclástico intercalado. Generalmente, las coladas tiene espesores comprendidos entre 2 y 4m, y son de tipo "aa", conservando buena parte de sus características primarias. Según una datación absoluta efectuada por Lietz, J. y Schmincke, H.V. (1975), en la margen derecha del Barranco de Tirajana, al NE de Aldea Blanca, el techo de esta formación posee una edad de 4,0 ma.

Aglomerados Roque Nublo (T_{RNa})

Esta formación aparece intercalada en la formación anterior según mantos de espesor variable, comprendido entre 1 y 6 metros. Está constituida por un aglomerado volcánico con fragmentos poliigénicos subangulosos de basaltos, tefritas y traquí-tas englobados en una matriz compacta.

Corresponden a emisiones explosivas de tipo "nube ardiente" que alcanzaron una gran importancia al final del Ciclo Roque Nublo, originando potentes mantos de aglomerados de más de 100m en la parte central de la isla, de donde toma su denomina-

ción.

Formación Tirajana (S_a)

Esta formación sedimentaria ocupa gran parte del área central y meridional de la zona de estudio, apoyándose sobre la Formación Basáltica (B_I), al Sur de la Montaña de Los Perros y la Masaciega, la Formación Fonolítica (F_I) al SO y los Basaltos y Tefritas del Ciclo Roque Nublo (B-Tf_{RN}) en la parte centro-oriental, a lo largo de las márgenes del Barranco de Tirajana. En esta zona se observa que la Formación Sedimentaria se intercala entre las coladas de basaltos y tefritas Roque Nublo. (Lietz, J. y Schmincke, H.W., 1975). Está constituida por cantos heterométricos y subredondeados de basaltos, tefritas y fonolitas, correspondientes al Ciclo Roque Nublo y a la Formación Fonolítica, englobados en una matriz de tipo fundamentalmente arenoso o limoso.

Esta formación sedimentaria comenzó a depositarse a finales del Ciclo Roque Nublo (4,0 m.a.) prolongándose durante el período de inactividad volcánica, entre este Ciclo y el Ciclo Post Roque Nublo (2,8 m.a.) o intervalo erosivo II de Lietz J., y Schmincke, H.W. (1975). En este período tuvo lugar la deposición de un potente abanico aluvial en una zona costera en regresión. La zona axial, o parte principal de este gran abanico aluvial, alcanza más de 100m en la zona de desembocadura del Barranco de Tirajana, presentando intercalaciones basálticas correspondientes al Ciclo Roque Nublo, (Perfil c-c'), según ponen de manifiesto los pozos excavados y los S.E.V. (IGME, 1982). La formación de este abanico aluvial tuvo como principal dirección de aporte el Barranco de Tirajana, que tras haber sido parcialmente rellenado por materiales del Ciclo Roque Nublo, vuelve a ser una dirección de drenaje principal, a lo largo de la cual se erosionarían materiales del Ciclo I y Ciclo Roque Nublo, que se deposi

tarían en la zona costera a la desembocadura del mismo, afectada por una regresión paulatina del mar (Lietz, J. y Schmincke, H.V. 1975).

CICLO POST ROQUE NUBLO

Formación Basáltica Inferior (B^i_{PRNC})

Aflora al Oeste de la zona de estudio, en las inmediaciones de Aldea Blanca, apoyándose sobre los basaltos y tefritas del Ciclo Roque Nublo al Norte, la Formación de Tirajana al Oeste y Sur, y sobre la Formación Fonolítica al Oeste. Según una datación absoluta efectuada por Lietz, J. y Schmincke, H.V. (1975), tiene una edad de 2,8 m.a., representando una de las primeras emisiones del Ciclo Post Roque Nublo. Está constituida por coladas de nefelinitas olivínicas de tipo "aa", y espesor comprendido entre 1 y 3m. El contacto de esta unidad con la formación sedimentaria infrayacente se realiza mediante un paleosuelo que marcaría el nivel superior del abanico aluvial creado durante el Intervalo Erosivo II. A continuación, y debido a la regresión o levantamiento experimentado por la isla, se inició el encajamiento paulatino de la red de drenaje hasta la situación actual.

Formación Basáltica Superior (B^S_{PRN})

Se encuentra situada en la parte NO de la zona, ocupando las zonas más deprimidas del relieve desarrollado sobre la Formación Basáltica del Ciclo I, a lo largo de los barrancos de La Licencia, Calabozo, Temisa, Palmitas, Vacas, Guerra y Ancón.

Esta formación está constituida por coladas de basaltos de diversos tipos (olivínicos, piroxénico-olivínicos, etc.) y basanitas (B^S_{PRNC}). Las coladas, por lo general, son de gran es

pesor, de tipo masivo, fuertemente diaclasadas y con las características primarias (vacuolas, zona escoriácea, diaclasas de retracción), apenas perturbadas por la meteorización. En algunas zonas (Lomo Gordo, Era del Cardón y Las Hoyas), se observan depósitos piroclásticos (B_{PRNP}^S), correspondientes a antiguos conos erosionados. A grandes rasgos, las coladas que constituyen esta formación proceden del NO, aprovechando la red de drenaje subreciente.

CICLO RECIENTE

Formación Basáltica Inferior (B_R^i)

Se encuentra situada en el extremo NE, comprendiendo un campo de volcanes, constituídos por conos de piroclastos volcánicos (B_{Rp}^i), parcialmente erosionados: Montaña Prieta, Montaña Laguna Chica, Montaña de Arinaga y Punta y Roque de Arinaga. Las coladas basálticas asociadas a estos edificios (B_{RC}^i)*escoriano, con unas características primarias casi inalteradas debido a su escasa edad. Los edificios volcánicos que constituyen esta formación se encuentran alineados según directrices: NNO-SSE y NO-SE.

Depósitos Coluvio-Aluviales (S_a')

Aparecen en zonas de la parte norte, centro-occidental y extremo SO, ocupando áreas deprimidas y marginales a la Formación Tirajana. Están formados por gravas y conglomerados de cantos heterométricos y subangulosos englobados en una, a veces, abundante matriz arcillo-arenosa. Parecen estar asociados a las zonas más distales de los depósitos aluviales de la Formación Tirajana, en las que los sedimentos provendrían de áreas cercanas más que del Barranco de Tirajana. Existe una fuerte influencia local en la naturaleza y características de los sedimentos. La sedimentación de estos depósitos parece haber tenido lugar en un

período de tiempo relativamente largo, después de la formación del abanico aluvial de Tirajana.

Formación Dunar (S_{ar})

Se encuentra en el extremo NE, al Oeste y Norte de la Montaña de Arinaga, entre la Punta de los Cuervitos y la Punta del Negro. Esta formación está constituida por areniscas calcáreas de origen marino, depositadas durante una trasgresión cuaternaria anterior a la Formación Basáltica inferior del Ciclo Reciente, pero cuya removilización y transporte eólico se ha prolongado hasta fechas recientes.

Depósitos de Barranco

Bajo esta denominación se agrupan unidades sedimentarias de origen diverso y distintas características geomorfológicas, pero asociadas a la red de barrancos actual. Se caracterizan por estar constituidas por conglomerados de cantos heterométricos y subredondeados, englobados por una escasa matriz arenosa o más raramente arcillo-limosa.

De más antigua a más moderna, estas unidades son:

- Terrazas colgadas (S_t)

Son observables en determinados puntos de la margen izquierda del Barranco de Tirajana, a una altura variable sobre el cauce actual, comprendida entre 5 y 20m. Corresponden a depósitos de cauce antiguos, cortados por la erosión del barranco.

- Cauce de barranco abandonado (S_{ba})

Estas áreas se encuentran en la margen derecha del Barranco de Balos, al Norte de Vecindario, Oeste de la desemboca

dura del Barranco de Tirajana y desembocadura del Barranco de Juan Grande.

- Cauce de barranco (S_b)

Comprende las cuencas de los barrancos existentes en la zona de estudio, entre los que destacan los Barrancos de Balos, Tirajana y Las Palmas-Juan Grande. Asimismo, estas áreas comprenden también aquellas zonas de cauce de barranco dedicadas al cultivo mediante relleno y mejora del terreno.

7.3.4. - Tectónica

La zona de estudio, desde el punto de vista tectónico, se encuentra situada en el extremo SE de la supuesta Falla de Boucart o Falla de Agaete-Tirajana. Según Boucart, J. y Jeremine, E. (1937), la existencia de una mitad SO de la isla formada por materiales antiguos (Paleocanaria) y otra mitad NE formada por materiales recientes (Neocanaria), podría explicarse por una falla a lo largo de los Barrancos de Agaete y Tirajana, que hundiría relativamente la mitad NE respecto a la SE.

La existencia en la zona de estudio de materiales correspondientes a la Formación Basáltica del Ciclo I, al Norte de la supuesta falla, permiten rechazar o, al menos, minimizar el movimiento vertical de esta hipotética falla (Hausen, H., 1962; Fúster, J.M. et al., 1968). Schmincke, H.V. (1968) y Fúster, J.M. et al. (1969), mencionan también la existencia de esta falla a partir de criterios geomorfológicos que permiten explicar la distinta altura entre el contacto Ciclo I - Ciclo Roque Nublo, a ambos lados del barranco, sin necesidad de movimiento vertical alguno.

La actividad tectónica en esta zona puede considerarse en relación a la actividad volcánica, es decir a las directrices estructurales a lo largo de las cuales pueden producirse inyecciones

de diques o alineaciones volcánicas, constituyendo emisiones volcánicas de tipo fisural. En el Ciclo Post-Roque Nublo, se observan dos direcciones de este tipo en el extremo NO de la zona de estudio según: NO-SE. En el Ciclo Reciente, es posible observar alineaciones volcánicas según NNO-SSE y NO-SE, en los conos de proyección aérea del campo volcánico de Arinaga.

No siempre el estado de tensiones se resuelve en la formación de una falla o fractura neutra que normalmente sirve como conducto de emisión del magma sino que, a veces, se produce una mayor densidad de diaclasas a lo largo de direcciones determinadas ("jointing"), que aprovecha la red de drenaje para encajarse. En la Formación Fonolítica es posible observar direcciones de debilidad de este tipo, según NO-SE, y en materiales del Ciclo Post-Roque Nublo: NNO-SSE y NO-SE.

Bajo la formación sedimentaria de Tirajana y los depósitos de barranco, los estudios de Geofísica no han detectado una disposición anormal de las formaciones volcánicas que constituyen el substrato, que permita suponer la existencia de la denominada Falla de Boucart.

7.4.- HIDROGEOLOGIA

7.4.1.- Descripción de las Formaciones Acuíferas

En el Plano M6, se representan las distintas formaciones acuíferas diferenciadas en la zona de estudio. Para ello se ha atendido a criterios texturales y estructurales observados en las distintos materiales como:

- Proporción de zona escoriácea en relación con zona masiva de las coladas.
- Grado de diaclasación y fisuración de la roca.
- Grado de alteración de la roca.
- Existencia de minerales secundarios en vacuolas y huecos.
- Grado de conexión de las vacuolas e intersticios.
- Proporción de depósitos piroclásticos.
- Grado de compactación de la roca.
- Heterogeneidad de los sedimentos detríticos.

De mayor a menor permeabilidad, las formaciones acuíferas existentes en la zona de estudio son:

Formación sedimentaria

Comprende todas las unidades y depósitos sedimentarios - existentes en la roca, excepto los Sedimentos (S_I) del ciclo I que, por grado de compactación, presenta unas características simila--

res a la Formación Basáltica I donde se apoyan. La permeabilidad de esta formación se supone elevada debido a que está constituida por conglomerados arenosos o limo-arcillosos sueltos que presentan una elevada porosidad intergranular. Dentro de esta formación, las zonas superficialmente más permeables son las correspondientes a los depósitos de cauce de barranco (S_b) ya que no presentan suelo. Las menos permeables superficialmente son la Formación Tirajana (S_a) sobre la que se ha desarrollado un suelo arcilloso y, en ocasiones, carbonatado (caliche) de más de un metro de espesor. Los depósitos coluvio-aluviales (S_a) debido a un carácter marginal y distal respecto a la parte central del abanico aluvial presentan una mayor proporción de finos en la matriz (arcillas y limos) que hace que su permeabilidad sea algo menor que en los restantes depósitos sedimentarios.

Formación Basáltica Subreciente

Comprende todas las formaciones basálticas post ciclo I, es decir: Basaltos y Tefritas ($B-Tf_{RN}$) del Ciclo Roque Nublo, Formación Basáltica inferior (B_{PRNC}^i) y Formación Basáltica superior del Ciclo Roque Nublo (B_{PRNC}^S) del Ciclo Post Roque Nublo y la Formación Basáltica inferior (B_R^i) del Ciclo Reciente.

Se caracteriza por tener una permeabilidad relativamente alta debido a la diaclasación y fisuración de las zonas masivas de coladas, vacuolas y poros conectados en las zonas escoriáceas y coladas vacuolares, y a la porosidad intersticial en el caso de depósitos piroclásticos.

Las características de permeabilidad y porosidad de esta formación acuífera disminuyen con la edad de la unidad volcánica, debido a los rellenos de minerales secundarios sobre las texturas y estructuras primarias que se producen al meteorizarse

la roca. De este modo, se tendría que dentro de esta formación acuífera, la Formación Basáltica inferior (B_R^i) del Ciclo Reciente sea la de mejores características hidráulicas y los Basaltos y Tefritas ($B-T_{RNC}$) del Ciclo Roque Nublo, la de permeabilidad menos elevada.

Formación Basáltica antigua

Está formada por las coladas basálticas de la Formación Basáltica (B_{IC}) del Ciclo I. Por lo general, se estima que poseen unas características hidrogeológicas intermedias ya que, si bien presentan una edad elevada (unos 14 a 10 m.a.), conservan parte de su textura y estructuras primarias sin rellenos de minerales secundarios. Esto se hace particularmente visible en las coladas de basaltos plagioclásicos de tipo pahoe-hoe que afloran en la zona, observándose como, a pesar de la meteorización de la roca, presentan todavía diaclasas abiertas, vacuolas interconectadas y huecos a lo largo de los contactos de las coladas.

En profundidad, se supone que la permeabilidad sea más baja, principalmente debido a una mayor proporción de coladas olivínico-piroxénicas de tipo escoriáceo de peores características hidrogeológicas.

Formación Sálida Antigua

Engloba la Formación Traqui-sienítica ($T-S_I$) y la Formación Fonolítica (F_I) correspondientes a los diferenciados sálidos del Ciclo I. Se estima que la permeabilidad de estas formaciones volcánicas es baja debido al carácter masivo y compacto, tanto de las tobas ignimbríticas ($F-S_{Iti}$), ignimbritas soldadas ($T-S_{ICi}$) y aglomerados volcánicos ($T-S_{Ia}$) de la Formación Traquisienítica, como de las coladas fonolíticas (F_{IC}) y brechas pumíticas -

soldadas de la formación Fonolítica. Su permeabilidad parece de-
berse únicamente a diaclasación de las coladas y mantos de ig--
nimbritas.

7.4.2.- Esquema Hidrodinámico

7.4.2.1.- Modelo global de flujo

El modelo clásico de Sistema Acuífero Insular, en el que el manto de agua dulce tiene forma de una gota de gran tamaño - (con una gran curvatura en su base y una superficie mucho más suave) que está "encajada" en una envoltura de agua salada que satura un anillo externo de isla bajo el nivel del mar y limitado - hacia el interior por la interfase agua dulce-agua salada y ha-
cia el exterior por la superficie sumergida de la isla, es váli-
do para la Isla de Gran Canaria (y en general para todas las Is-
las Canarias) desde un punto de vista global a escala insular.
En la Fig. M1 se representa esquemáticamente un modelo insular.

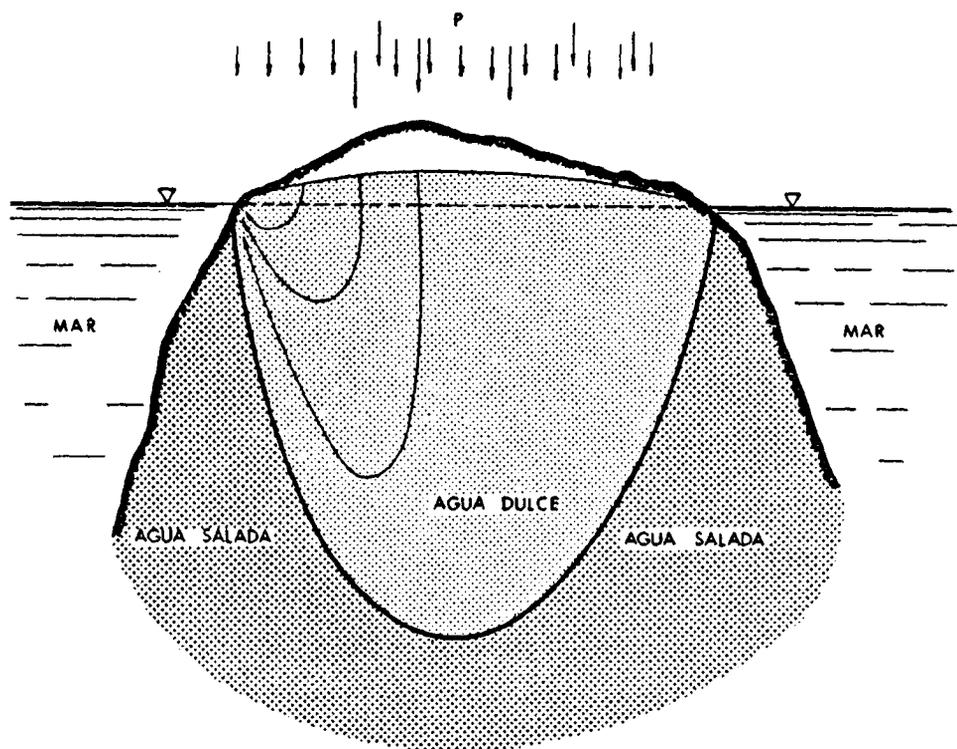


Fig. M.1.- ESQUEMA GLOBAL DE FLUJO EN UN ACUIFERO INSULAR

En un esquema de este tipo y en un terreno homogéneo e isótropo, las líneas de flujo, representadas en la figura, indican - una circulación vertical descendente en el centro de la isla, - donde la recarga natural es mayor, que cambia a ascendente en la costa (zona de descarga) donde el movimiento del agua tiene también una componente horizontal apreciable.

Naturalmente, este esquema teórico se cumple a escala de isla, pero, a una escala menor, la estructura geológica de la isla condiciona un hidrodinamismo mucho más complicado.

La disposición tabular de los sucesivos episodios volcánicos de distinta permeabilidad primaria, con mayor o menor buzamiento, con la intercalación de discontinuidades en periodos erosivos intermedios, y la compartimentación vertical ocasionada - por diques, fracturas y diaclasas, introducen componentes locales, horizontales y verticales, que complican la circulación de agua a nivel local, dando lugar a circulaciones preferentes y diferencias de nivel piezométrico en zonas muy próximas; es decir, dan origen a un esquema hidráulico tridimensional tan complicado que sólo se puede describir desde un punto de vista teórico.

7.4.2.2.- Esquema Hidrodinámico local. Formaciones saturadas.

A - SITUACION NO ALTERADA

En un estado anterior a la explotación, con el Sistema Hidrogeológico Insular en régimen permanente, el Sector de Arinaga -Tirajana, constituía sin duda una zona de descarga del manto insular por la, relativamente, alta permeabilidad de los materiales que hay en superficie: formaciones volcánicas recientes y materiales de aluvión.

