



MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS

DIRECCION GENERAL DE OBRAS HIDRAULICAS

SERVICIO GEOLOGICO DE OBRAS PUBLICAS

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO

DEL

LLANO DE PALMA

MEMORIA





MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS

DIRECCION GENERAL DE OBRAS HIDRAULICAS
SERVICIO GEOLOGICO DE OBRAS PUBLICAS

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO

DEL

LLANO DE PALMA

MEMORIA Y PLANOS

INGENIERO D. ANGEL GARCIA YAGÜE

MADRID SEPTIEMBRE 1968

INDICE

	pág
Informe del Sr. Director del Servicio Geológico de Obras Públicas	I
I. ANTECEDENTES	1
II. DEFINICION DEL LLANO DE PALMA. SITUACION HIDROGEOLOGICA Y ENFOQUE DEL ESTUDIO	5
III. TRABAJO REALIZADO Y PERSONAL QUE HA INTERVENIDO	8
1. Trabajos realizados.	8
1.1. Pluviometría.	8
1.2. Pozos	8
1.3. Sondeos mecánicos	8
1.4. Sondeos geofísicos	9
1.5. Piezométricos	9
1.6. Plano geológico	9
1.7. Control de nivel de agua y salinidad.	9
2. Personal que ha intervenido	10
IV. GEOLOGIA GENERAL	12
1. Estratigrafía	12
1.1. Cuaternario	12
1.1.1. Holoceno	12
1.1.2. Pleistoceno	13
1.2. Plioceno	14
1.3. Mioceno	14
1.3.1. Saheliense	14
1.3.2. Vindoboniense	14
1.3.3. Burdigaliense	15
1.3.4. Aquitaniense	15
1.5. Oligoceno-Eoceno	15
1.6. Cretácico	16
1.6.1. Turonense-Cenomanense	16
1.6.2. Albense-Aptiense	16
1.6.3. Barremiense-Neocomiense	16

	pág
1.7. Jurásico	16
1.7.1. Titónico	16
1.7.2. Lusitaniense-Kimmeridgiense	16
1.7.3. Dogger	17
1.7.4. Lias-Toarciense	17
1.7.5. Lias-Charmutiense	17
1.7.6. Lias-Sinnemuriense	17
1.7.7. Infralias	17
1.8. Triásico	17
1.8.1. Keuper	17
1.8.2. Muschelkalk-Ladiniense	17
1.8.3. Muschelkalk-Virgloriense	17
1.8.4. Buntersandstein	18
2.. Tectónica	18
3. Zonas hidrogeológicas naturales	20
V. GEOLOGIA DEL LLANO Y ZONA PROXIMA	21
1. Estratigrafía	21
1.1. Cuaternario-plioceno	21
1.1.1. Tierra vegetal (T.V.)	21
1.1.2. Terra rosa (T.R.)	21
1.1.3. Depósitos de somonte o piedemonte (1 ₄)	22
1.1.4. Dunas costeras actuales	22
1.1.5. Dunas (1 ₆ y 1 ₇)	22
1.1.6. Gran duna (1 ₉)	22
1.1.7. Formaciones marinas	22
1.1.8. Formaciones recientes de facies costero lagunas (1 ₅)	22 23
1.1.9. Acarreos recientes	23
1.1.10. Plio-cuaternario (1)	23
1.2. Plioceno (1 ₁₁)	23
1.3. Mioceno	23
1.3.1. Tortoniense superior (Marino). (Nivel 2)	24
1.3.2. Tortoniense inferior (Marino más profundo) (Nivel 3)	25
1.3.3. Helveciense Superior (4) (Con- tinental y Marino)	26
1.3.4. Helveciense Inferior (Marino) (Nivel 5)	26
1.3.5. Burdigaliense (Nivel 6)	27
1.4. Oligoceno (7)	28
1.5. Cretácico (8)	29
1.6. Jurásico (9)	29
1.7. Triásico (10)	29

	pág
2. Tectónica	30
3. Cortes geológicos del llano	31
4. Planos topográficos	33
4.1. Plano topográfico de fondo del Pliocuaternario	33
4.2. Plano topográfico del nivel 2 (Tortonense superior).	34
4.3. Plano topográfico del nivel 3 (Tortonense inferior)	34
4.4. Plano topográfico del nivel 4 (Helveciense superior)	35
4.5. Plano topográfico del nivel 5 (Helveciense inferior)	35
4.6. Plano topográfico del techo del nivel 6 (Burdigaliense).	36
4.7. Plano geológico del fondo del Pliocuaternario	36
VI. BALANCE HIDRAULICO	39
1.1. Precipitación	39
1.2. Evapotranspiración	40
1.3. Escorrentía	42
2. Infiltración	42
3. Extracciones	48
3.1. Manantiales	48
3.2. Manantial Font de la Vila	49
3.3. Galería de captación del Valle de San Pedro	50
3.4. Pozos	51
3.5. Pozos de Pont d'Inca	53
4. Resumen del balance hidráulico medio	54
VII. REGIMEN HIDRAULICO DEL AGUA INFILTRADA EN EL LLANO DE PALMA	55
VIII. CONSECUENCIAS DE LA SOBREEXPLOTACION	59
1. Niveles freáticos.	59
2. Salinidad	62
IX. RESUMEN	68
X. SOLUCIONES PARA EL PRESENTE Y FUTURO	70
XI. CONCLUSIONES	72
BIBLIOGRAFIA	76
PLANOS	

INFORME DEL DIRECTOR DEL SERVICIO GEOLOGICO DE OBRAS PUBLICAS

El "Estudio Hidrogeológico del Llano de Palma", redactado por el Ingeniero del Servicio Geológico de Obras Públicas, D. Angel García Yagüe, es la continuación -y en cierto modo resumen- de varias notas e informes que sobre este mismo tema han sido enviadas a la Superioridad.

Dada la importancia del problema del abastecimiento de aguas de Palma de Mallorca, al que la Dirección General de Obras Hidráulicas viene desde hace tiempo prestando una especial atención, nos parece oportuno hacer algunos comentarios al estudio del Sr. García Yagüe e insistir sobre algunos de los puntos tratados en él.

Al estudiar el comportamiento del conjunto de acuíferos que integran al Llano de Palma, nos encontramos frente a un caso típico de invasión de aguas salinas de origen marino. Esta invasión es consecuencia de la desproporcionada y desordenada explotación del acuífero del Llano de Palma.

El estudio hidrogeológico realizado por el Sr. García Yagüe pone en evidencia el avance creciente del frente de agua del mar, demostrado por una excelente cartografía geológica de litofacies, una buena geología del subsuelo, un control sistemático de la invasión del agua del mar en los distintos acuíferos, que integran el conjunto del Llano de Palma, mediante análisis hidroquímicos de los numerosos pozos observados. Todo ello completado con un estudio de variaciones del nivel freático y una campaña de geofísica en la zona objeto del estudio.

Los volúmenes de agua bombeada exceden a los recursos o recarga de agua que reciben los acuíferos por la infiltración de las precipitaciones o de cualquier otro origen. Al menos en los últimos tres años hubo un déficit claro, que superó en 1967 los 13 hm³.

La figura 14 de la Memoria "Índice medio de salinidad en los pozos del Pont d'Inca", es, en nuestra opinión lo suficientemente representativa, y podemos afirmar que el índice de salinidad ha alcanzado ya proporciones muy alarmantes y que con la explotación actual sigue aumentando a un ritmo muy rápido. De no tomarse con la urgencia ne-

cesaria medidas correctivas, cabe esperar que entre 3 y 5 años el acuífero del Llano de Palma, en su totalidad, estará salinizado hasta límites que no permitirán su utilización.