Trasladando el modelo general de flujo, y particularizando para la estructura del Subsistema Arinaga-Tirajana, el sistema hidrodinámico se podría ilustrar tal como se presenta en la Fig. M2 que es una esquematización interpretativa sin escala. Se podrían distinguir dos zonas:

- una interior, con fuertes gradientes hidráulicos, en materiales volcánicos de baja permeabilidad, y
- una costera, de mayor permeabilidad relativa, en la que el gradiente se suavizaría, con una circulación preferente por la franja superficial formada por materiales volcánicos recientes y aluviones, a través de los cuales tendría lugar la descarga del sistema.

La posición de la interfase, idealizada como una línea, estaría acomodada a los dos gradientes del manto de agua dulce, de forma que la cuña de intrusión bajo la zona costera tendría una pendiente suave con relación a la que tendría bajo la zona de isla interior, que sería mucho más vertical como consecuencia de la carga de agua dulce que aumentaría hacia el interior con un gradiente muy pronunciado.

En esta situación anterior a la sobreexplotación actual, - que se mantuvo hasta finales de la década de los 60, las formaciones saturadas eran el recubrimiento aluvionar y todos los terrenos volcánicos infrayacentes desde los correspondientes al ciclo reciente hasta los basaltos y fonolitas del Ciclo I.

B - SITUACION ACTUAL

El esquema ideal anterior, ha ido modificándose sucesivamente en el tiempo, como consecuencia de la captación de agua por bombeo, que ha sometido al manto de agua dulce a una explotación

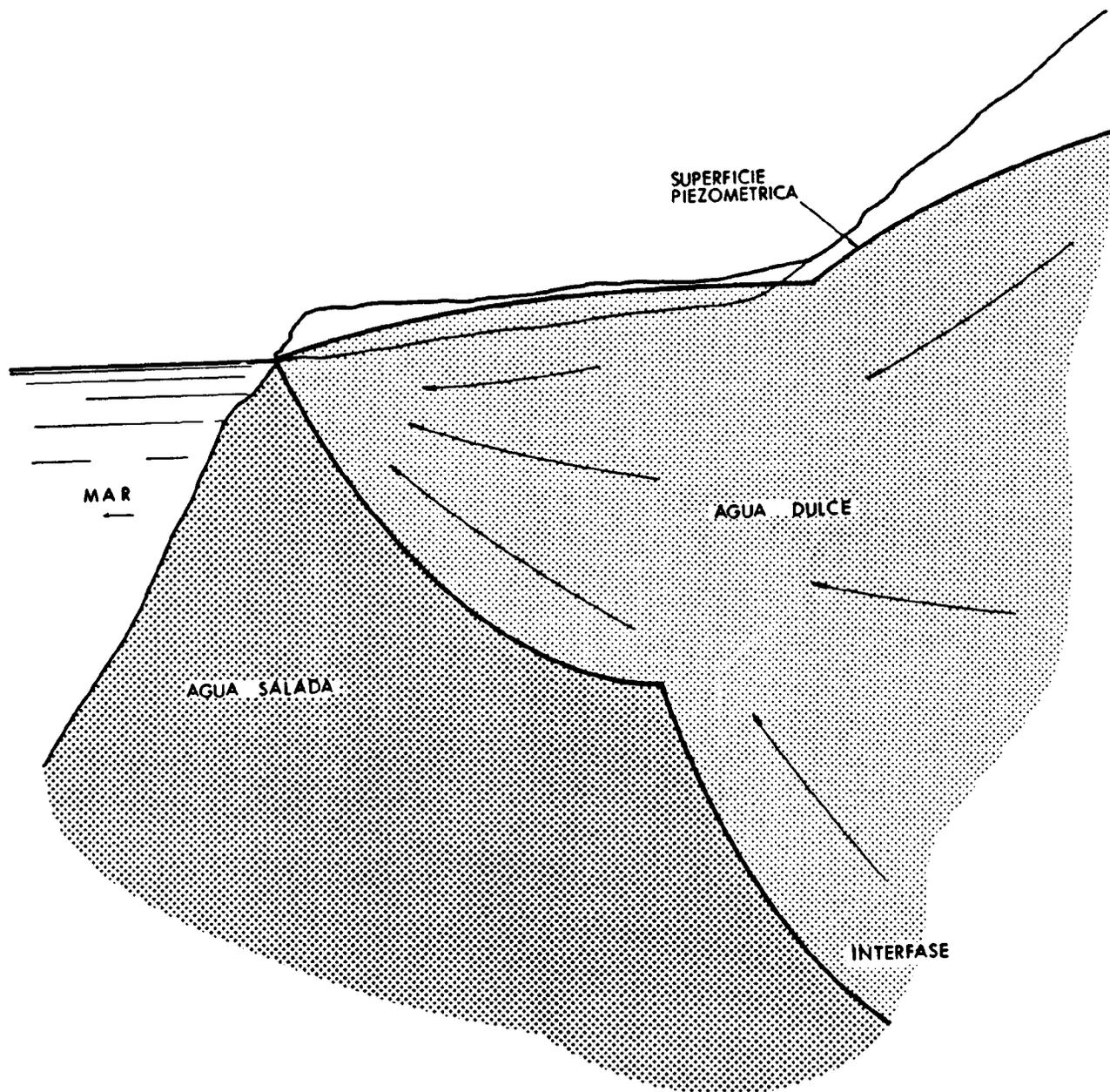


Fig. M. 2 .- ESQUEMA HIDRODINAMICO TEORICO DEL SUBSISTEMA ARINAGA-TIRAJANA EN REGIMEN DE EQUILIBRIO

ción progresiva, que se ha esquematizado en la fig. M3.

La consecuencia del sobrebombeo ha sido:

- por un lado la desaturación progresiva de las formaciones superficiales al descender el nivel del manto, formándose una profunda depresión en forma de valle, de tal manera que, en la actualidad, las únicas formaciones saturadas son las fonolitas y los basaltos del Ciclo I, que forman el acuífero al Sur y al Norte, respectivamente, del Barranco de Tirajana; - solamente queda una zona de acarreo saturados inmediatamente próxima a la costa, que está salinizada;
- por otro lado, la modificación espacial de la interfase, que se ha desplazado en sentido horizontal hacia el interior de la zona costera, y en sentido vertical ascendente, contribuyendo a reducir el espesor de agua dulce en la zona de bom--beos provocando un empeoramiento en la calidad del agua bombeada.

En los apartados 7.6.1. y 7.6.2. se analiza la evolución y situación actual del Subsistema Acuífero tomando como base la evolución de explotación, piezometría y calidad química.

7.4.2.3.- Modelo conceptual de Flujo en la Zona No Saturada

El carácter torrencial de la precipitación en la isla, - configura un mecanismo de recarga peculiar, asociado a la red de drenaje por donde circula buena parte de la aportación pluviométrica en un corto periodo de tiempo. Por tanto, es a lo largo de los cauces de los barrancos por donde se produce la - infiltración del agua subterránea hasta alcanzar el nivel de - saturación insular. El movimiento del agua en la zona no satu-

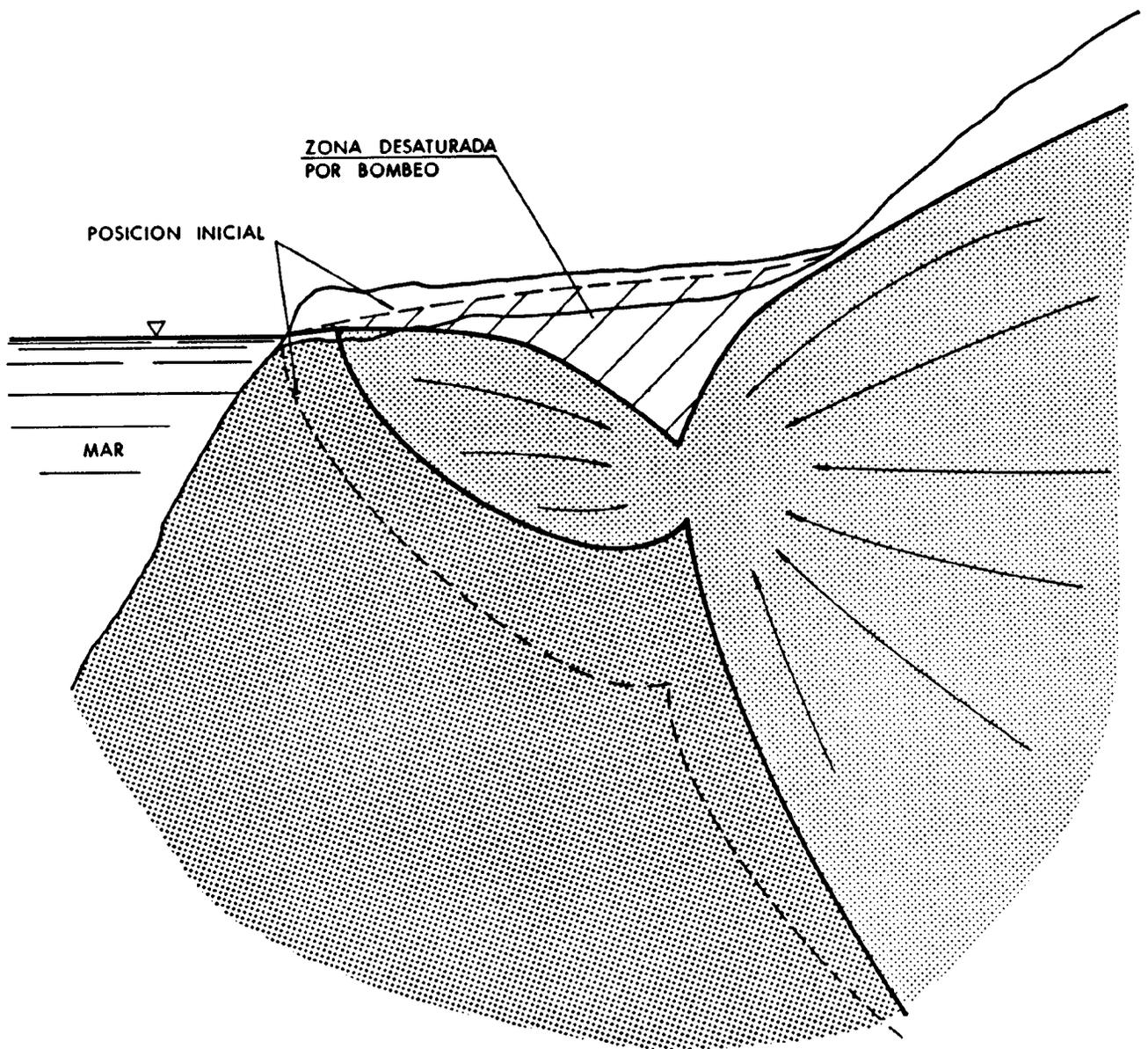


Fig. M-3.-ESQUEMA HIDRODINAMICO ILUSTRATIVO DE LA SITUACION ACTUAL

rada se encuentra muy influenciado por la heterogeneidad y anisotropía del medio volcánico, que provoca la existencia de zonas - donde predomina. la componente horizontal y otras donde, debido a la diaclasación de las coladas, predomina la componente - vertical.

A parte del carácter influente de los Barrancos en la zona, hay que destacar el papel hidrogeológico que juegan las direcciones de fractura y la existencia de paleobarrancos rellenos de materiales volcánicos subrecientes ya que constituyen direcciones preferenciales de flujo subsuperficial y subterráneo. Por otra parte, juegan un importante papel las crestas de material poco permeable existentes bajo el cauce de los barrancos, ya que actúan a modo de presas subterráneas naturales, desviando el flujo subsuperficial a lo largo de las formaciones permeables de subsuelo de los barrancos, hacia otras formaciones volcánicas permeables del entorno.

En el plano M6 se puede observar no sólo los afloramientos de las distintas formaciones acuíferas, sino la disposición de las formaciones volcánicas bajo los depósitos sedimentarios.

De esta forma, es posible observar la existencia de dos digitaciones de la Formación Basáltica subreciente bajo y a lo largo del eje Aldea Blanca - Juan Grande y al Norte de Vecindario. Estos antiguos paleobarrancos rellenos por una formación más permeable, constituirán dos grandes direcciones de flujo en la zona no saturada. La primera de estas digitaciones se encuentra conectada tanto al barranco de Tirajana como al barranco de la Licencia, mientras que la segunda, situada al NO del Cruce de Arinaga, podría estar conectada con el barranco de Guayadeque situado al norte de la zona de estudio.

7.4.3.- Características del acuífero y del Manto

Como se ha dicho anteriormente, el acuífero del Subsistema Arinaga-Tirajana está constituido por los basaltos antiguos y las fonolitas del Ciclo I. En el plano M6 puede observarse la disposición geométrica de ambas formaciones.

Al norte del Barranco de Tirajana, la única formación saturada son los basaltos antiguos. En ellos, el manto tiene carácter libre, según parece ponerse de manifiesto en los bombeos de ensayo realizados, salvo en alguna zona cercana a la costa donde puede estar confinado o semiconfinado. Es posible que el carácter libre en el interior sea consecuencia de que el descenso del nivel haya sobrepasado los niveles confinantes o semiconfinantes que aún actúan en la costa al mantenerse el nivel a cota 0 por el potencial constante del nivel del mar.

Al Sur del Barranco de Tirajana, el substrato saturado está constituido por fonolitas bajo las cuales subyacen los basaltos antiguos. El manto en esta zona está confinado, probablemente como consecuencia de la baja permeabilidad de las fonolitas que las hace actuar como nivel confinante de alguna pasada basal más permeable o, incluso, de los basaltos, que parece han sido captados por algunos pozos de la zona. Esta posibilidad no se puede confirmar por falta de información, pero es bastante verosímil.

Los coeficientes de formación del acuífero se han deducido a partir de la campaña de bombeos realizada en este proyecto, con el apoyo de las pruebas que se hicieron en sondeos de investigación geotérmica (Bco. de las Palmas y Agüimes) e hidrogeológica (Bco. Hondo) y de estudios anteriores (SPA-15, MAC-21). Teniendo en cuenta que el espesor del acuífero saturado es variable

el coeficiente más representativo es la permeabilidad, para la que se han obtenido valores (Vease Anexo 4) comprendidos entre 1 y 100 m/d para los basaltos antiguos y entre 0,3 y 2 m/d para las fonolitas, estos últimos con la duda de que correspondan realmente a fonolitas, ignimbritas o basaltos antiguos.

La dispersión de estos valores no hace más que confirmar la heterogeneidad del acuífero. Este aspecto cualitativo es su principal valor, proque su fiabilidad numérica es dudosa por el peculiar régimen hidrodinámico, que no se parece en nada a las condiciones de aplicabilidad de las metodologías clásicas de la hidráulica de pozos.

El mismo razonamiento sobre la fiabilidad puede aplicarse al coeficiente de almacenamiento o porosidad eficaz, según las zonas, porque no es posible hacer bombeos con piezómetros de observación, y la interpretación, según el esquema de Papadopulos - Cooper (1967), puede dar lugar a valores con desviaciones de uno o dos órdenes de magnitud.

En todo caso, los valores calculados concuerdan perfectamente con el carácter libre o confinado atribuido al acuífero.

En el acuífero basáltico, la zona interior tiene una porosidad eficaz comprendida entre 0,01 y 0,4 que, en orden de magnitud, confirma el carácter libre del manto. La difusividad del acuífero T/m_e varía entre 1.700 m²/día y 20.000 m²/día, es decir, se trata de un acuífero poco difusivo, cualidad ratificada por la reducida extensión lateral de los conoides de desaturación que, por el contrario son muy profundos. Este hecho se puso de manifiesto con claridad en el ensayo de infiltración realizado en el pozo 424330006 que absorbió muy rápido el agua inyectada con un descenso de nivel muy inferior a la sobrepresión creada.

La difusividad de la franja costera se ha deducido del ensayo de mareas realizado en el pozo 424330125, dando valores de T/S comprendidos entre 670.000 m²/día y 1.056.000 m²/día, es decir una difusividad alta que corresponde a un acuífero confinado. Los valores del coeficiente de almacenamiento que se deducen oscilan entre 10⁻³ y 10⁻⁶.

En el acuífero fonolítico sólo tiene un valor puntual del coeficiente de almacenamiento (S) de 5x10⁻⁶, que también concuerda con el carácter confinado atribuido al acuífero, cuya difusividad T/S es del orden de 950.000 m²/día.

Las características químicas del agua reflejan una diferencia importante, pues existen dos familias de aguas cuyas facies parecen bien diferenciadas: por un lado las aguas extraídas de los Basaltos Antiguos al N de Tirajana son cloruradas magnésicas con relaciones r Ca+Mg/r Na+K superiores a 1 con salinidad total media entre 5.000 y 6.000 mg/l, y por otro, las aguas extraídas al Sur de Tirajana tienen una facies clorurada sódica con relación r Ca+Mg/r Na+K inferior a 1 y salinidades medias entre 1.000 y 1.500 mg/l. Esta diferencia puede ser atribuible, en principio, a la diferente litofacies, basaltos al Norte, fonolitas al Sur, que condicionan diferentes mineralizaciones del agua. No obstante, hay otra posible causa diferenciadora, que es consecuencia de la mayor y más antigua explotación en el sector Norte que, al llevar aparejada una mayor depresión, ha provocado la movilización de agua del circuito ascendente en el esquema de flujo global, agua de circulación lenta y que, por consiguiente, ha estado más tiempo en contacto con basaltos y ha adquirido una mayor carga en sales magnésicas. En favor de esta segunda hipótesis está el hecho de que, en el sector Norte, hay gran diferencia entre pozos situados en la vertiente del valle piezométrico del lado del acuífero insular y pozos situados en el fondo del Valle (Veánse, por ejemplo los pozos 424330006 y 424330011 con respecto a 42433034 y 434330056, o cualesquiera en las situaciones semejantes).

Además de esta diferenciación que podría considerarse primaria, hay un segundo hecho que caracteriza y diferencia las aguas del Acuífero Arinaga-Tirajana, aunque no da lugar a dos tipos generales de aguas, sino que establece diferencias individualizadas incluso en puntos más próximos del acuífero. Evidentemente, se trata de la contaminación salina subsecuente a la penetración de la interfase provocada por la explotación del acuífero. La intrusión local, caracterizada por la relación $\frac{r \text{ Cl}}{r \text{ CO}_3\text{H}}$ en meq./l, es muy variable ya que depende de la profundidad del pozo y de la intensidad del bombeo. Varía entre valores muy próximos a cero y superiores a 50 (recuérdese que los valores entre 0 y 1 corresponden a aguas continentales y entre 20 y 50 a aguas del mar).

7.5.- BALANCE HIDRICO

7.5.1.- Elementos del Balance

7.5.1.1.- Infiltración

Del estudio climatológico realizado (Véase Anexo 1), se deduce que el valor medio de la infiltración directa de lluvia para el período 1951/52-1985/86 es de 15 mm/año, equivalentes a un 10% de la precipitación media anual.

Como la superficie aproximada del Subsistema es de 100 Km², la recarga total por infiltración de lluvia es, por término medio, de 1,5 hm³/año.

Por su parte, la escorrentía superficial propia de la zona, se ha evaluado en 8,4 mm/año. Teniendo que este agua circularía hasta los barrancos, cuyo cauce es más permeable y tiene una capacidad de retención (Reserva Util Máxima) menor de 50 mm, se puede estimar, sin cometer error importante, que se infiltrará en su totalidad y se unirá a la infiltración directa.

Por tanto, la tasa de infiltración total a partir de la lluvia es de 23,4 mm/año, equivalentes a 2,3 hm³/año.

Los cálculos realizados para el año 1985/86 dan una lluvia útil de 0 mm por lo que la infiltración es también 0 mm; es decir, en el año 1985/86 no ha habido recarga por lluvia en el Subsistema Acuífero Arinaga-Tirajana.

7.5.1.2.- Alimentación Lateral

Las entradas laterales procedentes del interior de la isla y de la zona costera, se han calculado aplicando la ley de

Darcy a perfiles transversales medios representativos de cada una de las 3 zonas piezométricas en que se puede dividir el acuífero; es decir, las depresiones del Bco. Balos y Tirajana, y la zona más elevada intermedia, tal como se definen al analizar la situación actual (ver plano M7).

En la figura M4 se adjunta el corte representativo de la zona deprimida Norte con la notación que se emplea en el cálculo y que es la siguiente:

- E: distancia desde la zona deprimida a la zona de nivel piezométrico no influenciado (m)
- H: cota piezométrica de referencia (m)
- L: longitud de la zona de paso de agua (m)
- S: altura vertical media de paso de agua(m)
- i: gradiente hidráulico
- K: permeabilidad (m/d)

Como valor de permeabilidad, en todos los casos se ha usado el de 2 m/d, que es el medio correspondiente a los evaluados por bombeo en la zona más interior del acuífero.

Por otra parte, como sección de paso de agua eficaz, se considera el 15% de la sección de paso total.

Para la alimentación media se ha utilizado el ensayo de isopiezas de 1982, incluido en el informe del IGME sobre "Control Piezométrico y de Calidad de las Aguas Subterráneas en los Acuíferos Costeros de la Isla de Gran Canaria. Análisis del Período 1979-1983".

Los cálculos realizados, son los siguientes:

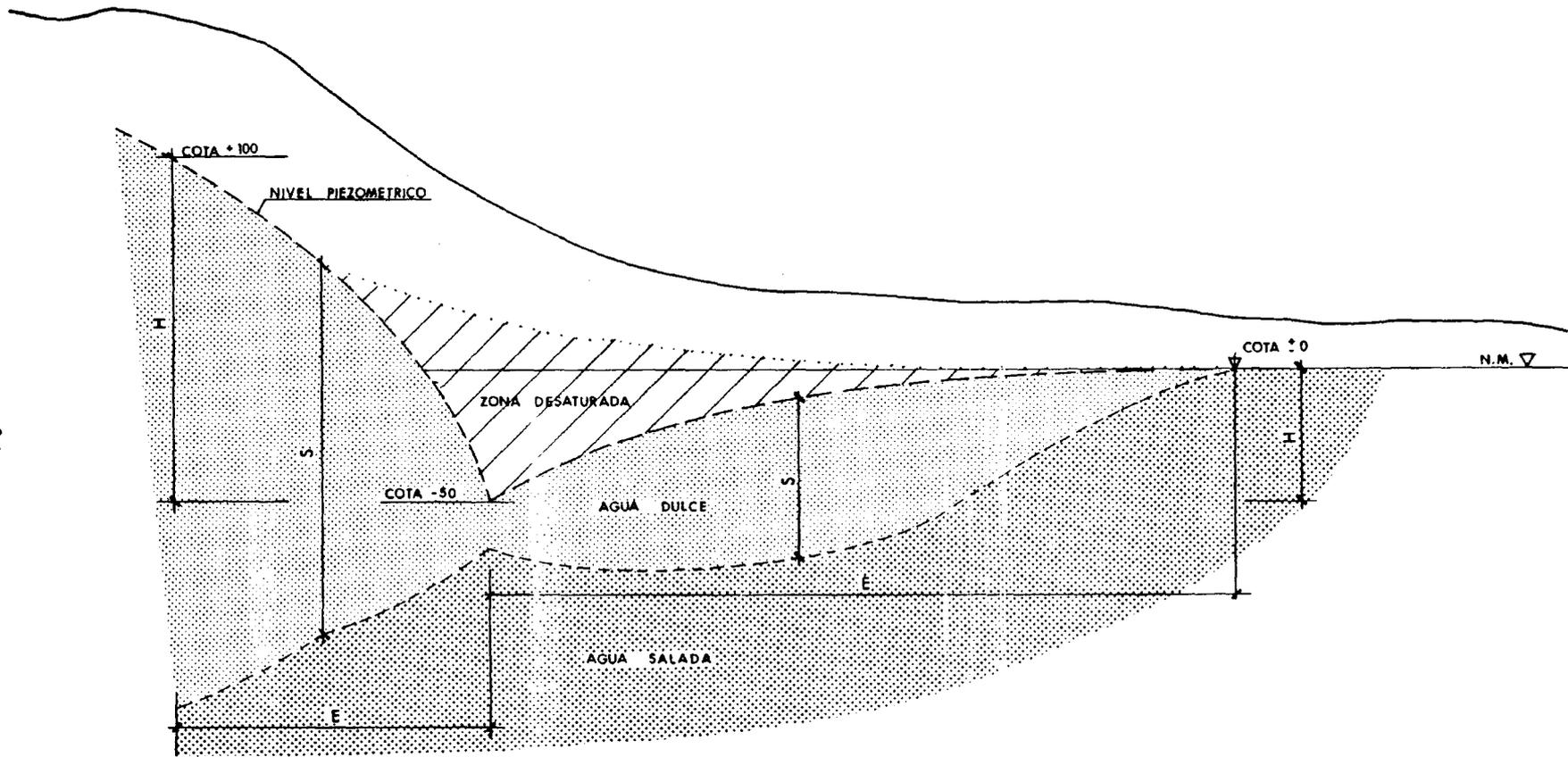


Fig. M.4.- CORTE HIDRODINAMICO TIPO EN EL SECTOR NORTE
DEL BARRANCO DE BALOS
E = 1:25.000

ALIMENTACION MEDIA = $6,0 \text{ hm}^3/\text{año}$

1. FLUJO DE INTERIOR

. Depresión Norte (Balos)

$$K = 2 \text{ m/d}$$

$$H = 125 \text{ m}$$

$$E = 1.000 \text{ m}$$

$$i = 0,125 \text{ m}$$

$$S = 125 \times 0,15 = 18,75 \text{ m}$$

$$L = 2.000 \text{ m}$$

$$V = Q \times 365 \times 10^{-6} \text{ hm}^3/\text{año} = \text{K.S.L.i. } 365 \times 10^{-6} = 3,4 \text{ hm}^3/\text{a.}$$

. Zona Intermedia

$$K = 2 \text{ m/d}$$

$$H = 100 \text{ m}$$

$$E = 2.000 \text{ m}$$

$$i = 0,05$$

$$S = 50 \times 0,15 = 7,5 \text{ m}$$

$$L = 2.000 \text{ m}$$

$$V = 0,55 \text{ hm}^3/\text{año}$$

. Depresión Sur (Tirajana)

$$K = 2 \text{ m/d}$$

$$H = 125 \text{ m}$$

$$E = 3.000 \text{ m}$$

$$i = 0,04$$

$$S = 125 \times 0,15 = 18,75 \text{ m}$$

$$L = 3.500 \text{ m}$$

$$V = 1,9 \text{ hm}^3/\text{año}$$

2. FLUJO DEL MAR

$$K = 2 \text{ m/d}$$

$$H = 30 \text{ m}$$

$$E = 3.000 \text{ m}$$

$$i = 0,01$$

$$S = 30 \text{ m} \times 0,15 = 4,5 \text{ m}$$

$$L = 6.000 \text{ m}$$

$$V = 0,2 \text{ hm}^3/\text{año}$$

$$\underline{\text{ALIMENTACION 1986}} = 10.6 \text{ hm}^3$$

1. FLUJO DEL INTERIOR

. Depresión Norte

$$K = 2 \text{ m/d}$$

$$H = 150 \text{ m}$$

$$E = 1.000 \text{ m}$$

$$i = 0,15$$

$$S = 150 \times 0,15 = 22,5 \text{ m}$$

$$L = 2.000 \text{ m}$$

$$V = 4,9 \text{ hm}^3$$

. Zona Intermedia

$$K = 2 \text{ m/d}$$

$$H = 1000 \text{ m}$$

$$E = 1.500 \text{ m}$$

$$i = 0,07$$

$$S = 50 \times 0,15 = 7,5 \text{ m}$$

$$L = 2.000 \text{ m}$$

$$V = 1,0 \text{ hm}^3$$

. Depresión Sur

$$K = 2 \text{ m/d}$$

$$H = 175 \text{ m}$$

$$E = 3.000 \text{ m}$$

$$i = 0,058$$

$$S = 175 \times 0,15 = 26,25 \text{ m}$$

$$L = 3.500 \text{ m}$$

$$V = 3,9 \text{ hm}^3$$

2. FLUJO DEL MAR

$$K = 2 \text{ m/d}$$

$$H = 50 \text{ m}$$

$$E = 4.000 \text{ m}$$

$$i = 0,0125$$

$$S = 50 \times 0,15 = 7,5 \text{ m}$$

$$L = 12.000 \text{ m}$$

$$V = 0,8 \text{ hm}^3$$

7.5.1.3.- Retornos de Riego

De acuerdo con el informe citado anteriormente (IGME,1984) en el sector de Arinaga-Tirajana, se riega una media de 2.000 ha/año con una dotación de 7.000 m³/ha/año, lo cual da un volumen de agua aplicada en regadío de 14 hm³/año como media.

Los retornos del riego por percolación se estiman en un 20% del agua aplicada, que equivale a 2,8 hm³/año de infiltración por este concepto, tanto para la media como para el año 1986.

7.5.1.4.- Infiltración de Escorrentía de Barrancos

El estudio hidrológico realizado (Anexo 3) pone de manifiesto que son muy escasas las aportaciones que alcanzan el curso bajo de los barrancos, considerando exclusivamente las avenidas provocadas por los aguaceros máximos.

En condiciones normales, el agua de escorrentía producida por las precipitaciones normales, se infiltra en la parte alta del cauce y se incorpora al flujo normal del acuífero insular. Por tanto, su aportación ya está incluida en las entradas subterráneas laterales desde el manto insular.

Por lo que respecta a los aportes excepcionales, se han calculado los volúmenes de avenida para períodos de retorno de 2, 5, 10, 15 y 20 años, de los Barrancos de Balos y Tirajana, que son los únicos utilizables, puesto que no hay historiales de datos foronómicos en la zona. Con los valores calculados se ha establecido la ley que liga los volúmenes (V) de avenida y los períodos de retorno (T), que es una ecuación de la forma:

$$V = -0,76 + 1,13 \ln T$$

que permite obtener los volúmenes de avenida probables para períodos de retorno de 25, 30 y 35 años. Los valores son los siguientes (asignando al Bco. de Las Palmas una aportación igual a la de la Cuenca de Tirajana aguas abajo de la Presa de Tirajana):

Período de Retorno	Volumen de Avenida
2	0,12
5	0,97
10	1,83
15	2,35
20	2,73
25	2,89
30	3,10
35	3,27

Haciendo la hipótesis de que todas las probabilidades se cumplen y se producen todas las avenidas en un período de 35 años, el volumen total de aportación superficial en ese período es de 17,26 hm³, y la media anual de 0,5 hm³/año.

Suponiendo que se infiltra el 100%, las entradas al Subsistema Arinaga-Tirajana procedentes de escorrentía superficial son 0,5 hm³/año.

Por su parte, en el año 1986, no ha habido ninguna escorrentía.

7.5.1.5.- Explotación por bombeo. Usos del agua

Existen muy pocos datos de explotación anual, sólo 1980, 1982 y 1986, que son, respectivamente de 14,8, 18,5 y 17,9 hm³, con una media de 17 hm³/año.

Teniendo en cuenta que el balance medio se extiende al período de 35 años anterior a 1986, lo más razonable es considerar que la explotación media es del orden de 15 hm³/año.

Durante el año 1986, la explotación en el Subsistema Acuífero Costero de Arinaga-Tirajana alcanzó una cifra total de 17,9 hm³ según la actualización de explotaciones realizada, que es posible esté algo subvalorada por la tendencia general de propietarops y encargados de pozos a dar valores ligeramente inferiores a los reales, tanto en caudal extraído, como en horas de bombeo.

Por ello, prácticamente puede afirmarse que el volumen extraído es del orden de 18 hm³ en 1986, que se utilizará para el cálculo del balance.

La explotación es bastante regular como puede observarse en el gráfico de la figura M5 que refleja la distribución mensual de las extracciones de agua. Esto explica claramente el estado deprimido del manto durante todo el año que se ha comentado en apartados anteriores.

Conviene recalcar que las cifras y regímenes de explotación proceden de datos verbales recogidos en campo, ya que por el momento no hay otra forma de control.

Se observa inmediatamente que el régimen de extracciones está directamente condicionado por la zafra del tomate, que tiene una duración variable, con un comienzo entre 1 y 30 de septiembre y un final entre últimos de marzo y últimos de abril, incluso extendiéndose a mayo, según sea la climatología del año.

El inicio de bombeo durante los meses de julio y agosto se debe al llenado de los estanques que realizan los agricultores para estar a salvo de eventuales restricciones posteriores de agua.

La utilización del agua bombeada se distribuye en 13,2 hm³ para usos agrícolas y 4,8 hm³ para abastecimiento urbano e industrial.

Por otro lado, una parte no determinada del agua se exporta a otras zonas, sobre todo a Sur (Maspalomas) y al Norte (Las Palmas) con destino general a abastecimiento urbano.

7.5.1.6.- Salidas al Mar

De los planos de posición de nivel, se deduce que en el año 1986 no hay salidas de agua dulce al mar en la franja costera de Arinaga-Tirajana, como consecuencia de que la explotación por bombeo las ha anulado.

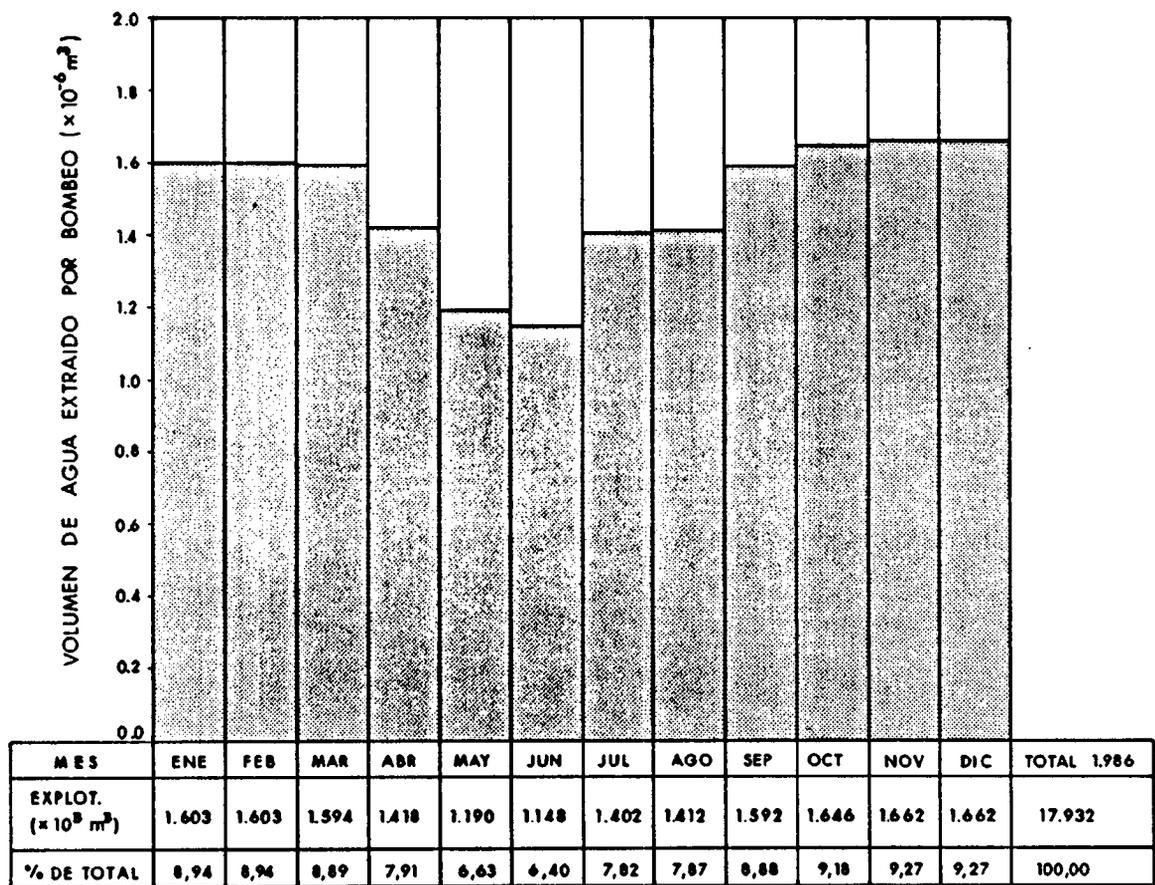


Fig. M.5.- EXPLOTACION POR BOMBEO EN EL SUBSISTEMA ACUIFERO DE ARINAGA-TIRAJANA.- Distribución mensual 1986

En balances anteriores se han evaluado estas salidas en 0,2 hm³/año (IGME, 1984) como valor medio, es decir, en cualquier caso son prácticamente despreciables frente a los demás componentes del balance.

7.5.1.7.- Demandas

La demanda de agua teórica de la zona (IGME, 1984) está cifrada en unos 16,5 hm³/año, que se distribuyen de la forma siguiente:

- 14 hm³/año de demanda agrícola, a razón de una media de 2.000 ha. de cultivos itinerantes que requieren una dotación media teórica de 7.000 m³/año.
- 1,5 hm³/año de demanda urbana para atender a los 45.000 habitantes que pueblan la zona, distribuidos en los núcleos de Arinaga, Cruce de Arinaga, Cruce de Sardina, Vecindario, Doctoral, Juan Grande, Sardina y Aldea Blanca, con una dotación media de 100 l/hab./día.
- 1 hm³/año de demanda para usos industriales, centrada en el Polígono de Arinaga.

7.5.2.- Balance Interanual

De acuerdo con los datos desglosados en el apartado anterior, se deduce que los volúmenes medios de entradas y salidas, son:

1.- ENTRADAS

. Infiltración	.....	2,3 hm ³ /año
. Laterales	.....	6,0 "
. Retornos	.....	2,8 "
. Esc. superficial	.....	<u>0,5</u> "
TOTAL	.....	11,6 hm ³ /año

2.- SALIDAS

. Bombeos	15,0	hm ³ /año
. Salidas al mar	<u>0,2</u>	"
TOTAL	15,2	hm ³ /año

El balance de entradas-salidas indica un déficit anual de 3,6 hm³ como media, cantidad que extrae con cargo a las reservas del acuífero.

7.5.3.- Balance 1986

Los elementos del balance hídrico para el año 1986, son:

1.- ENTRADAS

. Infiltración	0,0	hm ³ /año
. Laterales	10,6	"
. Retornos	2,8	"
. Esc. superficial	<u>0,0</u>	"
TOTAL	13,4	hm ³ /año

2.- SALIDAS

. Bombeos	17,9	hm ³ /año
. Salidas al mar	<u>0,0</u>	"
TOTAL	17,9	hm ³ /año

Es decir, en el año 1986 se ha producido una sobreexplotación de 4,5 hm³ que es un 25% mayor que la sobreexplotación - media.

En la distribución de la explotación del año 1986 (Figura M5) se observa también que el máximo de noviembre-diciembre, es ligeramente superior al registrado en enero-febrero. Esto es un indicio claro del aumento progresivo de extracciones que tie

ne lugar en el acuífero, más acusado en este caso por la escasez de lluvias del otoño de 1986, y que se ha confirmado durante el primer semestre de 1987, en el que, debido a la sequía, ha aumentado el régimen de bombeo en buena parte de los pozos. Tomando como referencia la campaña de piezometría de julio de 1987, puede decirse que el volumen de agua bombeada ha aumentado entre un 10 y un 15%, lo cual permite estimar una explotación comprendida entre 19 y 20 hm³ durante el año 1987.