Como hemos indicado, la explotación de las aguas del Llano ha sido totalmente anárquica e incontrolada, debido sobre todo a la falta de una Ley de Aguas adecuada. Esto ha contribuido, de forma notable a acelerar la intrusión de agua del mar, ya que una mejor distribución de los pozos hubiera permitido obtener el mismo volumen de agua con efectos menos perjudiciales.

El estudio a que nos estamos refiriendo, que incluye la observación sistemática de numerosos piezómetros, permite afirmar que el agua subterránea actualmente en explotación en el Llano de Palma, constituye un complejo sistema acuífero, que alcanza los 300 m de profundidad y que, a efectos de su aprovechamiento general, ha de considerarse como un único acuífero. Por otra parte, dada la complejidad de la geología el establecimiento de una explotación importante en un posible acuífero, aún no localizado en el Llano de Palma, a mayor profundidad y bajo el techo de las margas burdigalienses, obliga a estudios muy delicados para delimitar su zona de recarga, analizar su balance hidráulico y vigilar las no imposibles comunicaciones con los acuíferos superiores, hoy en explotación. Por todo ello, es preciso adoptar una prudente postura técnica, sin que ello suponga abandonar en el futuro el necesario estudio de esta interesante hipótesis.

Al considerar atentamente este estudio y las conclusiones que se desprenden de él, vemos que puede actuarse simultáneamente en dos frentes.

- Mejorar la explotación del Llano de Palma.
- Acometer el estudio de los recursos hidráulicos totales de la Isla de Mallorca.

Parece obvio que la Isla de Mallorca deberá explotar al máximo todos sus recursos de agua, tanto superficiales como subterráneos. Para ello, deberá establecerse el correspondiente balance hidrológico para todo el conjunto de la Isla, basándonos en el concepto de unidad hidrológica. Por consiguiente, debe admitirse que el sistema de acuíferos del Llano de Palma no es sino una parte de la unidad hidrológica y por tanto los dos frentes a que antes nos referíamos constituyen en realidad uno solo. El presentarlos separadamente obedece al hecho de querer destacar aquellas medidas que por su urgencia deben acometerse de forma inmediata.

Antes de referirnos a estas medidas, siquiera sea a título de simple enumeración, creemos que para garantizar en lo posible su eficacia debe dictarse una disposición de rango suficiente, que permi-

ta establecer un ordenamiento jurídico de las aguas, adecuado a la importancia de los problemas actuales y futuros. En esta disposición debe designarse un único organismo de la administración que, al propio tiempo que lleve a cabo los estudios y trabajos pertinentes, regule las explotaciones y haga cumplir la ley de forma efectiva.

En las conclusiones del estudio del Sr. García Yagüe, se reflejan las posibles soluciones que pueden considerarse. Deseamos insistir sobre algunas de ellas, clasificándolas al propio tiempo en orden a su urgencia.

1. SOLUCION A PLAZO INMEDIATO

1.1. Acelerar en la medida de lo posible la construcción de los embalses previstos en el Plan General de Abastecimiento de la Isla que en su conjunto constituyen una solución segura y pieza fundamental en el futuro "water management" de los recursos totales.

1.2. Ejecutar pozos en zonas suficientemente alejadas de la intrusión salina. Las formaciones calcáreas y dolomíticas del Mesozóico, de las estribaciones de la sierra, nos parecen de particular interés ya que pueden constituir acuíferos de notable importancia.

Los nuevos pozos deberán ser construidos y explotados bajo una estricta supervisión de la Administración, a través del Servicio Hidráulico de Baleares, asistido por el Servicio Geológico de Obras Públicas. Probablemente habrá que establecer los oportunos compromisos con los correspondientes Municipios.

1.3. Comenzar los estudios hidrológicos de detalle y el anteproyecto de las presas de Valldemosa y Establiments, destinadas a retener las aguas de avenidas y permitir la recarga de los acuíferos mesozóicos antes mencionados.

2. SOLUCIONES A CORTO PLAZO

2.1. Continuar el estudio del Llano de Palma comprendiendo:

2.1.1. Censo periódico de los bombeos efectivos en los pozos más importantes y estimación de volúmenes extraídos en los grupos de pozos de menor capacidad.

2.1.2. Continuar con las medidas sistemáticas de niveles en pozos y piezómetros y toma de muestras para el control de la intrusión salina.

2.1.3. Realizar una campaña de ensayos de bombeo en los pozos más representativos para obtener una información válida de la trasmsibilidad, coeficiente de almacenamiento y límites de los acuíferos.

2.1.4. Con los datos obtenidos hacer algún modelo -matemático, analógico o Hele-Shaw- que permita ensayar las diversas posibilidades de explotación técnicamente posibles y elegir la más conveniente.

2.2. Acometer el Estudio de los Recursos Hidráulicos Totales de la Isla de Mallorca. En este estudio se integraría como una parte, el correspondiente al Llano de Palma.

2.3. Acometer el estudio de la reutilización de las aguas negras de Palma para usos agrícolas y/o recarga del embalse subterráneo en la faja costera.

3. SOLUCIONES A LARGO PLAZO

3.1. Seguir la evolución de los costes en la potabilización del agua del mar, con vistas a su posible interés para la Isla en un futuro más o menos lejano, pero no creemos que inmediato.

3.2. Igual consideración nos merece lo referente a los ensayos de lluvia artificial. Hasta la fecha, que sepamos, el control objetivo de las experiencias realizadas sobre lluvia artificial es difícil y los autores calificados estiman que los resultados son "estimulantes pero no aún significativos".

No queremos terminar estos comentarios al excelente estudio del Sr. García Yagüe, sin referirnos a dos puntos de la Carta del Agua solemnemente promulgada en Estrasburgo en mayo del corriente año.

El punto X dice: "El agua es un bien común cuyo valor debe ser reconocido por todos. Cada uno tiene el deber de utilizarla con cuidado y no desperdiciarla".

El punto XI por otra parte señala que: "La Administración de los Reursos Hidráulicos debiera encuadrarse más bien en el marco de las cuencas naturales que en el de las fronteras administrativas y políticas".

Añadiendo a título de aclaración:

"Conviene tener presente el hecho de que, dentro de los límites de una cuenca, los diversos usos de las aguas, tanto superficiales como subterráneas, son interdependientes y es deseable que su administra

ción también lo sea".

En nuestra opinión, es apoyándose en estos principios, como debe abordarse el fundamental problema de abastecimiento de aguas a la Isla de Mallorca.

Madrid, octubre de 1968

El Director

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'M. Gómez de Pablos', with a long horizontal flourish underneath.

Firmado

Manuel Gómez de Pablos

I. ANTECEDENTES

Con fecha 8 de noviembre de 1961 el Ilmo. Sr. Subsecretario de Obras Públicas comunicó lo siguiente:

"El Excmo. Sr. Ministro de este Departamento con esta fecha me dice lo que sigue:

Ilmo. Sr: las limitaciones a que está sometido el abastecimiento de agua potable a la Isla de Mallorca, obliga a un estudio y revisión de las disponibilidades existentes y de su utilización, cualquiera que sea el origen, superficial o profundo, de las mismas, que debe completarse con una información al día sobre la técnica de potabilización de agua del mar. Este estudio de posibilidades será base del plan de distribución de caudales, a la vista no sólo de las necesidades del abastecimiento de poblaciones, sino de cualquier otro uso del agua.

Los estudios referentes a las aguas superficiales corresponden a los Servicios Hidráulicos, a cargo en este caso de la Jefatura de Obras Públicas de Baleares, los de carácter hidrogeológico al Servicio Geológico de Obras Públicas y la potabilización del agua del mar al Centro de Estudios Hidrográficos. La coordinación con otros Servicios Estatales que efectúan estudios de Hidrología, puede verificarse a través del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, organismo de funciones coordinadoras en que el Ministerio de Obras Públicas está representado por varios de sus organismos, fundamentalmente el Centro de Estudios Hidrográficos.