Es decir, la sobreexplotación mantiene un ritmo creciente, que está conduciendo al acuífero a un estado de desequilibrio, que se describe en el apartado siguiente, que parece no se corregirá a corto plazo, porque la demanda de agua es creciente, tanto dentro como, sobre todo, fuera de la zona, y el alto precio de venta está provocando la puesta en explotación de pozos abandonados hace años. Hay un segundo factor de riesgo, que es la progresiva implantación de pequeñas plantas desaladoras que operan por ósmosis inversa, que están dando lugar al comienzo de bombeos en la zona costera salinizada porque el proceso es barato y eficaz. De la misma manera, agua salobre bombeada en esa franja se conduce a las plantas potabilizadoras de Las Palmas, porque esta agua está filtrada y apenas tienen impurezas que afectan a las membranas del proceso por ósmosis.

7.6.- EVOLUCION Y ESTADO ACTUAL

En los apartados anteriores, ya se han aportado indicios claros del proceso histórico que ha seguido el Subsistema Acuífero de Arinaga-Tirajana, sometido a un sobrebombeo que ha desembocado en una situación sobreexplotación local, con niveles muy deprimidos y calidad de agua deteriorada que, evidentemente, avanza, pero con un ritmo de crecimiento menor, en términos absolutos, del que se pensaba cuando se hicieron los primeros estudios en la zona hace una década aproximadamente, y que tiene altibajos condicionados directamente por la explotación.

La exposición que sigue, se ha dividido en dos partes: una primera en la que se razona sobre los datos que sirvan de base al análisis de la evolución, y una segunda en la que se comenta el análisis de la situación actual.

7.6.1.- Evolución

En un estudio clásico de evolución de un acuífero se utilizan dos tipos de datos como fuente de información: la evolución piezométrica y la evolución de calidad química.

Sin embargo, en el Subsistema Arinaga-Tirajana, fue necesario modificar el criterio porque el análisis de la información existente puso de manifiesto que el manto está siempre deprimido por los bombeos, que, con mayor o menor intensidad, son constantes durante todo el año. Es decir, no hay evolución piezométrica, porque los niveles registrados reflejan un estado de mayor o menor depresión del manto, o sea, un estado instantáneo que es diferente del siguiente y del anterior.

En estas condiciones no hay posibilidad de analizar descensos anuales, como consecuencia de la explotación, ni descensos

residuales, ni se puede saber con un mínimo de garantía, el descenso medio de niveles como consecuencia de la desaturación del acuífero, que realmente existe, porque los pozos han ido aumentando de profundidad. Quizá el descenso del nivel puede ser asimilado a la reprofundización, pero no absolutamente.

Por tanto, se desechó el control piezométrico como elemento de análisis y se optó por utilizar los coeficientes hidroquímicos ligados a la intrusión y como elemento comparativo a la explotación anual. Evidentemente, la calidad del agua también está ligada directamente a la depresión, por el efecto dinámico que ésta provoca sobre la interfase, pero la reacción no es tan inmediata como en los niveles.

Los datos hidroquímicos de comparación, se han resumido en los cuadros M1 a M3 que recogen los valores numéricos de la conductividad (en $\mu\text{mhos/cm}$), ión cloruro (en mg/l) y relación $\text{rCl/rCO}_3\text{H}$ (en meq./l), de muestras de agua de 34 pozos, desde el año 1976 hasta la actualidad.

Por lo que se refiere a la explotación total en el Subsistema, solamente se dispone de datos de tres años: 1980, 1982 y 1986, para la observación de la variación de las extracciones anuales. Para estos tres años, los volúmenes anuales extraídos, son:

<u>AÑO</u>	<u>Extracción anual (hm^3)</u>
1980	14,8
1982	18,5
1986	17,9

A nivel puntual de pozo, si existen más datos que permiten observar con más detalle la evolución interanual, pero claro,

EVOLUCION DE PARAMETROS HIDROQUIMICOS SIGNIFICATIVOS

CONDUCTIVIDAD ($\mu\text{mhos/cm}$)

CUADRO M-1

HOJA M.T.N. 1/50.000 N° 42 - 43

N° Invent.	F E C H A (mes/año)														
	9/76	12/80	6/81	11/81	4/82	7/82	11/82	5/83	11/83	6/84	11/84	5/85	10/85	6/86	10/86
30001							1570	1540	1498	1824	1671	1542		1529	795
30005		3100		3100	3090	3170	1450	2700	2720	3120	2940	2940	2840	2530	3080
30006						1430	1430	1248		1370	1676	3776	1742	1396	1705
30011				1690			2730							1668	2100
30012		1700		1740		1744	1740								2130
30013		5000		4750	4690	5310	5250	4680	4830	5220	5610		5080	4630	5950
30016	1950				2250		2070	2160			2050	2120	2150	2020	
30017	5150	6850	6600	6820			6470	6970		7020	6690	7480	6600	6290	7170
30027	1850	3150	3200	3390	3580		3570	3370		3480	3460	3040	2533	3760	3230
30032		1400						1253	1365	1232	1410	1330			1356
30033		1950	1900	1530	2120										2250
30034	1000	5500		6170	6810		6500	5830	5730	4830	5150	4700	5120	4760	6070
30047		8000	9200	8380		8770	8670	9720	10160	10130	11450	7350		10990	11870
30051	18500	13500			13380	13600	12540	13050		13600	13780	13290	13020	11770	14080
30053		1060				1030	975	890		2130	2610	1015	982		4930
30056	6240	8550	8950	9410	9250	10070	9890	10150	9570	10590	9700	8400	11640		11560
30058		2200	2300	2210			2020	1936	1975	1024	2180	2090	2150	1827	2050
30061		2350	2600	2690											4650
30062		5100				4990	5680	4900	6230	5360	2670	2390	2390	2790	
30066	4900	5700		6210							8050		9110		10160
60001		1300	1375	1349		1356	1345	1253	1294	1380	1358	1373	1325	1323	
70001		1550		1825	1191	1121									1090
70002		1550		1317	1450	1373	1326	1136	1250	1262	1429	1308	2289	1320	1180
70003		3100	1450		1402		1250	1170	1288	1380	1359	5440	1630	2440	1410
70004	8980		12800	12460	12760		12920	12610	14310	14230	13800		14760		15760
70010		1750	1950	1700	1947	1865	1645	1836	1482	1580	1437	6680	1617	1448	1083
70012		3490	4000	4610	4760	3730	5000	4930			5930		6430	5280	6160
70014		4900					5000	5090	5890		6760		6890		7620
70015			2950	3520	3390										4990
70016		1850		1850	1978	1942					1698	1939	1868	1874	2040
70017		1175	1250	1100	1210		1149	1101	1126	1105	1168	1156	1174	1084	1174
70018				2010	2070						2160				1197
70019		2300	2550	2510	2490			2230	2380	2240	2310	2230		2150	2020
70020		2375		2170					1711		1740	2070	2050	2040	2310

EVOLUCION DE PARAMETROS HIDROQUIMICOS SIGNIFICATIVOS

ION CLORURO (mg/l)

CUADRO M-2

HOJA M.T.N. 1/50.000 N° 42 - 43

N° Invent.	F E C H A (mes/año)															
	9/76	12/80	6/81	11/81	4/82	7/82	11/82	5/83	11/83	6/84	11/84	5/85	10/85	6/86	10/86	
30001							276	186	203	197	194	207		282	76	
30005		424		400	434	414	221	414	405	412	409	407	467	416	416	
30006							197	207	207		215	229	238	218	230	195
30011				217				407							273	278
30012		261		162			286	193								382
30013		1001		1039	1042	1086	1120	1121	1121	1181	1172		1315	1196	1301	
30016	338				356		362	345			356	348	393	354		
30017	1620	2068	1960	2083			2137	2286		2237	2344	2376	2248	2127	2257	
30027	369	763	817	817	921		1000	1001		937	1007	860	1103	1111	790	
30032		237						248	262	257	267	265			243	
30033		397	375	290	500										556	
30034	887	1765		1958	2241		2258	2156	2122	1736	1690	1595	1739	1840	2040	
30047		2542	3133	2750			2930	3188	3494	4054	1166	4339	2672	4772	5034	
30051	4230	4327			4518	4480	4395	4486		4473	4600	4497	4582	4190	3819	
30053		186					183	179	179		456	763	183	177	1302	
30056	2106	2966	3067	3167	3431	3490	3619	3752	3752	4025	3555	3182	4375		4815	
30058		407	383	375				405	415	431	179	434	458	475	425	486
30061		576	638	667												1389
30062		1491					1482	1689	1673	2023	1432	590	469	454	701	
30066	1598	1763		1917							2818		3281		3472	
60001		187	180	199			200	203	207	216	208	205	206	184	241	
70001		210		408	208		200									236
70002		330		247	285	269	261	241	276	243	309	123	271	302	274	
70003		839	207		264		208	267	276	272	274	1917	370	855	285	
70004	3163		4333	4521	4691		4739	4960	5348	5099	5468		5637		5902	
70010		354	393	330	396	379	353	388	310	331	333	2079	339	293	306	
70012		963	1067	1368	1450	974	1585	1620			2020		2272	1778	1953	
70014		1407					1620	1811	1984		2341		2356		2562	
70015			713	904	851											1562
70016		374		870	393	393					427	424	424	424	251	
70017		234	223	217	243		234	235	251	236	236	246	229	227	243	
70018				510	521							585			512	
70019		547	560	583	599			604		590	556	585		574	477	
70020		561		519					438		472	509	509	503	575	

EVOLUCION DE PARAMETROS HIDROQUIMICOS SIGNIFICATIVOS

RELACION $r\text{Cl}^-/r\text{CO}_3\text{H}^-$

CUADRO M-3

HOJA M.T.N. 1/50.000 Nº 42 - 43

Nº Invent.	F E C H A (mes/año)														
	9/76	12/80	6/81	11/81	4/82	7/82	11/82	5/83	11/83	6/84	11/84	5/85	10/85	6/86	10/86
30001							0,88	0,49	0,48	0,42	0,46	0,44		0,5	0,48
30005		0,50		0,50	0,53	0,50	0,61	0,50	0,51	0,51	0,52	0,48	0,60	0,60	0,62
30006							0,66	0,65	0,86		0,63	0,65	0,53	0,50	0,60
30011				0,6				0,51						0,60	0,48
30012		0,80		0,90			0,88	0,44							0,60
30013		1,00		1,10	1,08	1,07	1,09	1,10	1,19	1,16	1,14		2,58	1,10	1,39
30016	1,05					0,83		0,89	0,80		0,84	0,78	0,80	0,80	
30017	10,27	8,30	7,50	8,10			8,40	9,30		8,60	8,70	8,50	7,80	7,20	8,06
30027	1,43	2,70	2,80	3,10	3,21		3,81	3,80		3,20	3,88	3,23	3,50	3,80	2,85
30032		1,30						0,70	1,46	1,50	1,53	1,37			1,37
30033		2,40	2,10	1,60	2,70										3,51
30034	8,11	13,80		15,90	17,80		18,20	18,50	16,60	12,63	10,93	13,03	12,10	14,00	15,79
30047		23,10	30,60	25,50		24,30	28,09	35,10	13,50	36,56	46,92	37,12		58,00	52,50
30051		26,70			28,10	26,30	26,93	23,90		26,81	28,67	27,16	26,90	25,00	28,00
30053		1,20				1,30		2,10		3,46	6,14	1,59	1,20		6,60
30056		29,80	32,00	34,00	33,80	35,30	39,27	55,60	41,67	41,85	38,46	42,27	47,40		54,4
30058		2,00	1,90	1,90			2,07	2,20	2,23	1,35	2,35	4,89	2,70	3,00	2,10
30061		3,80	3,90	4,60											14,50
30062		7,00				10,70	8,21	11,50	12,75	6,83	2,77	2,28	2,10		3,50
30066		19,00		21,60							37,81		44,40		44,80
60001		0,60	0,60	0,70		0,68	0,74	0,70	0,75	0,67		0,66	0,50	1,10	
70001		1,80		2,80	1,19	1,12									1,34
70002		2,40		1,60	1,94	1,81	1,76	1,80	1,70	1,89	2,23	1,82	1,70	2,10	1,80
70003		6,10	1,70		1,64		1,57	3,30	1,74	1,81	2,26	16,14	2,60	6,20	1,80
70004			43,60	43,60	48,11		47,75	53,12	57,63	57,20	57,04		56,50		59,20
70010		2,10	2,20	2,00	2,36	2,28	2,06	4,00	1,87	1,98	2,10	29,06	1,90	1,70	2,00
70012		8,30	9,00	11,20	10,38	7,43	11,76	15,70			15,38		16,60	17,00	13,20
70014		15,10					17,58	20,90	22,19		27,50		23,60		38,60
70015			3,30	4,40	4,00										9,50
70016		2,10		2,10	2,16	2,35					2,45	3,46	2,30	2,80	2,60
70017		1,70	1,50	1,50	1,83		1,69	2,70	1,81	1,74	1,69	1,75	1,40	1,70	1,83
70018				3,50	4,26							4,78			4,80
70019		3,70	5,10	3,90	4,29			6,50		3,90	4,00	3,87		4,60	3,90
70020		4,20		3,70					3,25		3,42	3,53	3,50	3,40	4,00

condicionada por las particularidades de cada pozo, que pueden coincidir ó no con la tendencia general seguida por el acuífero. En cualquier caso, es ilustrativo resumir (Cuadro M4) los volúmenes de explotación de 6 años: 1980, 82, 83, 84, 85 y 86, correspondientes a 28 pozos, pues se puede observar una trayectoria muy dispersa sin que puede hablarse de una tendencia común: 10 pozos tienen una evolución hacia el aumento de volumen anual extraído, 11 hacia el descenso y 7 se puede considerar que se mantienen en la misma explotación anual.

En las figuras M6 y M7, se han representado los datos de conductividad, ión cloruro y relación $r \text{Cl}^- / r \text{CO}_3\text{H}^-$, junto con el volumen anual bombeado desde 1976 hasta la actualidad, de 16 pozos que ofrecen una imagen representativa de la evolución seguida por el acuífero.

De las dos figuras se deduce que el acuífero tiene una evolución en la que se manifiestan dos tendencias superpuestas:

- Una tendencia de fondo o media, que indica un incremento lento, pero constante, de los parámetros indicadores de la intrusión; es decir, la interfase avanza lentamente hacia el interior del acuífero como consecuencia de la explotación.
- Una segunda tendencia, de ciclo mucho más corto, con oscilación interanual muy amplia, que se superpone a la anterior, y que se debe a la respuesta local del manantío a la explotación puntual de cada pozo, es decir, que los pequeños domos de intrusión que existen debajo de cada pozo (a "grosso modo" simétricos de los conoides de desaturación profundos y estrechos) son muy sensibles a la intensidad de la explotación (es decir, de la depresión) y evolucionan con pulsaciones de sentido

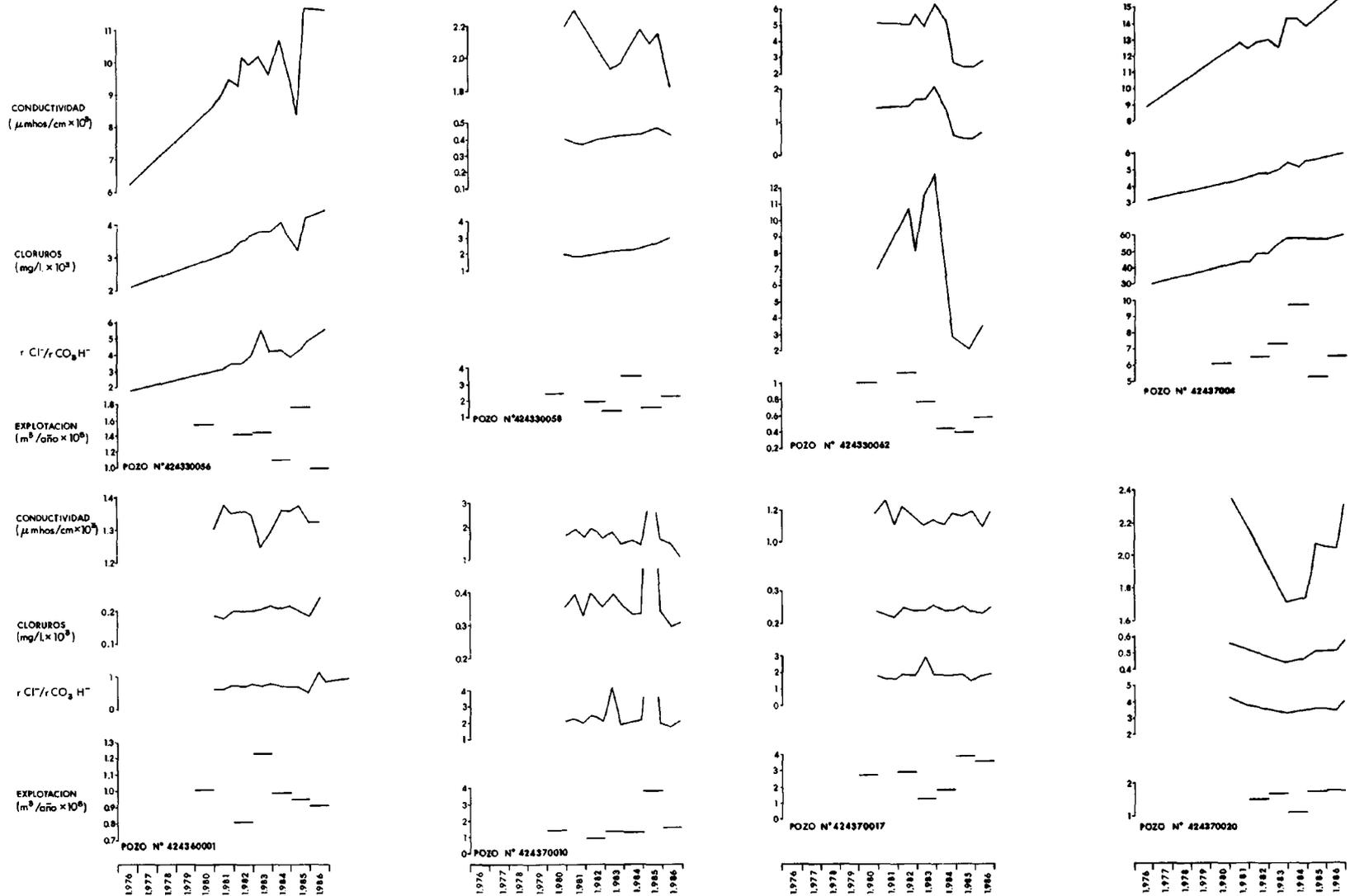


Fig. M.6- EVOLUCION DE PARAMETROS HIDROQUIMICOS Y EXPLOTACION POR BOMBEO EN POZOS REPRESENTATIVOS

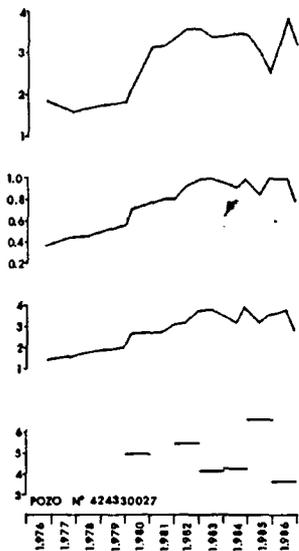
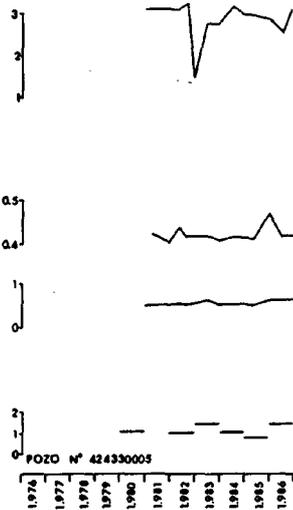
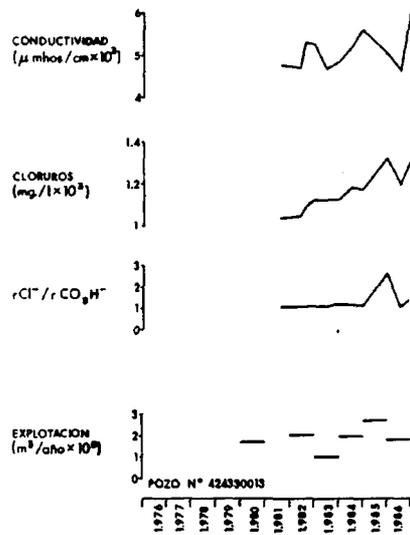
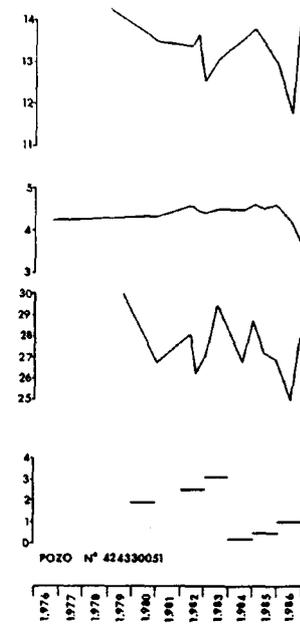
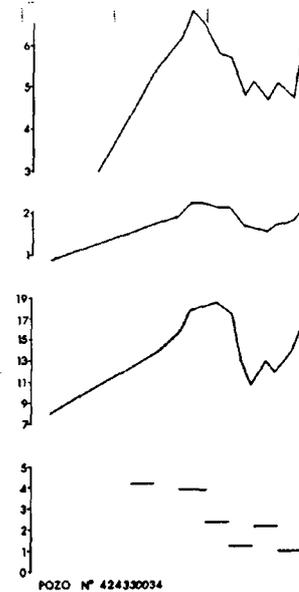
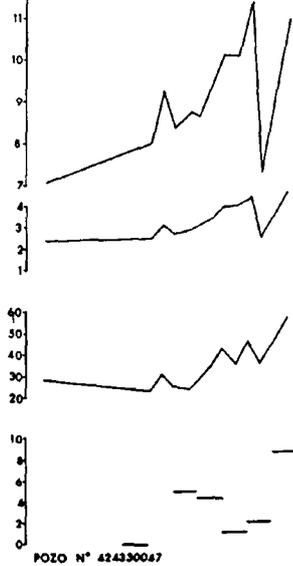
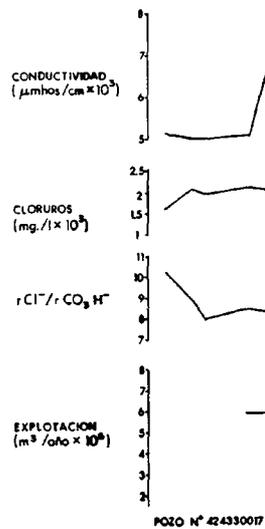


Fig.M.7.- EVOLUCION DE PARAMETROS HIDROQUIMICOS Y EXPLOTACION EN POZOS REPRESENTATIVOS

CUADRO M4.- EVOLUCION DE LA EXPLOTACION ANUAL EN POZOS
DEL SUBSISTEMA ACUIFERO ARINAGA-TIRAJANA

POZO No INVENT.	A Ñ O S					
	1980	1982	1983	1984	1985	1986
20003	466.560	518.400	-	-	-	608.400
30001	133.920	96.120	155.520	123.480	262.800	90.720
30005	108.000	101.048	142.560	105.840	78.840	141.120
30006	31.104	-	51.480	34.506	29.160	44.712
30011	21.600	49.140	41.184	-	162.000	176.000
30013	172.800	205.920	103.680	197.568	276.480	180.630
30017	595.296	578.880	708.048	452.304	456.192	300.960
30027	497.000	544.320	414.720	428.360	662.256	363.636
30032	54.000	45.000	45.000	45.360	-	37.800
30034	422.360	393.120	241.920	125.640	224.640	106.272
30047	15.120	518.400	444.640	128.520	-	907.200
30051	190.000	255.744	311.040	17.091	45.792	99.360
30053	575.840	387.072	409.860	423.360	473.040	302.400
30056	1.555.200	1.424.304	1.451.520	1.103.760	1.734.480	950.400
30058	243.000	194.400	135.000	349.920	157.680	226.800
30062	102.600	113.486	76.608	43.200	38.988	56.700
30066	225.000	210.600	-	174.960	367.710	148.500
60001	1.036.800	803.520	1.226.880	982.800	946.080	907.200
70002	266.976	241.920	245.376	248.832	-	302.400
70003	108.000	64.800	80.784	32.850	34.560	105.840
70004	604.800	644.544	725.760	967.680	518.400	648.000
70010	138.240	86.918	129.600	126.144	374.490	151.200
70012	180.000	237.600	267.840	259.650	213.840	181.440
70014	54.000	108.000	108.000	41.391	39.420	36.750
70016	87.840	133.920	136.656	134.784	249.660	176.400
70017	264.600	279.360	115.020	155.520	449.320	403.200
70019	326.160	230.400	115.020	170.820	374.490	343.440
70020	-	149.760	166.140	108.864	174.762	176.400

inverso a los impulsos de la superficie del manto.

Tomando como referencia de la intrusión, la relación $rCl/r CO_3H$, para el período de 1980-1986, se puede decir lo siguiente:

- En el sector Norte (Bco. de Balos), la relación aumenta con un ritmo que varía, como media, entre 0,05 y 0,6 unidades/año, mientras que las variaciones puntuales registran diferencias de hasta 7 unidades de un año a otro.
- En el sector del Bco. de Tirajana la tendencia media señala un incremento de 0,5 a 2 unidades/año, con una variación anual máxima de 10,5 unidades.
- En el sector intermedio entre Balos y Tirajana, el incremento medio oscila entre 0 y 5 u/año, con una oscilación máxima interanual de 2,5 unidades.
- En la zona del Bco. de Las Palmas, la evolución es mucho más suave, con un aumento medio de 0 a 0,1 u/año, aunque con incrementos de hasta 1 ud. en el período de 1985-86, es decir, que esta zona ya empieza a sentir también el efecto de una intrusión incipiente.

7.6.2.- Situación actual

Para analizar la situación actual del Subsistema Arinaga-Tirajana, se han utilizado los datos de profundidad de niveles y los análisis químicos de las muestras de agua, correspondientes a la campaña de actualización de datos realizada en octubre de 1986.

A pesar de que los datos reflejan un estado puntual del manto, teniendo en cuenta que la explotación es continua durante todo el año, pueden considerarse representativos de una situación normal.

Para ilustrar de un modo gráfico esa situación tipo, con los datos citados se han elaborado los planos M7 y M8.

El plano M7, que podría definirse como un ensayo de isopiezas, pretende únicamente, proporcionar una visión clara del estado habitual de niveles y de la forma aproximada que tiene la superficie libre o piezométrica del manto.

La superficie del manto presenta un aspecto deprimido en forma de valle paralelo a la costa, interrumpido por una cresta de nivel asociada a los relieves que dividen las cuencas de Baños y Tirajana, y con dos depresiones muy profundas, una en el extremo Norte del Subsistema, con niveles que llegan a cotas de 90 metros bajo el nivel del mar, y otra, en el extremo occidental, sobre los cauces medios de los Barrancos de Tirajana y de Las Palmas, mucho más extensa que la anterior y con niveles deprimidos situados a cotas de hasta 180 metros bajo el nivel del mar.

La presencia de la intrusión queda bien reflejada por la posición de la isolínea de cota 0 m.s.n.m. que está situada a una distancia media de 1 Km. de la costa, que es su posición de equilibrio.

Otro aspecto a destacar es la distinta pendiente que tiene el "valle piezométrico", mucho más tendida hacia la costa que hacia el interior de la isla, como consecuencia de los distintos potenciales de referencia, cota 0 del lado del mar y un gradiente

te espectacular hacia el interior del acuífero insular, donde el manto tiene la superficie a cota +100 a menos de 1 Km. de las cotas negativas.

En el plano M8 se han representado las líneas isocloruro, que tienen el mismo carácter de ensayo que las isopiezas, y la distribución espacial de la relación r_{Cl}/r_{CO_3H} , que son los dos indicadores más claros de la intrusión. El plano refleja un estado de intrusión importante con dos cuñas de penetración muy bien definidas, una de dirección Este-Oeste y otra de dirección NO-SE, siguiendo los cauces de los Barrancos del Polvo o de la Licencia, y de Tirajana, respectivamente, cuyas direcciones se cruzan al NO de Sardina, aunque las cuñas no han enlazado todavía.

La penetración tiene lugar no sólo en sentido lateral desde el mar hacia el interior, sino también en sentido ascendente, como demuestra el hecho de que la curva que engloba los puntos de mayor r_{Cl}/r_{CO_3H} sea cerrada. Es decir, asociados a las dos cuñas, hay dos domos de intrusión, de forma alargada, uno de más de 3 Km. de longitud entre el Cruce de Sardina y el cauce de Tirajana y otra de unos 2 Km de longitud entre Aldea Blanca y Doctoral.

La comparación de los dos planos pone de manifiesto que no hay coincidencia entre los mínimos de depresión piezométrica y los máximos de intrusión, lo cual quiere decir que la cuña avanza hacia el acuífero condicionada fundamentalmente por factores geológicos, puesto que coinciden con los dos paleocauces de barrancos rellenos de materiales muy permeables de la F. Basáltica Subreciente.

Para completar la caracterización de la situación actual

se han representado cuatro perfiles hidroquímicos en sentido radial, que dan una idea gráfica de la forma irregular de la interfase, que tiene una penetración ascendente más o menos intensa, en función de la depresión. En los perfiles (figuras M8 y M9) se han representado los pozos con su profundidad y el valor de la relación r_{Cl}/r_{CO_3H} , una interpretación de la superficie libre del manto y una posición ilustrativa de la interfase.

En resumen, el estado hidrodinámico actual del Subsistema Acuífero Arinaga-Tirajana se caracteriza por una superficie del manto muy deprimida, con profundos valles que alcanzan cotas negativas de hasta 150 m bajo el nivel del mar, y con una intrusión salina muy importante con la interfase muy poco pendiente y de forma muy irregular con múltiples domos bajo las depresiones causadas por los bombeos.

Tomando como referencia las figuras M8 y M9, se puede decir que en el Subsistema la franja de agua dulce se ha reducido y quizá anulado incluso en algunos puntos del interior, de tal forma que puede decirse que no hay salidas al mar.

Esta situación tiene una apariencia alarmante y de hecho, en un acuífero normal, es probable que las consecuencias fueran mucho más graves. La cuestión es que, aunque algo más grave, la situación se parece a la que había en 1976, que ya aparecía como crítica.

En realidad, aunque la intrusión avanza, la zona se mantiene en un cierto equilibrio, que es debido a la estructura del acuífero insular que, al tener una carga de agua muy grande, está suministrando agua dulce "extra" de sus reservas como consecuencia de la circulación forzada que impone la depresión que se crea en la zona de bombeos.

Esta situación inestable se mantendrá más o menos en tan to se mantenga la carga del acuífero insular y la explotación no aumente, proque la baja permeabilidad general de los materiales antiguos limitan la cantidad de agua que puede suministrar el Sub sistema Arinaga-Tirajana.

Es decir, el Acuífero Insular tiene una gran inercia, pro bablemente la suficiente como para restablecer y sanear la situa ción de Arinaga-Tirajana si se racionalizan las extracciones por bombeo.

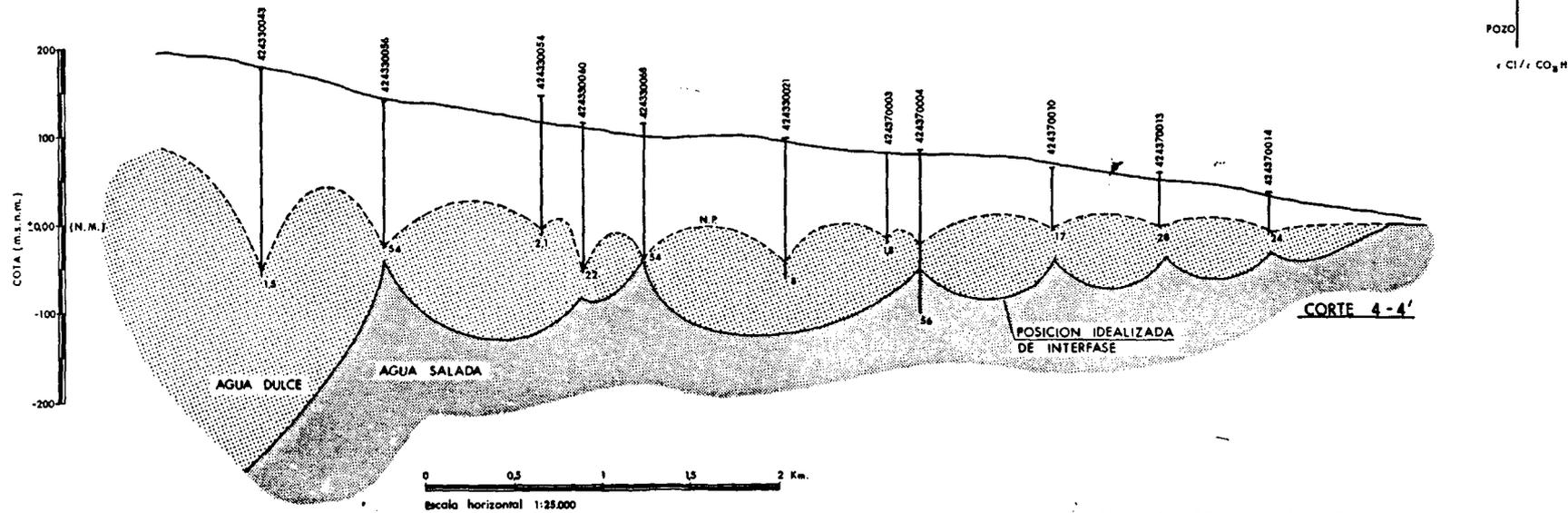
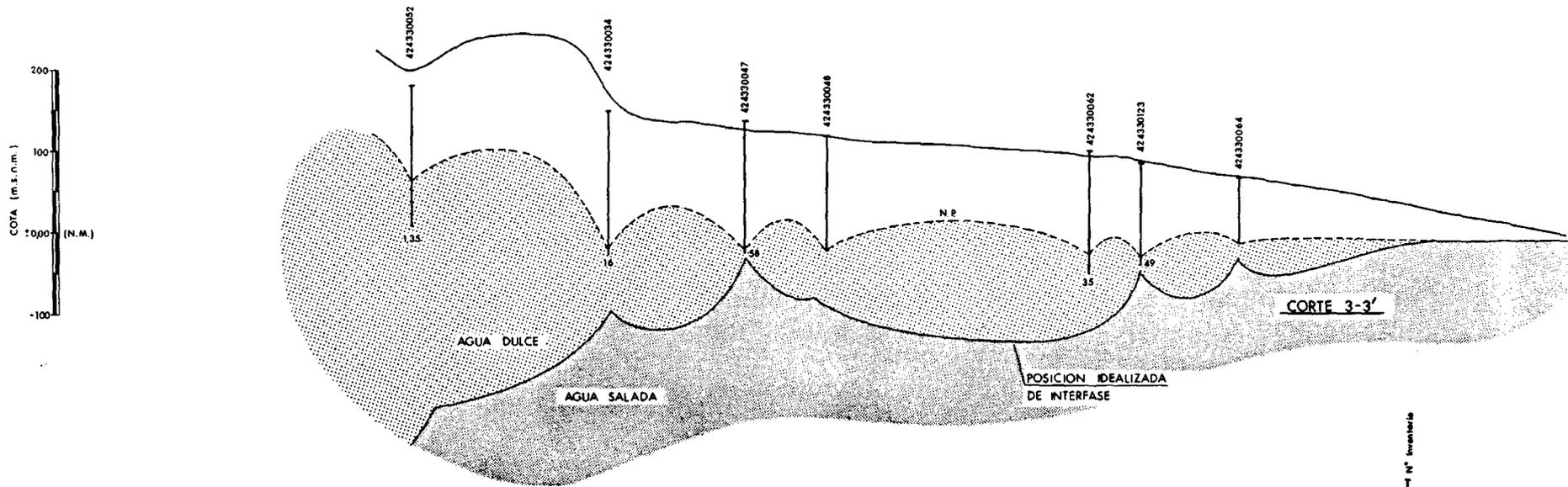


Fig. M.9.- ILUSTRACION DEL ESTADO ACTUAL
CORTES HIDROQUIMICOS

8. PARTE 3ª.- ANALISIS PRELIMINAR DE VIABILIDAD DE RECARGA
ARTIFICIAL EN EL SECTOR ARINAGA-TIRAJANA

8.1.- ANTECEDENTES

La posibilidad de poner en práctica la recarga artificial de acuíferos con agua de escorrentía que circula por los Barrancos de Balos y Tirajana con ocasión de lluvias excepcionales (la última avenida tuvo lugar en enero de 1979, mes en que se registró una precipitación de 148 mm en la estación de Piletas), e incluso la mención de la necesidad de aprovechar esos recursos superficiales que se pierden en el mar, han sido referencias constantes en la casi totalidad de los informes de los estudios hidrogeológicos realizados en la zona.

Sin embargo, no existe ningún antecedente de investigaciones al respecto, salvo un estudio realizado por el IGME en 1977 con un carácter muy preliminar, que puede considerarse como una primera toma de contacto con la zona más que como un estudio de verdadero alcance técnico.

La consecuencia lógica de la falta de estudios es la ausencia de experiencias de recarga realizadas y controladas con rigor técnico. No obstante, en la zona de estudio existen varias instalaciones de recarga artificial construidas por iniciativa particular, todas ellas con el objetivo de aprovechar parte del agua que circula ocasionalmente por los barrancos.

Las obras existentes, que se han situado en las figuras M10 y M11, pueden clasificarse en dos grupos según que tengan un carácter de aprovechamiento general o particular.

- Se entiende como obra o instalación de carácter general aquella que tiene como objetivo captar el agua de escorrentía sin un destino hacia un pozo concreto.

Se incluyen en este grupo una serie de barreras transversales construidas con los mismos materiales de relleno del cauce, que se han dejado como instalación permanente después de las explotaciones de áridos que se han realizado en el cauce del Barranco de Tirajana, con objeto de laminar las crecidas, retener el agua y provocar su infiltración en el subsuelo. Estos diques tienen una altura variable entre 1 y 2 metros y están situados entre el Caserío de Sardina y la desembocadura. Se han cartografiado y representado en la figura M-10.

En las fotografías 5.1.7 a 5.1.12 de Anexo 5, se presentan diferentes vistas de los diques residuales de las zonas ya explotadas, así como de las explotaciones actuales. Como puede observarse, las extracciones de gravas explotan un nivel superior de acarreo sueltos de unos 2 metros de potencia.

- En el segundo grupo de obras de recarga, se incluyen las realizadas por particulares con el objetivo de inducir la entrada en el pozo del agua que circula eventualmente por el barranco, recargando el sector de acuífero influenciado por el bombeo del pozo. Existen dos instalaciones de este tipo, una en el Barranco de Balos y otra en el Tirajana, con características y fundamento distintos (figuras M-10 y M-11).