Por lo expuesto, este Ministerio ha tenido a bien disponer:

1º. Se constituye una Comisión encargada del estudio de las disponibilidades hidráulicas de todo género en la Isla de Mallorca constituida por tres ingenieros designados respectivamente por el Servicio Geológico de Obras Públicas, la Jefatura de Obras Públicas de Baleares, en su carácter de encargada del Servicio Hidráulico del Archipiélago y el Centro de Estudios Hidrográficos, en la que actuará como Presidente el representante del primero y como Secretario el de la segunda.

22. Cada servicio efectuará el estudio del aspecto que le corresponda a su especialidad, asistido el Servicio Geológico por la Asesoría Geológica, que forma parte del mismo, y el Centro de Estudios Hidrográficos por aquellas colaboraciones e información que pueda facilitarle el Instituto de Hidrología del que forma parte, dentro de las normas que la reglamentación de este Instituto permita. "

Como representante del Servicio Geológico de Obras Públicas en esta comisión y presidente de ella fue nombrado D. Fernando Reig Vilaplana, que es Vocal de la Asesoría Geológica. La Jefatura de Obras Públicas de Baleares fue representada por D. Mariano Pascual Fortuny y el Centro de Estudios Hidrográficos por D. Jorge Suárez.

La Asesoría Geológica de Obras Públicas realizó un estudio del tema y emitió con fecha 30 de diciembre de 1961 el "Informe geológico acerca de las disponibilidades hidráulicas de todo género en la Isla de Mallorca", redactado por los Vocales Asesores D. Manuel Vidal Pardal, D. Fernando Reig Vilaplana, D. Ramón Llamas Madurga y el Vocal Accidental D. Andrés Muntaner Darder.

En este informe se hizo un estudio de las precipitaciones y necesidades de agua de la isla. Se presentó un plano geológico general y se concretaron las posibilidades de construir una serie de embalses. Sus conclusiones son las siguientes:

"Primera. El estudio geológico, combinado con el topográfico, ha permitido fijar cuatro emplazamientos posibles para otros tantos embalses. Uno el de Puigpunyent en el torrente de la Riera, otro en el arroyo de San Miguel, un tercero en el arroyo de Ternellas y otro, el de Manacor, en el torrente de Naborja.

Segunda. Deberán practicarse reconocimientos con sondeos en cada una de esas cuatro posibles cerradas, con los objetivos y en la forma indicados en el presente informe.

Tercera. El problema para resolver el abastecimiento a la creciente población de Palma y zona costera de sus proximidades, exige el rápido estudio del embalse de Puigpunyent. Paralelamente a este estudio y con objeto de sustituirle en caso negativo, o en todo caso de complementarlo, deberá emprenderse el estudio hidrogeológico de la llanura próxima a su bahía.

Cuarta. Este estudio hidrogeológico deberá emprenderse con las orientaciones señaladas, tras completar el estudio de antecedentes de los actuales pozos.

Quinta. El resultado de este estudio podrá aconsejar el establecimiento del embalse permeable de Valldemosa u otro análogo, con vistas a incrementar las aportaciones de agua a las capas subterráneas existentes.

Sexta. El embalse Manacor es el más importante de todos por sus aportaciones, por su capacidad, y por estar situado en un punto clave que domina una extensa zona deficitaria de aguas en el centro-sur este de la isla, por lo que deberá ser estudiado con preferencia a todos los restantes.

Séptima. Otros estudios y reconocimientos podrán efectuarse para resolver los abastecimientos de poblaciones o grupos de poblaciones en otros lugares de la zona de la depresión, debiendo proceder a la realización de cualquier taladro para captación de aguas, el estudio de los antecedentes que proporcionan los datos de los sondeos citados en este informe y en todo caso, un estudio geológico previo para su más conveniente situación, debiendo orientarse según el manto acuífero que pretenda ser investigado o aprovechado. A este respecto, nos mostramos escépticos en cuanto al resultado que pudiera alcanzarse tratando de captar aguas en terrenos calizos lagunares terciarios. En las dolomías secundarias, las posibilidades de captar aguas son más halagüeñas, si bien, las profundidades de los taladros necesarios resultan, en general, grandes y en algunos casos prohibitivas.

Octava. En las restantes zonas, hemos apuntado las posibles soluciones para sus problemas hidráulicos.

Novena. Los aprovechamientos hidroeléctricos fueron objeto de estudio por el Ingeniero D. Marino Pascual Fortuny y se construyen por "Gas y Electricidad. S.A.", actualmente, los embalses posibles.

Décima. En poblaciones costeras convendrá estudiar el posible aprovechamiento de las aguas del mar, siguiendo la evolución favorable, en cuanto a su coste, de este interesante sistema."

El Ilmo. Sr. Director del Servicio Geológico de Obras Públicas encomendó al Ingeniero D. Federico Macau Vilar los trabajos de reconocimientos necesarios para cumplimentar las conclusiones del informe de la Asesoría Geológica, asistido por los ayudantes de Obras Públicas, D. Desiderio Herrador y D. Luis Urrutia. Excluyendo los estudios del Llano de Palma, objeto de este informe, se han reconocido las cerradas de Ternellas y Establiments, con resultado negativo, las de Manacor y Campanet, donde pudo encontrarse una solución, informes que fueron remitidos a la Superioridad hace ya tiempo. Están terminados los trabajos de campo de los embalses de Pina y Puigpunyent y en proceso de confección sus informes. También está muy adelantado el estudio de la zona de la Bahía de Alcudia, con características análogas a las del Llano de Palma.

Desde el año 1962, en el que comenzaron los estudios en la Isla de Mallorca, se han remitido a la Superioridad por el Servicio de Obras Públicas y la Comisión creada por la orden ministerial, que hemos transcrito, una serie de informes parciales con el objeto de comunicar

las sucesivas incidencias y situación de los trabajos y que han permitido al Servicio Hidráulico de Baleares iniciar y confeccionar el estudio general de abastecimiento de agua a la isla, proyecto que está en situación muy avanzada. Hemos creído necesario señalar en este informe estos detalles, con objeto de no olvidar que, el estudio del Llano de Palma es una parte de los estudios en curso, y que siempre será necesario no perder de vista el conjunto del problema.

II. DEFINICION DEL LLANO DE PALMA. SITUACION HIDROGEOLOGICA Y ENFOQUE DEL ESTUDIO

Englobamos en el Llano de Palma una amplia zona definida al sur por la costa, desde S'Arenal hasta la ciudad de Palma de Mallorca. Al oeste por las estribaciones de Sierra Burguesa, o sea, Castillo de Bellver, Génova (274), Sâ Morisca, Sâ Michera, Moletas de Son Vida y Sâ de Cans hasta Sâ Pedrera; incluye la depresión al noroeste de Establiments, limitada por las sierras anteriores y las estribaciones de Sâ Des Canyar, Mola de Sarriá y Sâ de Son Bauzá. Hacia el norte está limitada por Son Antica, Patx (311), Aver só (322), Charte (161), Extremera (277) y la población de Sta María. El límite este queda definido por una línea recta que parte de Sta María y con dirección sureste cruza la carretera de Palma a Sineu y desde ésta hasta alcanzar el Arenal.

Aunque el llano queda definido por las estribaciones de las sierras o picos citados, su estudio ha debido extenderse algo más, para buscar las relaciones entre los terrenos superficiales y los localizados en los sondeos, aparte de las necesidades que impone la cuenca hidrogeológica propia. La cota sobre el nivel del mar de la llanada oscila entre la 0 y la 120. Su extensión total aproximada es de unos 200 km².