La instalación del Barranco de Tirajana está situada en la margen izquierda, al sur de la población de El Doctual, entre la antigua carretera y la nueva autopista del Sur. Esta compuesta por:

- Una balsa de superficie apreciable, del orden de 3.000 m², y forma trapezoidal que se comunica por medio de una zanja con el cauce del Barranco, y
- dos pozos, n^{OS} 70011 y 70012 que están comunicados por medio de una galería en el fondo, situados al Norte y Sur, respectivamente, de la balsa.

No existen datos registrados y únicamente se conoce, por información verbal, que se nota el efecto de la infiltración provocada por la balsa y que ésta se colmata con rapidez como consecuencia de que el agua que circula lleva una carga muy importante de sólidos en suspensión. Así, después de la última crecida que tuvo lugar en enero de 1979, ha quedado colmatado por una capa de limos de más de 10 cm de espesor, de forma que será necesario extraer limos y renovar el fondo para dejarlo acondicionado de cara a una nueva crecida, que aún no se ha producido.

La instalación del Barranco de Balos está situada en uno de los cauces activos en crecidas del Barranco de Balos, aproximadamente a una distancia de 1,8 Km de la antigua carretera del Sur en dirección N.O.

El dispositivo (fotos 5.1.1. a 5.1.4. de Anexo 5), consiste en tres diques de unos 10 metros de longitud, paralelos entre sí, que interceptan el cauce perpendicularmente y en forma de cascada. Los dos diques de aguas arriba están contruidos con mortero de cemento y cantos rodados sólo en la parte superior con objeto de facilitar la circulación del agua inicial de la avenida que lleva una carga excesiva de sólidos y luego pueda interceptar el agua una vez que pierda la alta ener

gía del principio y a la vez, permitir que el agua se filtre bajo el lecho y circule hacia el canal comprendido entre los dos diques inferiores, que está relleno de gravas seleccionadas que actúan como filtro, y unido al pozo nº 424330025, que actúa como receptor del agua, mediante una galería colectora del agua captada por el dispositivo.

Este sistema funcionó durante mucho tiempo con eficacia, notándose los efectos de la recarga en una zona de más de 1 Km, alrededor del pozo, sobre todo en el sentido de aguas abajo. La información recogida es verbal y exclusivamente de carácter cualitativo.

En la actualidad el pozo 30025 está parado porque en la última avenida recibió una cantidad de sólidos que, prácticamente han cegado no solo el pozo, sino también el pozo 424330026 con el que está comunicado por medio de una galería en el fondo.

Además de estas dos instalaciones que responden a un diseño bastante elaborado, existen en el Barranco de Balos aguas arriba de la zona donde el cauce se abre en los llanos, otras dos obras mucho más simples, que se limitan a la construcción, con materiales del propio lecho y mediante una pala mecánica, de dos diques en forma de u, con la concavidad abierta hacia aguas arriba, apoyados lateralmente en la margen rocosa del cauce y con el fondo excavado por debajo del nivel de circulación de agua con el fin de que el agua se desvie, penetre y se acumule en la excavación, se infiltre y recargue el sector de acuífero explotado por los pozos 30032 y 30033 situados aguas abajo de los diques laterales. En las fotografías 5.1.5 y 5.1.6 se

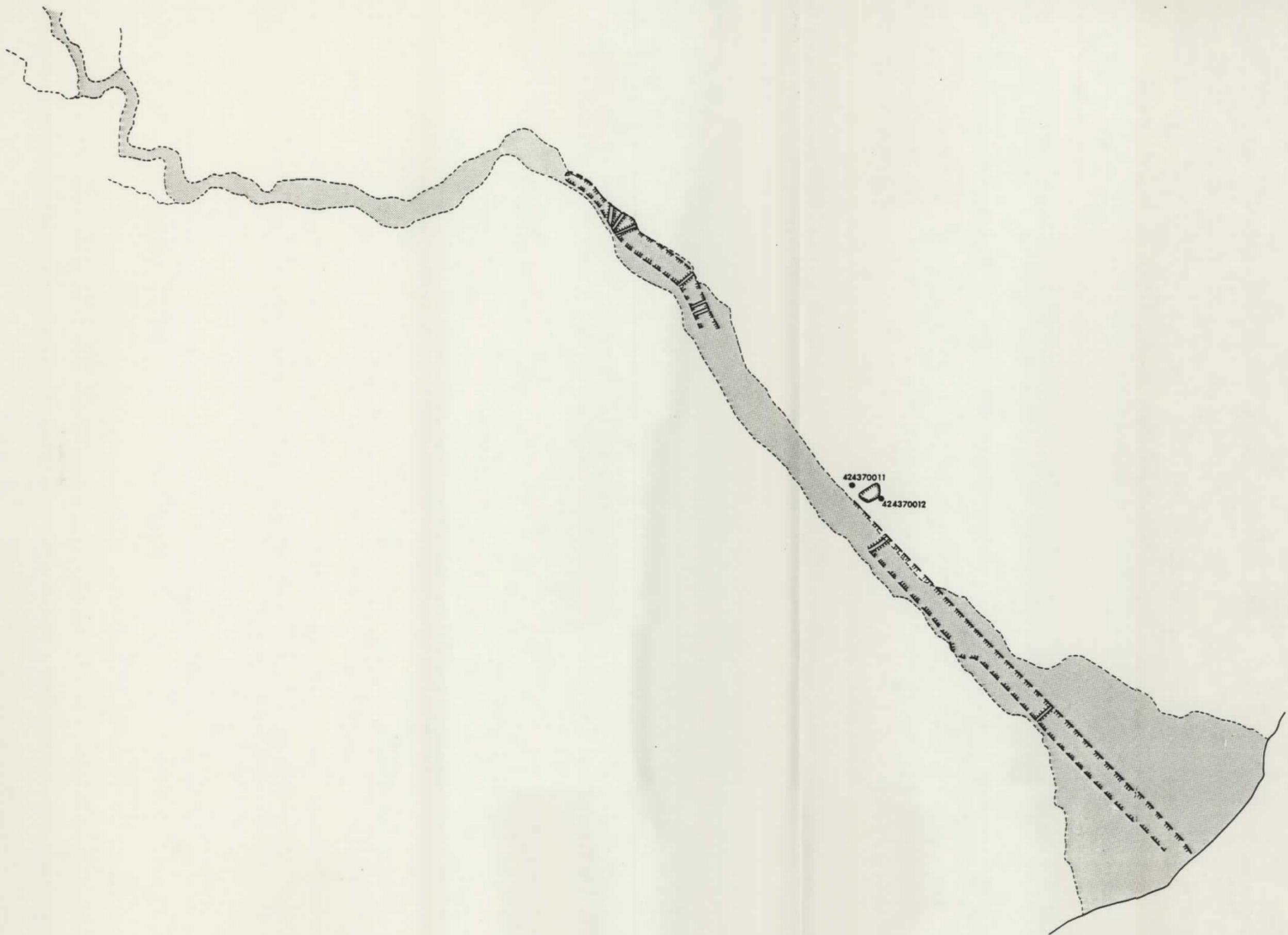


Fig. M.10.- INSTALACIONES ACTUALES DE RECARGA ARTIFICIAL
EN EL BARRANCO DE TIRAJANA
Escala 1:25000

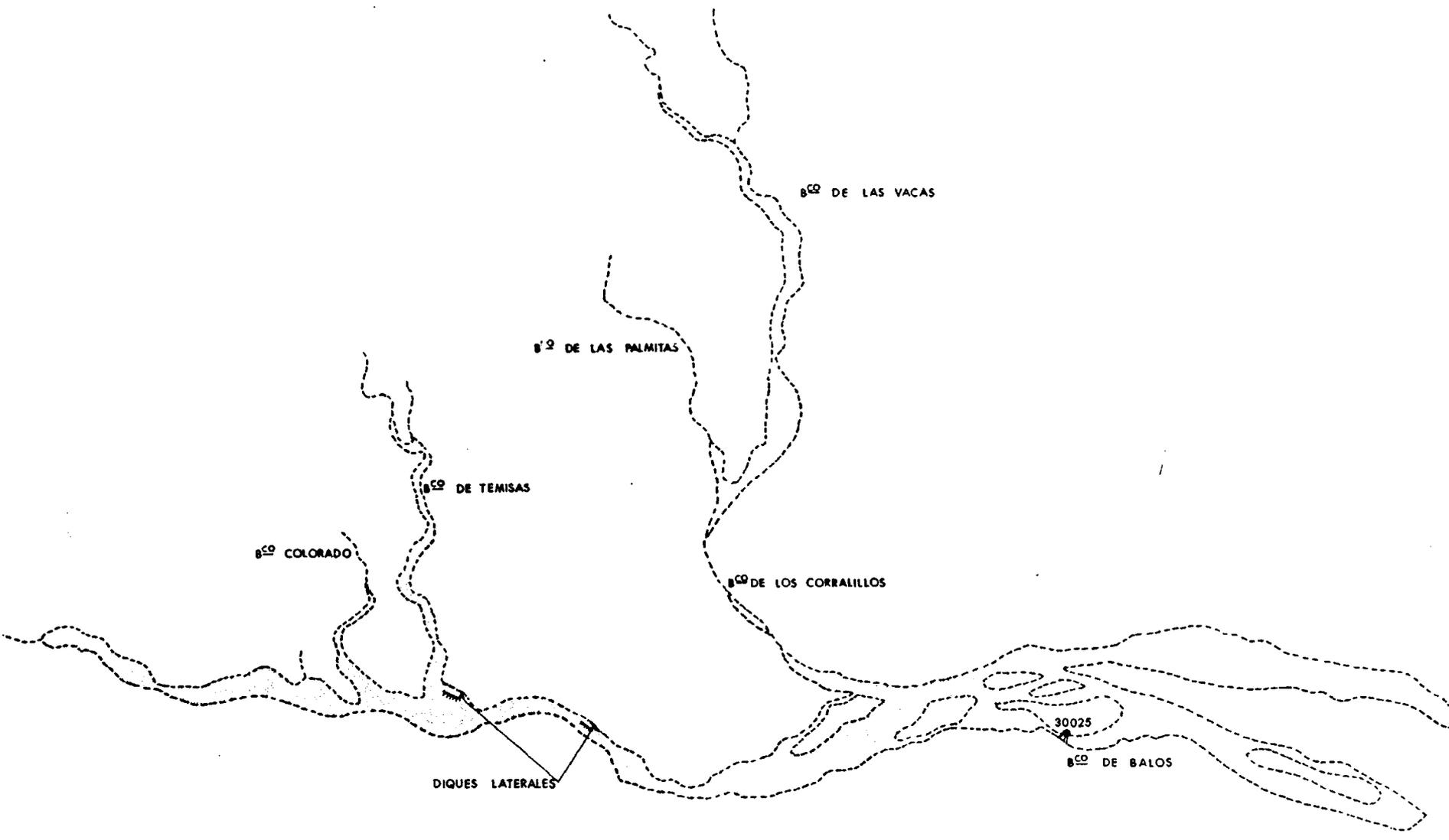


Fig. M.11.- INSTALACIONES DE RECARGA ACTUALES EN EL BARRANCO DE BALOS
Escala 1:25000

presentan dos vistas de las barreras, una del exterior y otra del interior del recinto. En estos casos se desconoce la posible influencia de las barreras sobre el rendimiento de los pozos vecinos.

Por último, es necesario hacer referencia a una obra cuyo principio no tiene nada que ver con la recarga artificial y además está situada fuera de la zona costera donde se ha centrado este estudio, pero dentro del contexto hidrogeológico de influencia en el sector del acuífero considerado. Se trata de la Presa de Tirajana, en cuyo vaso y en general, en el cauce situado aguas arriba de la presa existen unos derrubios de ladera y unas formaciones volcánicas con alta permeabilidad que constituyen un auténtico sumidero de agua superficial y que han hecho del conjunto del embalse una instalación permanente de recarga muy eficaz, hasta el punto de que su volumen anual de agua superficial regulada es inferior al teórico por las pérdidas que existen en el vaso. No existen series de datos que permitan hacer un estudio riguroso por el momento, no obstante, como dato significativo se puede citar que se han llegado a medir $10 \text{ m}^3/\text{s}$ en el puente de Rociana en la carretera de Santa Lucía a San Bartolomé de Tirajana sin que se haya registrado aumento en el volumen de agua embalsada es decir, se infiltraban totalmente antes de llegar a la presa.

8.2.- NECESIDAD Y OBJETIVOS DE LA RECARGA ARTIFICIAL EN EL SECTOR ARINAGA-TIRAJANA.

La recarga artificial del acuífero en el Subsistema Arinaga-Tirajana es una posibilidad que se ha planteado en repeti

das ocasiones en el pasado, como un medio para remediar los problemas de descenso de niveles y de salinización de manto de agua subterránea y, a la vez, para evitar pérdida en el mar del agua que corre por los barrancos de la zona cada cierto tiempo.

El estado de deterioro en que se encuentra el subsistema ha quedado, una vez más, patente en el análisis de la situación actual, realizado en este Estudio sobre la base de una actualización exhaustiva de los datos de infraestructura hidrogeológica. El acuífero está sometido a un régimen de continuo sobrebombeo que da lugar a una extracción de reservas evaluada en $3,5 \text{ hm}^3$ /año como promedio y provoca unas depresiones medias de 50 metros bajo el nivel del mar (hasta -150 m.s.n.m. en algunos sectores y en época de bombeo continuo) que condicionan un avance progresivo de la interfase agua dulce-agua salada de tal forma que ya hay una franja costera de 1 Km de anchura totalmente salinizada y se bombea agua prácticamente salada ($r \text{ Cl}/r \text{ Co}_3\text{H} > 50$) en algunas cuñas de intrusión a más de 5 Km de distancia del mar.

Ante una situación como la planteada, hay dos soluciones clásicas en hidrogeología, que pueden aplicarse conjuntamente o por separado:

- La primera es la racionalización de los bombeos, reduciendo las extracciones hasta equilibrar el balance.
- La segunda consiste en aportar al acuífero una alimentación suplementaria de agua, que compense el déficit causado por la sobreexplotación, mediante una recarga artificial.

En el Subsistema Acuífero Arinaga-Tirajana, el desequili
brio existente entre recursos y explotación es una consecuencia
inmediata del balance recursos-demandas que es deficitario por
principio, y ello considerando sólo las demandas actuales del
Subsistema (16,5 hm³/año frente a unos recursos medios de 11,6
hm³/año). Si se añade que una parte de la demanda de la zona
turística del Sur, en constante crecimiento, y de la demanda
de Las Palmas, se ha cubierto con agua de Arinaga, y que el
potencial agrícola de la propia zona es mucho mayor que el que
suponen los riegos actuales (el terreno actualmente baldío, que
estaba cultivado en el pasado es del mismo orden del que está
en producción), es inmediato deducir que la posibilidad de redu
cir el régimen de bombeos, acomodando el volumen de extracciones
a los recursos propios del Subsistema, es poco menos que imposi
ble porque el régimen de explotación de agua subterránea es
privado y ante el alto precio que alcanza el agua en razón direct
a a la escasez de recursos (hasta 70 Pts/m³ para agua de buena
calidad), es difícil que los explotadores renuncien a parte del
beneficio sobre un derecho adquirido.

Las últimas medidas restrictivas, que impiden la reperfo
ración de los pozos por debajo de cota cero, dejando como están
los que rebasan esa profundidad, no van a mejorar la situación,
porque se seguirá extrayendo toda el agua que sean capaces de
proporcionar los pozos, en todo caso conducirán a una estabilizaci
ción de la sobreexplotación que no evitará el progreso de la
intrusión marina.

En consecuencia, salvo que se establezca una política
que racionalice y optimice la explotación de los recursos, la
única solución, parcial o total, al problema de la sobreexplo

tación en Arinaga-Tirajana, es aumentar los recursos mediante una recarga artificial, aprovechando para ello los recursos de agua excedentarias, cualquiera que sea su origen. Naturalmente, la recarga artificial, puede y debe, formar parte de un esquema de explotación global, pero también puede ser utilizable aisladamente, como solución parcial, en zonas como el Sector Arinaga-Tirajana, que tiene, en principio, recursos disponibles en las aportaciones superficiales de los barrancos, aunque sólo se presentan de forma intermitente en el tiempo.

Con el establecimiento de la necesidad de corregir la situación del Subsistema Acuifero y la fijación de la técnica de recarga artificial como único medio viable, por el momento, para ello, quedan automáticamente definidos, de entre el cúmulo de objetivos descritos en la literatura existente para la recarga artificial, los objetivos concretos que tendrían una recarga artificial en Arinaga-Tirajana. Son:

- Restitución total o parcial, de la superficie libre del manto a sus niveles originales.
- Mejorar la calidad del agua, provocando el retroceso de la interfase y reduciendo el contenido salino.
- Captar y aprovechar unos recursos de agua que, de lo contrario, se perderán en el mar, mejorando el término de recursos del balance hídrico.

8.3.- PLANTEAMIENTO GENERAL DE LA RECARGA EN ARINAGA-TIRAJANA.

En un planteamiento general de base, el proyecto para

llevar a cabo una operación de recarga artificial en el Sector de Arinaga-Tirajana, se escalonó en tres fases de estudios y experiencias, habituales en este tipo de proyectos, de acuerdo con el planteamiento general de las actividades del IGME en las Islas Canarias.

1. Una primera fase de estudios preliminares a nivel de prefactibilidad, que comprendería los estudios hidrogeológicos de base y las experiencias directas necesarias, para realizar un análisis de previabilidad que permitiría decidir sobre las posibilidades de continuidad del proyecto y, en su caso, diseñar las características de un dispositivo de recarga experimental.
2. Una segunda fase de experiencia directa, que consistiría en la puesta en servicio de una o varias instalaciones de recarga que funcionarían, con carácter experimental, durante el tiempo necesario para facilitar datos reales sobre la operación.
3. Una tercera fase, constituida por un estudio técnico-económico a nivel de factibilidad, con decisión final sobre la rentabilidad de la operación de recarga y ejecución del proyecto de instalación de recarga artificial con carácter permanente.

8.4.- OBJETIVOS DEL ESTUDIO PRELIMINAR

Dentro del marco del Proyecto General de Recarga Artificial, el Estudio Preliminar tenía como principal objetivo el análisis

lisis de viabilidad primario de la operación, que está basado en la existencia o no de recursos de agua excedentarias y que, por consiguiente, condiciona la continuidad de los estudios posteriores de mayor detalle.

El segundo objetivo original, consecuencia directa del análisis de previabilidad, consistía en el diseño de una instalación piloto de recarga artificial que funcionaría, durante un periodo de tiempo prolongado, un año al menos, a modo de ensayo general previo al estudio de rentabilidad definitivo.

8.5.- ELEMENTOS DE ANALISIS

En un análisis preliminar de viabilidad de recarga artificial de acuíferos, la variable clave, que condiciona el resto del proceso, es el agua realmente disponible para ser introducida en el acuífero.

A su vez, la variable agua puede subdividirse en cuatro aspectos, cuyo conocimiento es imprescindible, y que citados en orden de importancia jerárquica serían: cantidad, temporalidad, calidad y coste, aunque en realidad los cuatro están íntimamente relacionados. Pero hay un hecho evidente, el primer dato que es necesario conocer, es el volumen de agua excedente que puede ser aplicado a recargar un acuífero, puesto que de él depende la continuidad de un estudio más avanzado.

Una vez conocidos los recursos de agua disponibles, el siguiente elemento de análisis es la eficacia del proceso de recarga, que es la clave para el diseño de las instalaciones de infiltración y auxiliares, tanto de las que tengan carácter expe

rimental como de las definitivas. Para conocer la eficacia de la operación, es necesario:

- Primero definir la naturaleza del proceso, es decir, el tipo (o los tipos) de dispositivo de recarga que mejor se adapte a las características de la zona y del agua disponible, y
- Segundo, evaluar la capacidad de infiltración de esos dispositivos de base de experiencias directas en ensayos a escala reducida.

8.6.- DISPONIBILIDADES DE AGUA

8.6.1.- Disponibilidades Potenciales

En general, la Isla de Gran Canaria puede considerarse como una zona deficitaria en recursos de agua, con demandas potenciales siempre superiores a las disponibilidades, de modo que, en términos generales, puede decirse que no existen recursos de agua excedentes. Antes bien, el hecho de que estén explotándose aguas subterráneas con calidad hidroquímica que permite clasificarlas como aguas de interfase (agua dulce-agua salada), es un exponente claro del desequilibrio existente entre recursos y explotaciones en algunas zonas donde se concentran las extracciones por bombeo, en las que la baja permeabilidad de las formaciones volcánicas saturadas impide que el conjunto del "acuífero insular" suministre el flujo necesario para equilibrar las depresiones ocasionadas por los bombeos y posibilite el avance del agua salada hacia el interior de la zona saturada.

Esta es, en esencia, la situación del sector de acuífero

explotado en Arinaga-Tirajana, de la que se deduce con facilidad la inexistencia de recursos regulares de agua excedentes de origen natural.

Prácticamente, la única posibilidad de conseguir recursos de agua no comprometidos es captar las aguas de escorrentía superficial que, con carácter episódico, circulan por los barrancos de Balos y de Tirajana y que han sido objeto de repetidas referencias en los Estudios realizados desde los años 70 hasta la actualidad, como agua que tradicionalmente se pierde en el mar y que debería ser dominada con objeto de ser aplicada para la recarga artificial de los acuíferos del subsuelo y paliar la "grave" situación de sobreexplotación, también mencionada tradicionalmente, sin que nunca se haya valorado la cuantía real y la periodicidad con que se presenta en el tiempo esos recursos.

De cualquier forma, los recursos de avenidas ya se han visto disminuidos en el Bco. de Tirajana después de la entrada en servicio de la Presa, que regula teóricamente el 75% de las aportaciones del barranco. Por su parte, en el Barranco de Balos, aunque había alguna previsión antigua, no hay ninguna obra de regulación artificial.

Hay una segunda, y última, fuente potencial de recursos de agua, que es el agua residual urbana depurada procedente de las plantas que están actualmente en construcción. No obstante, esta posibilidad no es interesante "a priori" por las razones que se exponen en el apartado siguiente.

En resumen, las disponibilidades potenciales de agua

para recarga, se reducen a dos:

- Aguas residuales urbanas tratadas, y
- aguas de escorrentía superficial procedente de grandes tormentas, que circula por los barrancos y llega a los llanos con periodicidad desconocida, pero en cualquier caso una vez cada varios años.

En este proyecto se han estudiado las dos posibilidades, con mayor profundidad la segunda, con las metodologías y resultados que se recogen en los apartados sucesivos.

8.6.2.- Estudio de las disponibilidades

8.6.2.1.- Aguas Residuales Depuradas.

Con objeto de conocer los planes actuales y futuros acerca del tratamiento y aprovechamiento de las aguas residuales urbanas, se llevó a cabo una encuesta informativa en los Organismos competentes en la materia, Cabildo, Servicio Hidráulico y Ayuntamiento, desde Las Palmas hasta El Doctoral, en el límite sur de la zona estudiada.

Se ha puesto de manifiesto la existencia de cuatro estaciones depuradoras de aguas residuales (E.D.A.R.), cuyas características se resumen seguidamente.

E.D.A.R. de LAS PALMAS

Tiene una capacidad nominal de tratamiento de 25.000m³/ día (175 l/s) según las estimaciones existentes a principios del año 1987.

El agua se vierte al mar y no existe ninguna previsión de trasvase del agua hacia el Sur.

E.D.A.R. de TELDE

Por el momento trata exclusivamente las aguas residuales del núcleo de Telde, con un caudal de 4.000 m³/día equivalente a 46 l/s. En un futuro cercano esta previsto recoger y tratar las aguas residuales del Polígono de Jinamar. (unos 20.000 habitantes), pasando a un volumen de tratamiento de 6.000 m³/día (69,5l/s).

Las características del agua a la salida de la planta son:

- . Sólidos en suspensión 30 p.p.m.
- . D B O 30 p.p.m.

En la actualidad el agua tratada se vierte al mar.

E.D.A.R. de GANDO

Las obras de la Estación Depuradora de Aguas Residuales de Gando comenzarán a lo largo de 1987. Recogerá las aguas residuales de una población de 500 habitantes y tiene una capacidad de tratamiento de 500 m³/día.

El agua Tratada tendrá 30 p.p.m. de sólidos en suspensión y el mismo valor de D.B.O..

No hay previsiones de uso.

E.D.A.R. del SURESTE

Su terminación está prevista a lo largo de 1987 y se supone que entrará en servicio de inmediato. Está situada próxima a la costa donde desemboca el Barranco de Balos.

Recogerá las aguas de Arinaga, Vecindario, Doctoral, Ingenio y Agüimes, que ahora se vierten directamente en el Barranco del Polvo, a la altura de la antigua carretera del Sur, por el que circula hasta el mar. Parte del agua, sin tratar, se usa para agricultura mezclada con agua de pozo.

El volumen de agua tratada previsto es de $6.000 \text{ m}^3/\text{día}$, equivalente a 70 l/s, con unas características a la salida de planta, de 30 p.p.m. de sólidos en suspensión y un D.B.O. de 60 p.p.m.

8.6.2.2.- Aguas de Escorrentía Superficial.

Antes de la realización de este proyecto, prácticamente no había datos sobre las características de los caudales que circulan con carácter intermitente y torrencial por los Barrancos de Tirajana y Balos (incluyendo sus redes de afluentes), salvo la información verbal de las gentes de la zona de que, de vez en cuando, los barrancos corren llegando a perderse el agua en

el mar, siendo más frecuente el caso de que el agua alcance sólo la cabeza del llano (cada 2 0 3 años). La última gran crecida data de 1979, único año en que se ha llenado, y rebasado, la Presa de Tirajana, llegando a medirse una lámina máxima de agua, por encima de la presa, de 50 m³/s.

Al margen de este dato, no hay más datos de aforos en ningún cauce ni de determinaciones de sólidos transportados en suspensión.

Con estas referencias, se planteó la realización de un estudio hidrológico de avenidas basado en los registros de lluvia que son los únicos datos hidrológicos existentes en la zona.

Este Estudio Hidrológico se enfocó a calcular los caudales y volúmenes de avenida de los Barrancos que desembocan en los llanos de Arinaga, dando origen al Bco. de Balos, y de los Barrancos de Guayadaque, al norte de Los Llanos, y de Tirajana, al Sur de los Llanos.

Los caudales y volúmenes son los correspondientes a los aguaceros más intensos para periodos de retorno de 2, 5, 10, 15 y 20 años, y se han calculado para los siguientes puntos:

- Bco. de Guayadeque aguas arriba de Agüimes.
- Bcos. de Balos y de los Corralillos en su desembocadura en los Llanos (y en algunos puntos intermedios), y
- Bco. de Tirajana en la presa y en el punto que puede considerarse como el comienzo de la cuenca baja, que son los que tomarían como origen de agua de los eventuales esquemas de recarga artificial.

La metodología utilizada y resultados obtenidos en el estudio se describen con todo detalle en el ANEXO 3, y en el punto 8.2.3. siguiente se incluye, a modo de conclusión, el resumen de las aportaciones de cada barranco para cada uno de los periodos de retorno considerados.

No existen datos, por lo que se refiere a las características físicas y químicas del agua de escorrentía, puesto que en el pasado no se han realizado análisis químicos ni aforos de sólidos en suspensión y durante el proyecto no ha habido ocasión de hacerlo porque no ha coincidido con ningún periodo lluvioso. No obstante, la naturaleza de los materiales que componen los cauces y la pendiente, facultan para suponer con fundamento que el agua transportará materia sólida en suspensión en cantidades del orden de varios gramos por litro.

8.6.3.- Disponibilidades Reales

Las posibilidades teóricas de recursos basados en aguas residuales depuradas son interesantes según se deduce de la descripción anterior aunque, a corto plazo, sólo se podría acceder al agua tratada por la E.D.A.R. del Sureste, que es la única situada en la zona de estudio, puesto que no existe por el momento, ningún plan para el transporte de las aguas tratadas por las otras estaciones depuradoras.

En definitiva, se podría utilizar un caudal continuo de 70 l/s, equivalente a un volumen anual medio de $2,2 \text{ hm}^3/\text{año}$, para operaciones de recarga artificial.

Por su parte, el estudio de avenidas ha puesto de manifiesto que los periodos de lluvias excepcionales dan lugar a escorrentías superficiales en los barrancos que totalizan unos volúmenes de agua disponibles en cabeza de las cuencas bajas de los barrancos, entrada al Sector Arinaga-Tirajana, cuyas cuantías, para diferentes periodos de retorno, se resumen en el siguiente cuadro.

CUADRO M-5.- VOLUMENES DE ESCORRENTIA SUPERFICIAL TEORICAMENTE DISPONIBLES A LA ENTRADA DEL SECTOR ARINAGA-TIRAJANA (hm³).

CUENCA	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)				
	2	5	10	15	20
Bco. de GUAYADEQUE	0,098	0,418	0,700	0,872	0,986
Bco. DE BALOS	0,044	0,451	0,873	1,130	1,322
Parcial Balos +					
+ Temisas	0,028	0,311	0,605	0,792	0,920
Parcial Corralillos + Vacas	0,016	0,140	0,268	0,348	0,402
Bco. DE TIRAJANA	0,178	1,092	1,961	2,501	2,865
Parcial hasta					
Presa.	0,141	0,833	1,485	1,889	2,162
Parcial desde					
Presa.	0,037	0,259	0,476	0,612	0,703

En resumen, la escorrentía máxima, teóricamente probable proporcionaría, una vez cada 20 años, un volumen de agua de 1,322 hm³ en el Barranco de Balos y de 0,703 hm³ en la cuenca baja - del Barranco de Tirajana.

En el caso de Tirajana, la aportación de la cuenca alta no se puede considerar porque, teóricamente, estaría regulada - por la presa.

Por su parte, la forma en que se presentarían en el tiempo estos recursos, es en cortos períodos de tiempo, como corresponde a aguaceros de corta duración. De acuerdo con los hidrogramas de las avenidas (Ver Anexo 3) la aportación de agua tendría una duración de unas 10 y 18 horas, con un caudal punta de 80 y 120 m³/s, todo ello para las avenidas de 20 años de período de retorno, en los Barrancos de Balos y Tirajana, respectivamente.

8.7.- TIPOS DE INSTALACIONES DE RECARGA

Los tipos de instalaciones que podrían utilizarse en las operaciones de recarga artificial en Arinaga-Tirajana están determinados por las características geológicas y morfológicas de la zona, y por la naturaleza de los recursos de agua disponibles para la recarga (ver Anexo 5).

La zona es asiento de la desembocadura de dos grandes barrancos (Balos y Tirajana), lo cual condiciona una topografía - llana que desciende suavemente hacia el mar y una presencia mayoritaria de acarreos de avenidas que cubren casi toda la superficie de estudio. En buena parte, los amplios cauces rellenos de acarreos, son terrenos baldíos que no tienen más utilidad -

que servir de paso al agua de tormentas cuando éstas se presenten. Por otra parte, los cauces se encajan en materiales modernos de alta permeabilidad que se hunden bajo los acarrees - en la zona costera.

Un segundo aspecto característico de la zona es la existencia de numerosos pozos abandonados por salinización o pérdida de rendimiento al bajar los niveles.

Por último, las aguas que potencialmente podrían utilizarse para recarga artificial son de dos tipos:

- residuales tratadas con contenidos respetables de sólidos en suspensión (30 ppm), demandas biológicas de oxígeno de 30 ppm y altos contenidos de nitrógeno en forma de ión amonio o ión nitrato.
- de escorrentía, con buena calidad química, pero con contenidos de sólidos en suspensión superiores a 1 mg /l.

Estos condicionantes, junto con las experiencias de recarga existentes en la zona, hacen recomendable utilizar dos tipos de recarga:

1. El primero es el procedimiento clásico de recarga - por infiltración a través de balsas o zanjas, excavadas en los acarrees o formadas por diques de retención construidos en los cauces de los barrancos.
2. El segundo procedimiento consiste en un esquema mixto, en el que el agua retenida en balsas o zonas de diques, se introduciría directamente en el acuífero,

bien por vertido en pozos abandonados, en los que se infiltrará por gravedad, o bien induciendo su circulación a través de las formaciones volcánicas permeables que ponen en conexión los cauces con el sector de los Llanos.

8.8.- EFICACIA DE LAS INSTALACIONES. ENSAYOS DE RECARGA.

Para hacer una primera evaluación de la eficiencia de las instalaciones de recarga más apropiadas para la zona, se han efectuado dos ensayos de recarga:

- uno en balsa, con objeto de estimar la capacidad de infiltración de estas instalaciones, caracterizada por la denominada Velocidad Aparente de Infiltración, que expresa el volumen de agua infiltrada por unidad de superficie para una altura de lámina de agua en la balsa determinada,
- otro en pozo, con objeto de comparar la diferencia entre los comportamientos hidrodinámicos del acuífero, cuando se le somete a una depresión o a una sobrepresión, personalizada en las depresiones específicas de descarga por bombeo, o de recarga por inyección.

A partir del ensayo de recarga en balsa se ha deducido una relación que liga la velocidad aparente de infiltración (VAI) con la carga de agua (h) para balsas que tengan una relación perímetro/superficie de 0,8 y para una carga mínima de 0,5 m. Esta relación es

$$VAI = 0,59 + 4,80 h$$

y permite calcular la velocidad aparente de infiltración, en metros por segundo, en función de la altura de lámina de agua en la balsa, en metros.

En el ensayo de recarga en pozo, se ha utilizado como elemento de comparación la depresión específica para caudal de inyección igual al caudal de bombeo habitual en el pozo. De esta manera se puede tener una estimación del comportamiento que tendrá un pozo, del que se conoce su respuesta en bombeo, cuando se inyecta agua con el mismo caudal. La relación obtenida para la diferencia entre las depresiones específicas (en metros) en función del logaritmo del tiempo (en minutos) es:

$$\Delta_I - \Delta_B = 0,77 \log t - 2,13$$

Como dato complementario a la inyección en pozo se ha deducido que el caudal específico de inyección es del orden del 75% del caudal específico en bombeo.

8.9.- ESTUDIO DE PRE-VIABILIDAD

8.9.1.- Análisis

El análisis de viabilidad preliminar que, como conclusión de este Estudio, debería conducir al diseño de una instalación de recarga que funcionaría con carácter experimental para evaluar definitivamente los datos necesarios para el diseño de una instalación definitiva, ha quedado carente de significado y reducido, prácticamente a la nada, en vista de los valores de los datos de proyecto obtenidos.

En efecto, en el caso de los recursos disponibles de origen superficial, la simple comparación entre la posibilidad teórica de disponer, como máximo probable, una vez cada 20 años, de un volumen de 2,7 hm³ de agua (1) para todo el sector Arinaga-Tirajana, y la explotación anual que, según la tendencia de los últimos años, se sitúa en torno a los 18 hm³ /año, anula de antemano la rentabilidad de cualquier instalación de recarga artificial que requiera un mínimo de mantenimiento, teniendo en cuenta además que, en ese tiempo, es posible la presencia de una avenida de período de retorno muy superior que podría destruir el dispositivo de recarga, incluso sin haber entrado en servicio nunca.

Por lo que respecta a las aguas residuales depuradas en la EDAR del Sureste, como ya se ha señalado, una parte del agua que tratará esta planta está comprometida con agricultores. Si además se tiene en cuenta que:

- el agua estará disponible en la costa, por lo que , es evidente, que sería necesario un bombeo suplementario para situar el agua en las zonas de recarga, - con un coste adicional importante,
- que es un agua totalmente regulada, por lo que puede aplicarse directamente para cubrir las demandas equivalentes de regadío,
- que la demanda de agua es prácticamente regular a lo largo del año, y

(1) Asignando al Barranco de Las Palmas una aportación igual a la calculada para la cuenca baja del Barranco de Tirajana.

- que sus características químicas (presencia de nitrógeno) y biológicas obligarían a un tratamiento adicional, puesto que se extrae agua para abastecimiento incluso en la zona salinizada,

se puede concluir que la solución más viable y eficaz, puede ser utilizar el agua, directamente o con tratamiento secundario, para regar zonas cubiertas con agua de pozo, de modo que se podría reducir el bombeo en una cantidad equivalente al agua depurada utilizada, lo cual redundaría en beneficio del acuífero haciendo innecesaria la operación de recarga con este agua, que necesitaría de dos bombeos (movilizar el agua de recarga y bombear en los pozos) en vez de uno, a igual dimensión de instalaciones de conducción, es decir, sería más cara la recarga que el riego para unos resultados equivalentes.

El mismo razonamiento puede aplicarse al agua residual de las otras EDAR de la isla, incluida la de Las Palmas, en el caso de que en el futuro se puedan trasvasar hacia el Sur de la Isla.

8.9.2.- Replanteamiento

La limitada cantidad de recursos de agua excedentes - que existen en el sector de Arinaga-Tirajana, obliga a modificar el planteamiento técnico que dió origen a este Estudio, pero no en el sentido de desechar de un modo absoluto, la idea de una recarga, sino variando los postulados iniciales y los objetivos.

Es evidente que una instalación de recarga, concebida

de acuerdo con unos esquemas clásicos de pretratamiento y control y un mantenimiento normal, que podría operar sobre unos excedentes que se presentarían una vez cada 20 años, y que no suponen más del 15% de las extracciones de agua anuales por bombeo, resultaría antieconómica y no tendría sentido, porque no supondría una contribución tangible a la mejora de la situación hidrogeológica del subsistema y se deterioraría por falta de uso durante largos períodos de tiempo, a veces varios años.

Sin embargo, en una región tan escasa de recursos como la Isla de Gran Canaria, si tiene sentido la recuperación de la mayor parte posible de aquellos recursos hídricos que no están regulados aún, y es un hecho patente que las avenidas, pequeñas o grandes, que consiguen llegar a verter el agua en el mar, son unos recursos que se pierden. Entonces la operación de recarga artificial, puede plantearse como un medio y no como un fin y modificar el estatus de los objetivos.

Es decir, se plantea la captación del mayor volumen posible de avenidas mediante unas instalaciones que en vez de almacenar el agua en superficie, lo que hacen es retener el agua e introducirla en el acuífero o sea, el objetivo principal es recuperar agua, y el subsidiario, contribuir a la recarga del acuífero.

En este caso las instalaciones tienen que ser sencillas, robustas, poco costosas de construcción y mantenimiento, dentro del mayor grado de eficacia posible, puesto que su actividad en servicio sería intermitente, con largos períodos de inactividad, y su probabilidad de deterioro muy alta en caso de producirse una avenida de agua excepcional.

8.10.- PROPUESTAS PARA EL FUTURO

De acuerdo con los principios planteados en el apartado anterior, se ha realizado un prediseño de esquema de recarga para conseguir el mayor grado de captación de las aportaciones superficiales cuando éstas se produzcan, intentando aprovechar al máximo las posibilidades de infiltración que existen en el sector estudiado.

El diseño que se ha realizado es sólo conceptual, puesto que el dimensionado geométrico e hidráulico debería ser objeto de un proyecto posterior.