En esta llanada existen numerosos pozos de los que hemos controlado 1886 en el año 1962. La anarquía hasta ahora existente, así como la ausencia de toda autorización para la realización de estos trabajos, ha hecho muy difícil su registro y control; no obstante, creemos, que prácticamente hemos podido controlar y fichar su totalidad. El agua extraída de estos pozos se emplea para regadío y abastecimiento de núcleos urbanos o de fincas diseminadas, no siempre próximas al punto de extracción, por la venta y distribución con camiones cisternas del agua obtenida. Es interesante destacar los pozos que abastecen la población de Palma de Mallorca, que constituyen dos conjuntos: El primero en Pont d'Inca, que es el más importante; el segundo en Virgen de Montserrat, al noreste de la ciudad. A estas instalaciones se une el manantial de Font de la Vila, próximo y al oeste del km 9 de la carretera de Palma a Valldemosa. En el verano de 1968 se han incorporado unos pozos en Son Serra.

La explotación masiva y desordenada a que se han sometido los niveles acuíferos del llano ha originado una penetración del agua del mar, ya que el volumen extraído es superior al máximo permisible. Tenemos pues el primer punto a dilucidar ¿cuáles son los volúmenes máximos que pueden extraerse?.

Para determinarlos es preciso conocer cual es el agua infiltrada en el terreno que alimenta este embalse subterráneo, es decir, la recarga de la zona. Ello obliga a estudiar la pluviometría y evaluar la esorrentía, evapotranspiración y filtración y a definir la cuenca de alimentación, que en terrenos cársticos, como los que rodean la llanada, exigen un estudio geológico minucioso, ya que no coinciden las cuencas topográficas e hidrológicas.

Por otra parte es necesario evaluar las extracciones actuales y futuras para conocer la situación del problema.

El peligro de salinización puede observarse directa o indirectamente. Lo primero determinando el contenido de sal del agua extraída a lo largo del tiempo, lo segundo midiendo y observando análogamente el nivel piezométrico en la llanura.

Tanto la circulación del agua subterránea, como la extensión y situación de la cuenca de alimentación y la evolución del proceso de salinización están condicionados por la geología.

Con estas premisas y dada por una parte la posible gravedad de una brusca salinización de las instalaciones de abastecimiento a la ciudad y, por otra parte, el enorme trabajo a realizar, se enfocó el tema de forma independiente en tres frentes distintos:

- a) Control de los niveles de agua y contenido de sal en el agua de los pozos explotados. Labor realizada por el Servicio Hidráulico de Baleares con nuestra colaboración.
- b) Determinación de la precipitación y evaluación de las extracciones. Lo primero realizado por el Centro de Estudios Hidrográficos y lo segundo por el Servicio Hidráulico de Baleares.
- c) Estudio geológico de la zona.

La estrecha colaboración entre el Servicio Geológico de Obras Públicas y el Servicio Hidráulico de Baleares ha permitido que, de forma coordinada, se realizasen estas tareas y que se redactasen informes parciales remitidos a la Superioridad por la Comisión creada por Orden Ministerial, de los cuales los tres últimos son:

"Estudio hidrogeológico de los recursos hidráulicos de la Isla de Mallorca. Disponibilidades del Llano de Palma". (1966).

"Algunos aspectos de la situación actual del abastecimiento de agua a Palma de Mallorca". (1968)

"Situación de los estudios de todas las disponibilidades hidráulicas de Baleares". (1968)

En el informe, que ahora redactamos, recogemos cuantos datos de interés se han obtenido, con el objeto de que no haya necesidad de consultar los informes anteriores. Serán necesarios posteriores estudios de afine y detalle, aparte de un control continuo de la evolución del fenómeno, cuyas bases especificaremos en las conclusiones y recomendaciones finales.

III. TRABAJO REALIZADO Y PERSONAL QUE HA INTERVENIDO

1. TRABAJOS REALIZADOS

1.1. Pluviometría

Se han utilizado las isoyetas deducidas por el Centro de Estudios Hidrográficos, que se incluyen en el primero de los tres informes citados en el capítulo anterior.

1.2. Pozos

En el anexo 1 se incluye la relación de 909 pozos nivelados, que constituyen la primera selección, que se realizó entre los controlados, que son 1886 y cuyas fichas obran en poder de los Servicios Hidráulicos de Baleares. En cada uno de estos 909 pozos se ha situado una placa nivelada para posteriores trabajos de estudio o control. En la colección de fotografías aéreas a escala 1/5.500 del Llano de Palma, se han situado todos los pozos, piezómetros y sondeos. Una colección de estas fotografías con la situación de los pozos a escala 1/2.000 se ha facilitado a los Servicios Hidráulicos de Baleares. Posteriormente se han seleccionado 233 pozos, sobre los que se realiza un control continuo del nivel piezométrico y contenido de sal, cuya posición está indicada en el plano 14.

1.3. Sondeos mecánicos

Los primeros 10 sondeos mecánicos realizados se dispusieron basándose en hipótesis geológicas previas. Los restantes se ejecutaron de acuerdo con los datos obtenidos en los sondeos geofísicos.

En total se han ejecutado 34 sondeos mecánicos con longitudes comprendidas entre 83 y 290 m, que superan los 6.400 m de longitud total. En bastantes sondeos mecánicos se efectuaron registros geofísicos de rayos gamma, resistividad y potencial, cuyas grafías se acompañan en los gráficos de sondeos.

La situación de los sondeos mecánicos se ha dibujado en el plano 2.

Parte de los sondeos se convirtieron posteriormente en piezómetros.

1.4. Sondeos geofísicos

Se han realizado 655 sondeos eléctricos resistivos en tres etapas. En la primera se hicieron dos perfiles de dirección aproximada este-oeste apoyándose en los sondeos mecánicos efectuados. En la segunda se enlazaron aquellos sondeos mecánicos cuya correlación presentaba dificultades. En la tercera y última, se ejecutaron perfiles suplementarios en las zonas dudosas, hasta completar la red que puede observarse en el plano 2.

Los sondeos eléctricos tienen una línea media de emisión superior a los 600 m y su distancia relativa es de 200 m. Es decir, que se han efectuado unos 125 km de perfil eléctrico resistivo. Aparte se han ejecutado 15 sondeos eléctricos más próximos entre sí junto al sondeo mecánico 2, y levantamiento de curvas de isorresistividad a profundidad constante, rastreo, para situar la dirección de las fallas junto al sondeo mecánico 7. (Líneas de emisión 90 m).

1.5. Piezómetros

Con objeto de controlar los niveles piezométricos y la penetración del agua salada se han efectuado 82 piezómetros, con longitud total superior a los 2.300 m. Estos taladros constituyen a su vez unos sondeos complementarios, por lo que en todos ellos se analizaron los testigos obtenidos y se realizó el registro de rayos gamma. Los piezómetros se propusieron a la Superioridad en el informe del año 1966 y su situación final puede verse en el plano 2 y en la colección de fotografías aéreas. También se ha efectuado la nivelación de los piezómetros, que se incluye junto con los croquis de situación y sus gráficos, en el anexo 1.

1.6. Plano geológico

Abarca una superficie de unos 450 km², e incluye la coordinación de los datos superficiales y los obtenidos en los sondeos mecánicos y geofísicos. Se presenta un plano general del Llano y de la zona próxima y al noroeste de Palma. También incluimos los planos geológicos del subsuelo, y cortes geológicos del llano, labor llena de dificultades y que se ha realizado pensando en posteriores estudios analógicos.

1.7. Control de nivel de agua y salinidad

Recogemos en este informe lo realizado hasta el verano de 1968, y obtenemos del estudio de las variaciones registradas las conclusiones posibles. Como es lógico, la observación durante un tiempo más largo permitirá afinar estas conclusiones y conocer más profundamente el complejo fenómeno que se presenta en el llano. Esta labor de recogida

da de datos la efectúa el Servicio Hidráulico de Baleares, aún cuando la colaboración del Servicio Geológico de Obras Públicas ha sido muy importante al principio.

2. PERSONAL QUE HA INTERVENIDO

Una labor de este tipo implica la intervención de muchos técnicos, por lo que no es posible presentar en los debidos términos la labor de cada uno, ni citar a todos, D. Federico Macau fue el ingeniero encargado de este trabajo hasta agosto de 1966, fecha en la que causó baja en el Servicio Geológico. Desde un principio el ingeniero que redacta y firma este informe, D. Angel García Yagüe, intervino en los trabajos, realizando los sondeos geofísicos, cuya coordinación con los sondeos mecánicos era obligada e imprescindible. En agosto de 1966 fue encargado del trabajo para sustituir a D. Federico Macau.

Hemos de subrayar la labor realizada por D. Luis Urrutia y D. Desiderio Herrador, Ayudantes de Obras Públicas del Servicio Geológico, que durante todo el tiempo que ha durado los trabajos no han regateado esfuerzos ni dedicación. Especial mención merece D. Antonio Menéndez Cornejo, Ayudante de Obras Públicas, colaborador del Servicio Geológico, que ha participado en la interpretación de los sondeos geofísicos, labor paciente por el gran número de datos y curvas a manejar, especialmente cuando tratamos de conseguir por reinterpretaciones sucesivas los planos topográficos de los distintos paquetes localizados en el subsuelo del Llano de Palma.

D. Andrés Muntaner Darder ha colaborado desde el principio con la Comisión creada por Orden Ministerial, con el Servicio Geológico de Obras Públicas y con el Servicio Hidráulico de Baleares. Su valía y conocimientos geológicos fueron reconocidos al nombrársele Vocal Accidental de la Comisión de la Asesoría Geológica, que redactó el primer informe en el año 1961. Durante su actuación ha facilitado un gran número de datos de sondeos efectuados por particulares, así como las características geológicas de pozos contruidos, difícilmente conseguibles por otros métodos. Es más, facilitó al Servicio Geológico y posteriormente al Sr. García Acedo, levantamientos geológicos locales de la zona a estudiar, algunos de ellos no publicados, y nos acompañó cuantas veces lo precisamos en los obligados recorridos del terreno. También ha efectuado la casi totalidad de la clasificación de los testigos de los sondeos ejecutados.

El levantamiento geológico de superficie ha sido efectuado por el geólogo D. J.L. García Acedo, que permaneció en la zona de estudio durante casi dos meses.

No podemos dejar sin mencionar la ayuda eficaz y estrecha colaboración que constantemente nos ha prestado el Servicio Hidráulico de Baleares, hasta el punto que, su Director D. Mariano Pascual Fortuny,

puede considerarse como un ingeniero encargado más de este trabajo.

Ponemos punto final a esta lista de personal colaborador, pues sería interminable nombrar a todo el personal técnico superior del Servicio Geológico al que hemos acudido en petición de consejo o contraste de opiniones, y a los auxiliares técnicos, sondistas, prospectores etc que han intervenido y cuyo anonimato no desmerece la labor paciente y meritoria de seis años de trabajo, antes bien la realza.

IV. GEOLOGIA GENERAL

1. ESTRATIGRAFIA

En orden descendente los terrenos que se encuentran en la isla de Mallorca son.

1.1. Cuaternario

1.1.1. Holoceno

Corresponde a los materiales recientes últimamente depositados. Entre ellos encontramos los acarreos actuales ligados a lluvias torrenciales, que a veces originan el desbordamiento de los cauces actuales e inundación del terreno próximo, depositando mantos de apreciable extensión y espesor de hasta 1 m. Recubren depósitos previos de análogo origen y características. Están formados por arcillas, margas, arenas, gravas y bolos de materiales calcáreos.

Depósitos de sotomonte y conos de deyección, con sus características generales.

Algunas playas y depósitos eólicos de poca importancia.

Depósitos lagunares, que han rellenado depresiones y albuferas, como es el caso de la zona de Sant-Jordi, al este de Palma, la Albufera de la Bahía de Alcudia y Pollensa al norte de la isla, y en la zona de Campos.

Suelos residuales (sobre las calizas y molasas) y tierras de labor.

El proceso geológico en este período ha consistido fundamentalmente en el ataque por el mar en las costas acantiladas, principalmente de Levante y Poniente, continuación del proceso general de carstificación en profundidad, con todas sus fases de disolución, litogénesis, etc. Formación de costras en superficie y sobre todo, cambio del proceso natural de circulación del agua subterránea, que en los últimos tiempos y debido al crecimiento descontrolado de las extracciones, ha dado lugar

entre otros fenómenos a la alarmante invasión de agua salada hacia el interior de la isla, por las zonas más explotadas.

1.1.2. Pleistoceno

No se han localizado en la isla terrazas fluviales, que pudieran relacionarse con los períodos glaciales ni tampoco, por supuesto, restos morrénicos. Sin embargo deben existir las primeras aún cuando su desarrollo sea poco importante, dada las condiciones climáticas del archipiélago.

Por el contrario están bien desarrollados los niveles costeros y terrazas marinas.

Las formaciones localizadas son las siguientes:

Dunas: de las que se distinguen tres. La más reciente a escasa altura sobre el mar y en proceso de solidificación, ligada a la regresión flandriense.

Una segunda duna, asimilada a una regresión que separa las dos subterrazas del Tirreniense II, también a escasa altura sobre el nivel del mar.

La tercera duna es de mayor potencia y aparece en la base del Tirreniense II. En el Llano de Palma las dunas alcanzan los 50 m sobre el nivel del mar.

Formaciones marinas del Tirreniense I, de escasa extensión y cotas variables.

Margas azuladas y amarillentas de facies costero lagunar con *Melania* y *Cardium edule*, posteriores al igual que los limos rojos a la gran duna.

Depósitos continentales formados por margas y arcillas margosas, limos, gravas con limos, conglomerados flojos poligénicos y arenas. Su color general es rojizo y su potencia sorprendente. Sus límites con el plioceno continental son difícilmente determinables, por lo que es preferible englobarlos en el calificativo de Pliocuaternario.

El proceso geológico predominante en el Pleistoceno es la erosión, transporte y deposición de grandes volúmenes de materiales ligados a las oscilaciones eustáticas marinas, con procesos de regresión y transgresión del mar y sus correspondientes terrazas y plataformas marinas. En la isla no está bien estudiado este proceso en conjunto, por lo que la evolución geológica en este período no puede exponerse de forma clara.

Nos bastará indicar que hemos localizado espesores de materiales cua-

ternarios, que superan los 250 m. Bajo la ciudad de Palma de Mallorca alcanzan estos depósitos la cota -200. Es posible que en ellos estén incluidos materiales del Plioceno Superior, pero hacemos notar la constancia de facies y uniformidad general de color, que indica un clima continental bastante constante.

Dejamos a los estudiosos del cuaternario este tema, y ponemos a su disposición los testigos obtenidos. A nuestros efectos sólo apuntamos la posibilidad de una gran transgresión marina, ligado a un período glacial, combinado o no con un proceso de emersión de la isla.

Estos espesores no están en contradicción con otros encontrados en el Mediterráneo e incluso son muy inferiores a los últimamente localizados en Italia.