8.10.1.- Esquema de recarga

El esquema de aprovechamiento de escorrentías superficiales y de recarga que se propone, está compuesto por dos tipos de instalaciones:

- una constituida por diques construidos transversalmente en las zonas donde el cauce de los barrancos se estrecha y encaja en materiales volcánicos, ubicados en los Barrancos de Balos, Temisas, Licencia y Tirajana.
- otra constituida por zanjas y/o balsas excavadas en los acarrees aluvionares, en las zonas bajas donde los cauces se abren formando los llanos, limitándose al cauce del Barranco de Balos e incluyendo las ya realizadas en el Barranco de Tirajana.

1. DIQUES

Las misiones de los diques, que se situarían en los cauces de los barrancos entre las cotas 150 (entrada a los llanos) y 300 (límite superior de zona de estudio), serían múltiples, a saber:

- laminación de las avenidas, reduciendo la energía de las aguas de escorrentía,
- retención de agua, que sería introducida en el subsuelo por tres vías: filtración a través del suelo en la zona de retención, conducción e introducción en pozos abandonados y filtración inducida a través de formaciones aflorantes de alta permeabilidad,
- decantación de sólidos en suspensión.

La situación de los diques en los cauces se ha apoyado en la existencia de pozos abandonados o afloramientos. En el caso de los pozos, el fundamento teórico es evidente, ya que se trata de un dispositivo de recarga clásico.

La idea de utilizar los afloramientos como vía de recarga artificial, se basa en el modelo conceptual de flujo en la zona no saturada y la disposición espacial de las formaciones acuíferas, que permiten realizar las siguientes consideraciones con vistas a la recarga natural y artificial de la zona de estudio:

- La mitad SO del denominado acuífero Arinaga-Tirajana caracterizada por la existencia de la Formación Sálica Antigua, se

sólidos transportados por el agua, y por otro, los que tengan como misión retener y reconducir el agua para infiltración en otras instalaciones, serían impermeables a base de hormigón amasado con gravas de los acarreos.

Los dispositivos a base de diques, descritos de Norte a Sur, según su numeración en las figuras M12 y M13, son:

- Diques 1, 2, 3 y 4 - En los Barrancos de Palmitas, Vacas y Corralillos (C. de Balos), permeables, baja altura (1 m) y objetivo de laminación de escorrentías.
- Diques 5 y 6 - En el Barranco de Temisas (Cuenca de Balos), de construcción permeable el 5 y de retención el 6, utilizando como elemento auxiliar de recarga el pozo 4243 30131. Altura de diques moderada de 1 a 1,5 metros.
- Dique 7 - En el Barranco de Temisas (Cuenca de Balos) dique de retención impermeable, de altura hasta 5 metros. Elemento auxiliar afloramientos de coladas-basálticas del Ciclo Post-Roque Nublo de alta permeabilidad.
- Dique 8 - En el Barranco de Temisas (C. de Balos), de poca altura, 0,5-1 m, impermeable que utilizaría un pozo cercano no inventariado como auxiliar de infiltración.
- Dique 9 - En el Barranco de Temisas (C. de Balos), de pared permeable y altura de 1 metro. Su objetivo es disminuir la energía del agua y filtrar sólidos.

- Diques 10 y 11 - En el Barranco Colorado (C. de Balos) permeable e impermeable, respectivamente, altura moderada (del orden de 1 m), pozo abandonado no inventariado como auxiliar.
- Diques 12 y 13 - En el cauce del Barranco de Balos, - permeables, de poca altura (1 m), con cometido de laminación de avenidas.
- Dique 14 - En el Barranco de Balos, impermeable, poca altura, utilizando un pozo abandonado como dispositivo auxiliar de infiltración.
- Dique 15 - En el Barranco de Balos, impermeable, con estribos en afloramientos permeables de basaltos Pre-Roque Nublo, en los que se puede inducir infiltración, altura moderada de 1 a 2 metros.
- Dique 16 - En el Barranco de Balos, permeable, de baja altura (1 m), para laminación de avenidas.
- Dique 17 - En el Barranco de Balos, impermeable, poca altura (1 m), con buenos afloramientos laterales de - basaltos Post-Roque Nublo.
- Dique 18 - En el Barranco de Balos, permeable, poca - altura (1 m).Ultima laminación antes de entrar en zona de zanjas.
- Dique 19 - En el Barranco de la Licencia, impermeable, poca altura, infiltración inducida a través de afloramientos de basaltos antiguos y Post-Roque Nublo.

- Diques 20 y 21 - En el cauce de Tirajana, permeables, de poca altura y objetivo de laminación de escorrentía.
- Dique 22 - En el Barranco de Tirajana, impermeable , poca altura, combinado con afloramiento y subafloramiento de materiales de la serie Sálica Antigua.

2.- BALSAS O ZANJAS

Desde el punto de vista constructivo, no hay diferencia entre zanja o balsa, puesto que la excavación a realizar es similar. Sin embargo, considerando la posible eficacia de uno u otro tipo de instalación de recarga por extensión y filtración en el acondicionamiento del Barranco de Balos, la experiencia aconseja proponer instalaciones tipo zanja, es decir, excavaciones en las que una dimensión (longitud) predomina sobre las otras dos. La razón para ello es doble:

- por un lado, las formas de las zanjas pueden acomodarse y respetar la red de caminos y tuberías de conducción de agua,
- por otro lado, es muy probable que el agua de escorrentía que reciban, transporte una carga elevada de sólidos en suspensión, que decantarían al disminuir la velocidad colmatando el fondo de la instalación, reduciendo, e incluso anulando la filtración a través del fondo; entonces, la filtración tendría lugar a través de las paredes, siendo mucho más eficaces las zanjas que las balsas porque la relación perímetro/superficie sería mucho mayor en las zanjas.

Se propone una idea de acondicionamiento del cauce del Barranco de Balos con una red de grandes zanjas, de forma general aproximada a la que se incluye en la figura M12, con una longitud perimetral total de paredes filtrantes de unos 15.000 m y una superficie útil de fondo de aproximadamente 100.000 m². Es decir, una relación perímetro/superficie de 0,15 que permite aplicar la relación entre VAI y la obtenida en el ensayo de recarga realizado, dando para una altura media de lámina de agua $h = 1\text{m}$, equivalente a plena capacidad de la instalación, y una VAI media de 5 m/día, una capacidad de infiltración teórica de 0,5 hm³/día.

Las zanjas tendrían diques intermedios, también señalados, en la figura M12 a título ilustrativo y profundidades variables entre 0,5 y 1,5 metros con objeto de establecer zonas de decantación y de infiltración preferentes.

Su construcción es sencilla, puesto que serían realizadas con palas retroexcavadoras, lo mismo que su restitución en caso de deterioro por avenidas excepcionales.

Por último, como elemento auxiliar contarían con los pozos situados en el cauce, como instalaciones complementarias de infiltración, especialmente con aquéllas que están abandonadas (30023, 30024) o situados en la zona terminal de la instalación de zanjas.

En el caso del Barranco de Tirajana, no hay nada que añadir al acondicionamiento actual a base de diques transversales de acarreo, que forman grandes balsas rectangulares cuyas dimensiones varían entre 200 x 100 metros y 1.700 x 150 metros. En total la superficie útil de infiltración será de 980.000 m².

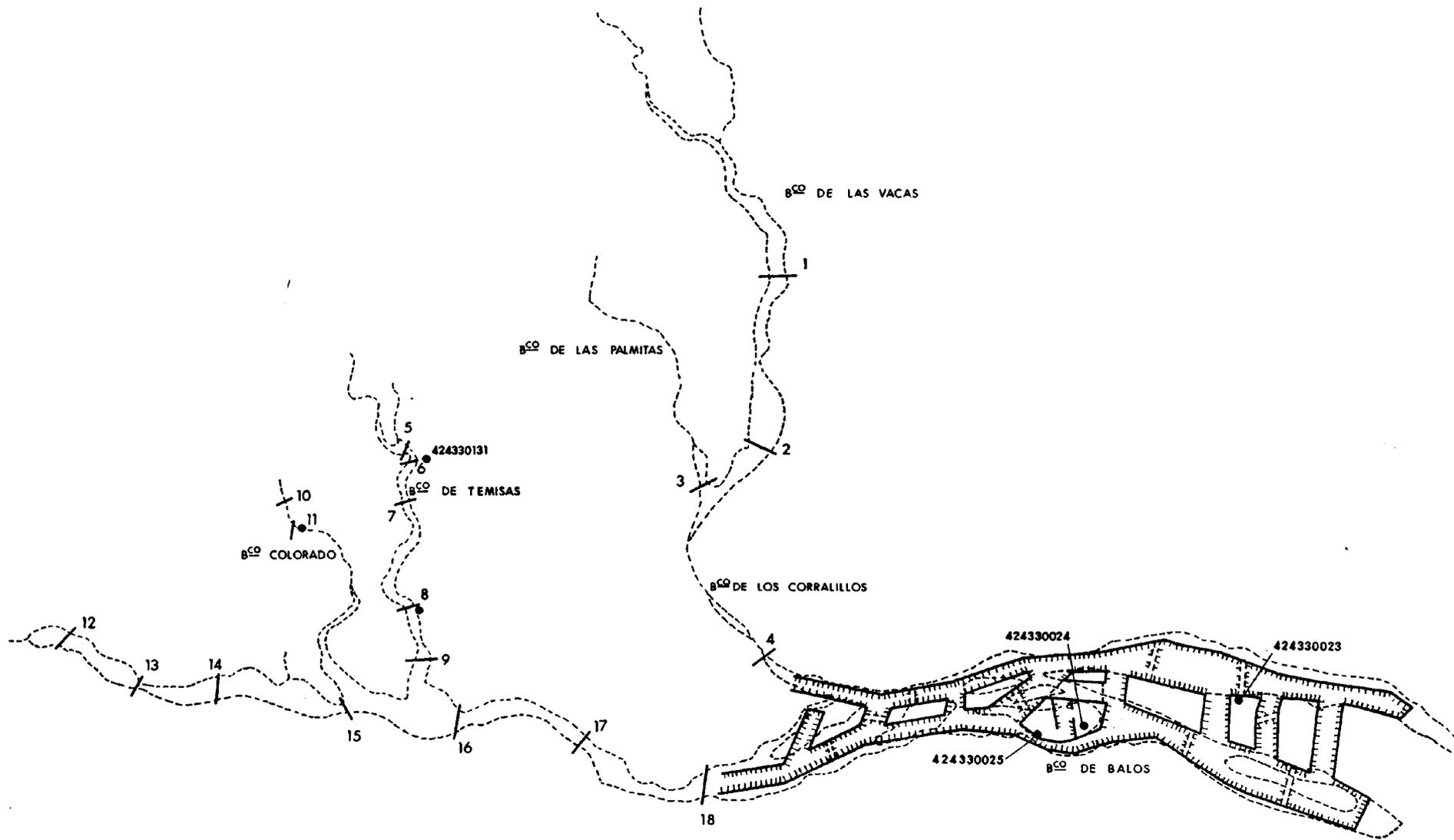


Fig. M.12.- ESQUEMA DE RECARGA PROPUESTO
 Instalaciones en la cuenca del BCO de Balos
 Escala 1:25000

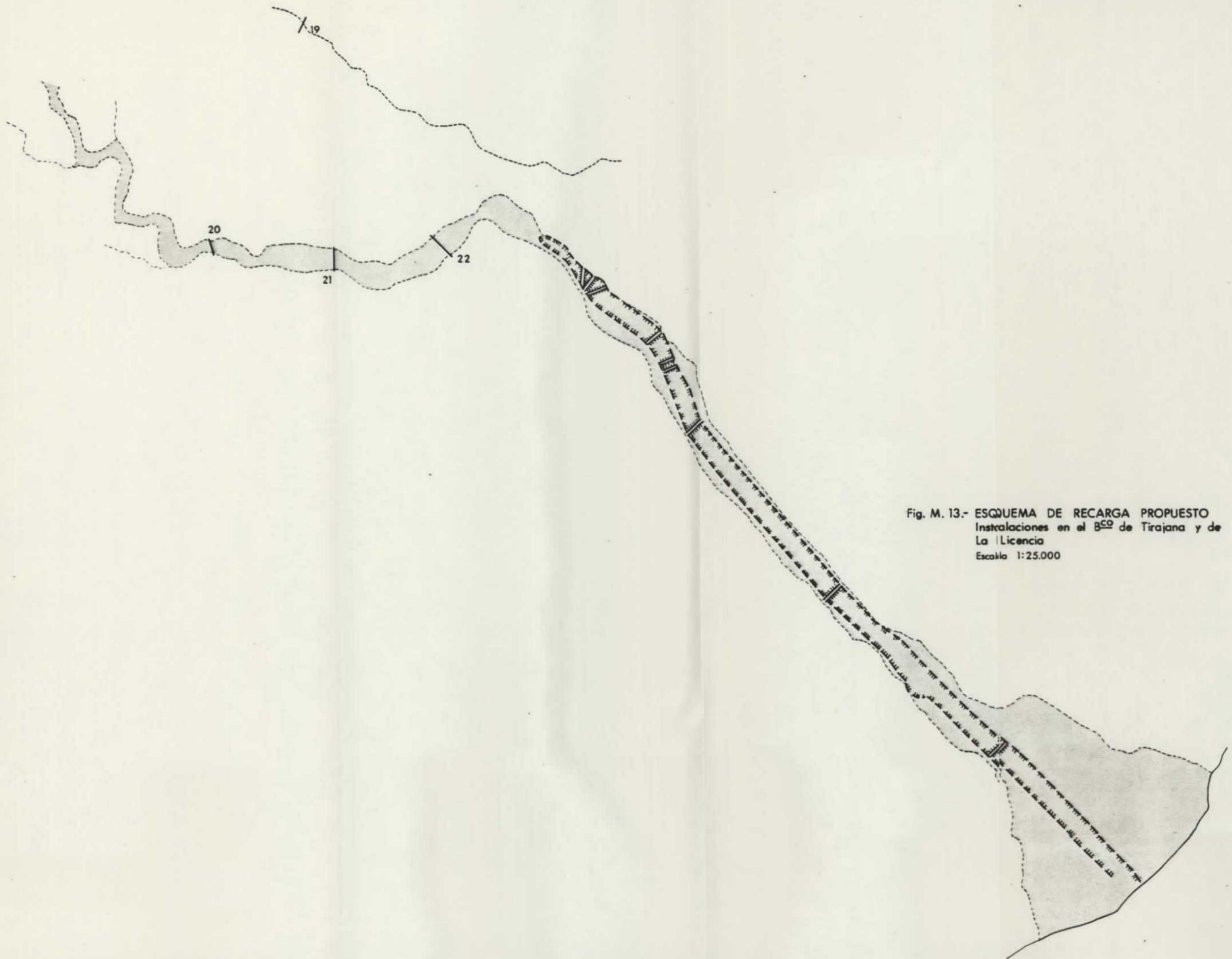


Fig. M. 13.- ESQUEMA DE RECARGA PROPUESTO
Instalaciones en el BCO de Tirajana y de
La Licencia
Escala 1:25.000

y la capacidad máxima teórica de admisión de agua de $4,9 \text{ hm}^3 / \text{día}$, cuando termine el aprovechamiento de las gravas.

Es evidente que las tasas diarias de infiltración corresponden a una valoración máxima puramente teórica según los resultados de los ensayos realizados. En la realidad, la capacidad de filtración será menor como consecuencia de la colmatación del fondo de las instalaciones, debido a la decantación de los finos arrastrados en suspensión, por el agua, que tenderán a obturar los conductos porosos a través de los que se filtrará el agua.

No hay datos para estimar la reducción que ello producirá en la VAI, pero es necesario tener presente el hecho si en un futuro más o menos cercano se acometen obras para acondicionar instalaciones de recarga por extensión.

En las figuras M12 y M13 se han representado las posiciones de todos los componentes, diques y zanjas, del esquema de captación y recarga propuesto, a nivel de prediseño, en este estudio.

8.10.2.- Estudios complementarios

Como resultado de la mejora general del conocimiento - que se fué adquiriendo durante el desarrollo de las diferentes fases de este Estudio, se puede plantear un programa de estudios complementarios en una doble vertiente. Por un lado, los estudios de carácter general destinados a mejorar o complementar el grado de conocimiento y control hidrogeológico del Sub-sistema, y, por otro, los estudios de carácter específico, cuyo objetivo es el diseño y proyecto de las instalaciones que comprenden el esquema de captación y recarga propuesto.

Los complementos de carácter general que deberían implantarse o ampliarse, son:

- Vigilancia de la Intrusión de agua salada, a base de sondeos, que se perforarían en número de 4 a 6, según dos perfiles - perpendiculares a la costa, dentro del ámbito superficial - del subsistema, compuestos por 2-3 sondeos cada uno. Las profundidades de los sondeos serán las necesarias para alcanzar la zona de transición de interfase a agua salada, estimándose entre 50 metros, a 1 Km de la costa, y 300 metros o más, en el límite interior del Subsistema.

En los sondeos se realizaría un control de periodicidad semestral a base de perfiles de conductividad y muestreo de - agua a diferentes profundidades con instrumentales adecuados, para lo cual el diámetro de los sondeos será el necesario para permitir esos controles, con una entubación del orden de 100 mm de diámetro.

- Vigilancia del nivel piezométrico aguas arriba del límite interior del Subsistema, o sea a cotas superiores a 200 m.s.n. m., ampliando la red de control piezométrico a algunos pozos de profundidad suficiente, abandonados, tales como el 424330131, o en producción, adaptando las campañas al régimen de explotación para aprovechar los periodos de parada. El objetivo - de este control se basa en que, el equilibrio de la situación del subsistema depende del flujo procedente del interior de la Isla que está garantizado mientras se mantenga la carga piezométrica en los niveles actuales, por lo que es preciso vigilar su evolución, pues un descenso de niveles podría poner en dificultades a las explotaciones del sector costero.
- Continuidad en las campañas de bombeos de ensayo y ensayos - de mareas. Se debería incrementar la relación con propieta--rios, para que advirtiesen a la oficina IGME y poder aprove-

las paradas estacionales o eventuales y para poder regular - los caudales de extracción de manera que se pudiera bombear con caudales bajos y tiempos de bombeo suficientemente largos para anular influencias parásitas (efecto de capacidad, de presión excesiva) y poder aplicar las metodologías descritas en el Anexo 4. Los tiempos de bombeo deberán ser del orden - de 48 horas.

- Elaboración de un modelo matemático de gestión del Subsistema Acuífero con objeto de, optimizar el bombeo de forma que se equilibre la intrusión con el mantenimiento de la anulación de salidas subterráneas al mar, y analizar alternativas y efectos de la aplicación de aguas residuales urbanas depuradas, que serán objeto de un estudio de aplicabilidad con o sin tratamientos secundarios.

Los estudios complementarios convenientes para completar el diseño del esquema de recarga, serían los siguientes:

- Estudio de la escorrentía de alguna tormenta para determinar: evolución de los caudales y cantidad de sólidos en suspensión, velocidad de sedimentación y volumen de sedimento, total y porcentual con relación al volumen de agua. Teniendo en cuenta el carácter eventual e imprevisible, y corta duración de las escorrentías sería necesario hacer una previsión del - equipo necesario y estar en disposición de actuar con eficacia desde la oficina de Las Palmas.
- Dimensionado preciso de los diques e instalaciones auxiliares de conexión con pozos, en función de las características del entorno (tales como caminos, cultivos, edificaciones) - afectado por el dique y su cuenca de retención de agua.

- Estudio teórico de la infiltración en los pequeños embalses de los diques de laminación de avenidas, mediante la aplicación del mismo programa empleado en el estudio de avenidas.

- Diseño del esquema de zanjas del cauce bajo del Bco. de Balos, tomando como referencia una campaña de nivelación precisa y estudio de la infiltración por medio de un análisis a base de redes de flujo.