1.2. Plioceno

Son poco frecuentes en la isla las formaciones pliocenas y muy difícil distinguir en ellas los pisos típicos. Se coincide en atribuir a este período la base de los potentes depósitos continentales de tonalidad rojiza y que, sin discontinuidad aparente, enlazan con los cuaternarios.

En consecuencia, podemos considerar que al menos durante el Plioceno superior existieron unas condiciones climáticas análogas a las del Pleistoceno.

1.3. Mioceno

Durante el Mioceno existieron una serie de regresiones y transgresiones marinas por lo que sus sedimentos, marinos de poco fondo y litorales o continentales, presentan una gran variedad local como veremos en la descripción del Llano de Palma.

1.3.1. Saheliense

No se ha identificado

1.3.2. Vindoboniense

La distinción de este tramo en sus pisos, Sarmatiense, Tortoniense y Helvetiense es difícil, pues las especies fósiles tienen solapes estratigráficos demasiado extensos. En el Llano de Palma haremos una distinción por facies, pero sin base paleontológica firme. En su parte central, predominan calizas, molasas, conglomerados flojos o calizas groseras, margas e incluso arcillas. Es frecuente localizar en estos niveles de gran potencia cinco paquetes, que de arriba abajo son los siguientes:

Nivel marino calcáreo arenoso

Nivel marino margoso, gris-azulado con abundantes fósiles: *Ammusium*, *Dentalium*, *Trochus*, *Conus*, *Turritella*, *Turbo*, etc.

Nivel marino formado por calizas, molasas, areniscas y margas.

Nivel continental constituido por calizas, molasas, areniscas, conglomerados y a veces margas.

Nivel marino de molasas, calizas, areniscas y conglomerados, con heterostiginas, lamelibranquios y gasterópodos.

Existen abundantes cambios de facies e indentaciones laterales de estos niveles, cuya potencia puede superar los 400 m de espesor.

1.3.3. Burdigaliense

Hemos de distinguir en él dos niveles, separados por movimientos tectónicos importantes. El superior es concordante con el Vindoboniense y su facies es marina o continental. El inferior está plegado y discordante con el anterior, sus facies son análogas. En la Cordillera norte predomina el inferior, formado por calizas con ostreas, margas y areniscas con *Clypeaster*, *Pecten*, *Pólipos*, *Amphistegina* y *Lepidocyclina*. En la parte central predominan las margas grises, frecuentemente con yesos y lignitos. Su potencia es elevada, superando los 200 m.

Durante el Burdigaliense se produjeron importantes movimientos tectónicos de los que trataremos en el apartado 2, aparte de una gran transgresión y varias regresiones de menor importancia.

1.3.4. Aquitaniense

Se han registrado en varias localidades de la isla alternancias de pudingas, areniscas, margas y calizas bastas. La identificación del *Rhachochara langesi* así como ciertas lepidociclynas, confirman la calificación de este nivel transgresivo.

1.5. Oligoceno-Eoceno

Sus sedimentos tienen poca potencia y sus afloramientos no son importantes. Están formados por calizas, pudingas y margas con nummulites, miliolas y a veces lignitos. Corresponden a un régimen transgresivo o lagunar. Su datación es variable, ya que según las zonas se ha identificado el Luteciense, Bartonense, Ludiense y Estampiense inferior.

Colom ha demostrado que los potentes espesores de margas con lignitos, que se habían datado anteriormente como miocenos corresponden al Oligoceno. Su diferencia con los sedimentos continentales del Burdi-

galiense inferior ofrece dificultades, lo que explica su datación inicial. Su facies es muy análoga.

Los sedimentos marinos reposan transgresivamente sobre el Cretácico, que falta en sus niveles superiores.

1.6. Cretácico

1.6.1. Turonense-Cenomanense

Han sido citados sedimentos de esta datación formados por calizas margosas con ammonites, menos batiales, *Pervinqueria*, *Oxytropidoceras*, *Inoceramus* y *Globotruncata*. Sin embargo lo general es que el piso más elevado que se encuentra sea el Albense.

1.6.2. Albense-Aptiense

Sedimentos margo-arcillosos, azulados o parduzcos, con coccolites, bastoncillos de rhabdolites, globigerinas, nodosarias y ammonites piritosos.

1.6.3. Barremiense-Neocomiense

Calizas finas blanquecinas a veces margosas, duras, compactas, alternando en ocasiones con margas verdosas, con *Nannoconus*, tintinidos y macrofauna de ammonites. (*Phylloceras*, *Lytoceras*, *Desmoceras*...).

1.7. Jurásico

Domina una facies de geosinclinal cada vez más profundo hasta que se inicia una regresión que se acentúa en el Cretácico.

1.7.1. Titónico

En la base se encuentran calizas margosas muy finas y compactas, duras, con abundantes radiolarios. Siguen niveles más margosos, con radiolarios, coccolitos, fibraesferas y a veces globigerinas. Superiormente se encuentran las falsas brechas, depósitos pelágicos removidos por corrientes submarinas y colores variados (rojo, verde, gris, blanco) con restos de algas y tintinidos (*Calpionella Alpina*). De abajo a arriba se encuentran los ammonites siguientes: *Waagenia*, *Aspidoceras*, *Simoceras*, *Haploceras*, *Perisphintes*, *Barriasella* y *Spiticeras*.

1.7.2. Lusitaniense-Kimmeridgiense

Aún cuando parece que existe la serie jurásica completa, tanto el Lusitaniense como el Kimmeridgiense no han sido identificados claramente. A ellos asimilamos margo-calizas, a veces con sílex.

1.7.3. Dogger

Falsas brechas, menos bastas que las del Titónico, calizas y calizas margosas con cadomites. Al Aaliense-Toarciense se atribuyen margas y calizas margosas con Haploceras, Pleydella, Ludwigia, Hiperlioceras, Lioceras y Haplopleuceras. Las margas son menos amarillentas que las del Neocomiense y sin manchas azuladas; su color es grisáceo con manchas de óxidos ferrosos, por la descomposición de cristales de pirita.

1.7.4. Lias-Toarciense

Calizas con crinoides, braquiópodos y harpoceráticos. Este piso se lo caliza claramente en la cordillera norte.

1.7.5. Lias-Charmutiense

Calizas y margas con braquiopodos y lamelibranquios.

1.7.6. Lias-Sinnemuriense

Dolomías y calizas con algún arietites. Su espesor es del orden de los 300 m.

1.7.7. Infralias

Potente paquete de carniolas

1.8. Triásico

Los paquetes margosos de este terreno han servido frecuentemente como elemento lubricante para los importantes cabalgamientos de la zona. Ello hace sumamente compleja su datación y levantamiento planimétrico, a lo que se une el hecho de existir dos niveles de características litológicas parecidas. El uno en el Keuper y el otro en el Buntsandstein.

1.8.1. Keuper

Margas y yesos de potencia variable y enmascarada por los empujes tectónicos.

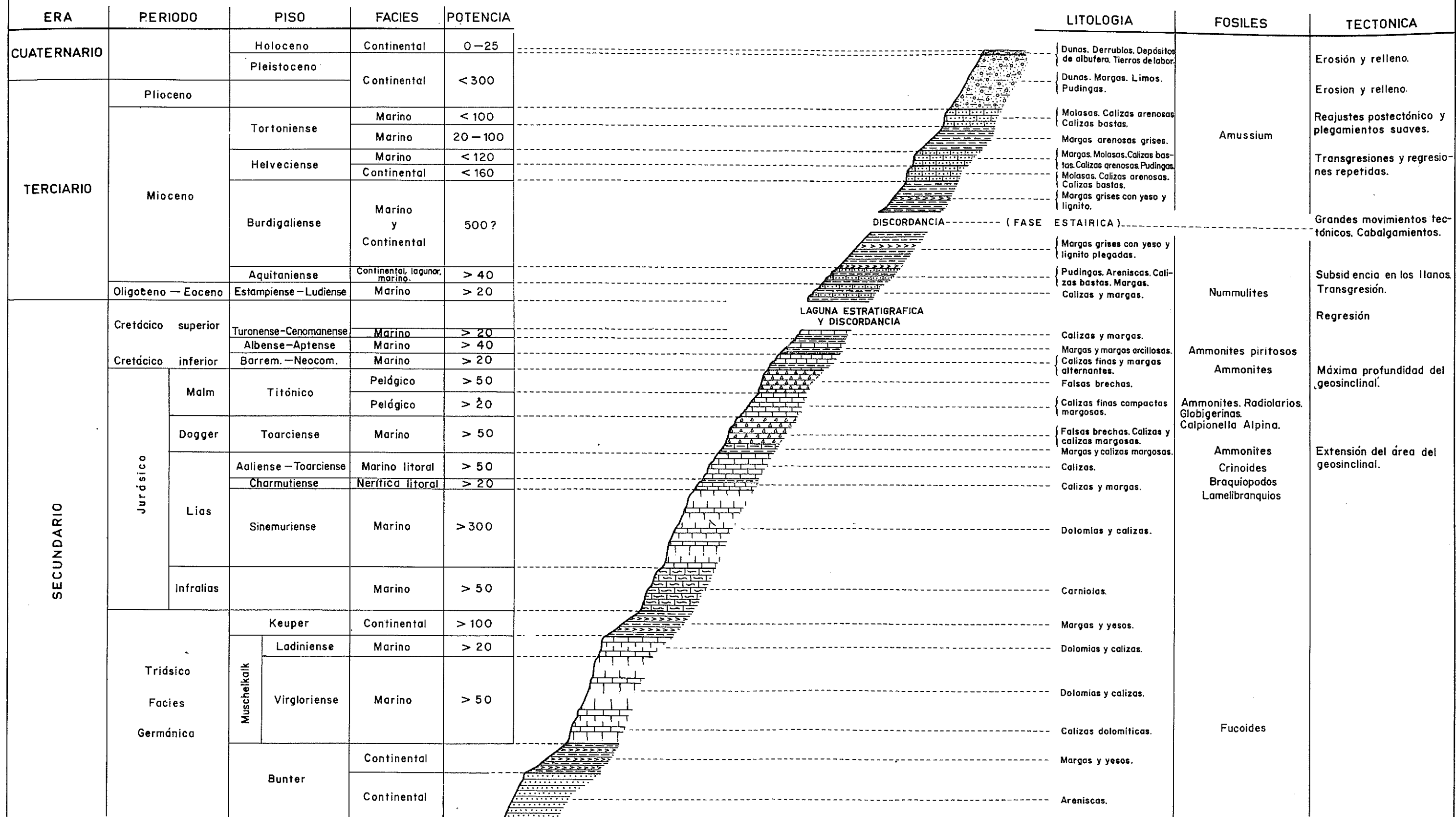
1.8.2. Muschelkalk-Ladiniense

Dolomías y calizas, que apoyan sobre un gran espesor de calizas, con Placunopsis en sus niveles superiores.

1.8.3. Muschelkalk-Virgloriense

Calizas dolomíticas y calizas con fucoides, Mentzelia y Ceratites.

FIG.1
CORTE GEOLOGICO TIPO DE MALLORCA



1.8.4. Buntersandstein

Los niveles superiores son margo-yesosos. Los inferiores están constituidos por areniscas rojizas con algunos restos de plantas.

En la figura 1 presentamos el corte típico de la isla, en la que no se han localizado superficialmente terrenos previos al Bunter, que si aparecen en Menorca.

2. TECTONICA

La isla de Mallorca presenta una gran complicación tectónica, participando de las características béticas. Son muchos los problemas generales aún no aclarados y muchos más los problemas locales pendientes de aclaración.

La Cordillera Septentrional, que ocupa todo el borde noroeste, está formada por tres unidades, que Fallot identificó como escamas o mantos de cabalgamiento imbricados. El más occidental parece ser autóctono, observándose en Estallenchs con areniscas rojas, atribuidas al Werfe-niense en su base y un Jurásico de facies más litoral. Sus sedimentos buzan unos 20°-30° hacia el sureste. La segunda escama o manto de cabalgamiento apoya frecuentemente sobre un sedimento arcillo-yesoso y recubre la unidad anterior, extendiéndose desde cala de Fornells la suroeste hasta la bahía de Pollensa al norte.

En este segundo manto existen anticlinales y sinclinales, cuyos ejes están de acuerdo con la alineación estructural, así como pliegues invertidos, despegues y fallas con igual disposición.

El tercer manto se apoya sobre el segundo. También las arcillas yesosas han favorecido su traslación sobre los materiales que recubre. Superficialmente no presenta la continuidad de la anterior. En el suroeste está representada por Sierra Burguesa. Desaparece junto a Establiments, para reaparecer en Alaró y extenderse hasta el cabo del Pinar, entre las bahías de Pollensa y Alcudia.

Esta tercera unidad se hunde en el llano, o depresión central de la isla, cuyo eje puede definirse por las poblaciones de Palma, Inca y La Puebla.

Esta depresión central está recubierta por materiales cuaternarios y pliocuaternarios en su mayor parte, su anchura media es de unos 5km. La depresión no tiene límites sencillos, si no que presenta irregulares desarrollos laterales motivados por el juego de bloques hundidos y la presencia de accidentes de orientación variada. Bajo el Pliocuaternario existe una disposición de los materiales miocenos, con fallas, pliegues, basculamientos y hundimientos que van progresivamente ate-

nuándose según sean más recientes.

En la zona de Santa María existe un afloramiento de materiales secundarios, con cabalgamiento sobre el Burdigaliense, y su disposición en planta dibuja a modo de un arco con su concavidad mirando hacia Palma. Estas características, descubiertas por Andrés Muntaner, plantean problemas de detalle de gran interés geológico, y que pueden relacionarse con lo que se localiza algo más al este.

La depresión central de la isla, queda limitada hacia levante por la alineación de Lluçmajor, Montuiri, Santa Margarita, zona algo más elevada, que culmina en el pico Randa (543) al sureste de Algaida y donde, junto al Mioceno, (Postburdigaliense inferior) aparecen terrenos secundarios y terciarios. También en esta zona aparecen diferentes mantos y escamas de corrimiento en compleja disposición tectónica.

Con igual orientación aparece una segunda depresión cuyo eje pasa por Campos del Puerto.

Por último existe otra alineación topográficamente más elevada y movida definida por Santanyi y Artá, donde predominan los afloramientos secundarios y que está recubierta por Mioceno al este, que define la costa levantina de la isla. En esta región son frecuentes las escamas y mantos en complejidad estructural comparable a la zona de la sierra.

Los movimientos tectónicos que motivaron la disposición estructural de la isla son Intraburdigalienses, o sea del conjunto clasificado como neog alpino, y más concretamente, la primera fase estaírica, un poco desfasada, ya que se presenta en el Burdigaliense.

Anteriormente han actuado movimientos tectónicos, pero sin la importancia de los burdigalienses, lo que hace difícil su estudio y definición.

Posteriormente se han presentado movimientos correspondientes a la segunda fase estaírica, al final del Mioceno y quizá valáquicos, ya en el Plioceno. A los primeros ligamos las fallas de desgarre con dirección general este-oeste, y los hundimientos y pliegues que afectan incluso al Tortoniense. Los segundos pueden haber originado pliegues sua ves en los materiales miocenos y pliocenos, y reactivado suavemente las fallas previas.

En resumen tenemos unos importantes empujes de dirección sureste-noroeste (Intraburdigalienses) que producen cabalgamientos y determinan la estructura general de la isla. En estos mismos movimientos exis ten componentes normales a la anterior, con influencia local. La serie de fallas y de fracturas que afectan a todos los mantos son posteriores, bien como un proceso rápido de reajuste postectónico o bien de forma lenta y retardada. Durante el Mioceno siguen los procesos de reajustes y subsidencia y otros empujes tectónicos de menor cuantía, que

plegaron suavemente los sedimentos postburdigalienses y originaron importantes fallas en el conjunto.

3. ZONAS HIDROGEOLOGICAS NATURALES

El resultado final es muy complejo, como podremos ver en el capítulo dedicado a la geología del Llano, objeto de este informe. Sin embargo, a efectos hidrogeológicos, no es difícil ver que existen las siguientes unidades.

- 1º. Zona de la sierra norte, que en parte alimentará a la depresión central.
- 2º. Depresión central, con tres subzonas
 - a) Llano de Palma
 - b) Llanura de Inca
 - c) Llano de Alcudia
- 3º. Zona intermedia, que alimentará a las dos depresiones que define.
- 4º. Depresión oriental, con características hidrogeológicas análogas a la depresión central.
- 5º. Zona montañosa levantina que alimentará a la depresión oriental y que, por su proximidad al mar, a él irán gran parte de las aguas infiltradas.

La delimitación de las cuencas hidrogeológicas obliga al estudio concreto de cada una de ellas, ya que debido a la permeabilidad de los materiales, a los mantos de cabalgamientos y a las fallas que los afectan, de hecho serán diferentes a las cuencas topográficas.

V. GEOLOGIA DEL LLANO Y ZONA PROXIMA

1. ESTRATIGRAFIA

En el Mioceno presenta bastantes diferencias de facies respecto a la descripción geológica general de la isla y su fisonomía propia.

En los planos geológicos, cortes geológicos y gráficos de sondeos pueden verse los detalles locales concretos. Su resumen es el siguiente:

1.1. Cuaternario-plioceno

Encierra dificultades la distinción de estas dos épocas geológicas, en las que no merecía concentrar esfuerzos, máxime cuando a efectos hidrogeológicos se deben englobar en una sola unidad. Por ello con el número 1 representamos todos los terrenos que pertenecen al Cuaternario y Plioceno, y con un subíndice distinguimos sus afloramientos superficiales. En conjunto constituyen el nivel 1 de todos los cortes geológicos.

Las formaciones diferenciadas son las siguientes:

1.1.1. Tierra vegetal (T.V.)

Su espesor es menor de 1,5 m y no se ha cartografiado, pues juntamente con el terreno de recubrimiento, prácticamente se encuentra en toda la zona.

1.1.2. Terra rosa (T.R.)

Existe una relativamente importante acumulación junto al sondeo mecánico S-29, cruce de dos fallas. Es frecuente localizarla en casi todos los terrenos permeables, pero con pequeño espesor y extensión.

1.1.3. Depósitos de somonte o piedemonte (14)

Se han dibujado en el plano geológico algunos de los existentes. Son conos de deyección de torrentes y están formados por cantos heterométricos de naturaleza ligada a las rocas aguas arriba. Su espesor no es muy grande.

1.1.4. Dunas costeras actuales

Se presentan principalmente en la playa de El Arenal. Tienen poca altura y están en proceso de consolidación o sueltas. Sus granos son más bastos y su tonalidad general más oscura. La anchura máxima del afloramiento es de unos 600 m y su espesor pequeño.

1.1.5. Dunas (16 y 17)

Son principalmente dunas eólicas de pequeño espesor y muy mezcladas con el Cuaternario. En el mismo grupo hay que incluir el subnivel 18.

1.1.6. Gran duna (19)

Puede alcanzar y superar los 20 m de espesor, como manifiesta el sondeo S-16".

1.1.7. Formaciones marinas

Siguiendo a Muntaner y otros autores, consideramos dos terrazas: la Tirreniense II, con altura de 2-4 m y la Tirreniense I con altura de unos 25 m.

1.1.8. Formaciones recientes de facies costero lagunar (15)

Ocupan una amplia zona en la que se asienta el aeropuerto de Son San Juan. Su espesor es considerable, pues en el sondeo S-9 existen 72 m; en el sondeo S-14, 10 m; en el C-16, 40 m y en el C-21, 22 m. Ello plantea un problema de evolución geográfica que posteriormente trataremos.

1.1.9. Acarreos recientes

Aunque no los hemos representado en el plano geológico, existen en pequeños espesores ligados a los torrentes actuales. Sin embargo, dado el régimen hidráulico de la isla durante el Cuaternario sus extensiones son igualmente pequeñas y, normalmente, están ocultos por sedimentos recientes más finos. Los hemos localizado con los espesores que indicamos en los siguientes sondeos: S-1, 1,5 m; S-15, 15 m ligados al torrente de la Riera, junto a Establiments y S-26, 2 m.

1.1.10. Plio-cuaternario (1)

Los sondeos realizados, en especial el S-24, han descubierto un potente espesor de depósitos rojizos, formados por limos y arenas finas, con cantos rodados y bolos y, accidentalmente, niveles areniscosos y conglomerados duros y flojos de poco espesor igualmente rojizos. A. Muntaner en 1954 y 1957 aportó datos de su espesor, entonces determinado en 100-120 m. Su potencia que alcanza y posiblemente supera los 300 m en las proximidades del sondeo S-24 es muy elevada para atribuírsela al Pleistoceno. Bien es verdad que depósitos recientes análogos y con más de 150 m de espesor los hemos encontrado en Sagunto y Velez-Málaga. También se conocen terrazas marinas a más de 100 m de profundidad en el Mediterráneo y se admite que el nivel del mar durante el mismo período pudo descender más de 300 m. No entramos en los problemas que plantea este considerable espesor, pues a efectos hidrogeológicos constituyen una unidad que hemos distinguido en todos los cortes con el número 1, o nivel 1.

1.2. Plioceno (1₁₁)

Independientemente de los posibles depósitos pliocenos englobados en el nivel anterior, al menos en su base y correspondientes a un Plioceno superior, existen otros de características litológicas más variadas: conglomerados, margas y margas detríticas de colores rojo, gris y amarillento, que Colom y Escandell han atribuido al Plioceno por la presencia de *Cyprideis torosa* (Jones). A ellos asimilamos los depósitos al oeste de Palma, que buzan suavemente hacia Levante. Su espesor puede ser de unos 40-50 m. Estos depósitos de tipo lacustre pueden corresponder a los localizados en el sondeo S-16", aunque en estos últimos deben estar englobados parte de los depósitos costero lagunares de Pleistoceno.

1.3. Mioceno

Esta claro que existe un Burdigaliense plegado, otro más reciente no plegado y un Vindoboniense (Helveciense-Tortonense), pero es difícil dis-

tinguir en el conjunto sus límites precisos. Basta examinar detenidamente las Hojas del Mapa Geológico Nacional, a escala 1/50.000, publicadas por el Instituto Geológico y Minero de España y realizadas por Colom y Escandell. Por ello es aquí donde hemos encontrado las mayores dificultades tanto en la clasificación de los testigos como en la interpretación de los perfiles geofísicos. Ha supuesto ello muchas horas de trabajo y de amigable discusión con D. Andrés Muntaner (una vez más subrayamos su labor) el llegar a la simplificación que presentamos y que de arriba hacia abajo es la siguiente:

1.3.1. Tortoniense superior (Marino). (Nivel 2)

Está constituido fundamentalmente por molasas blancas o amarillentas. En su techo hemos encontrado frecuentemente un nivel de tipo duna, después un nivel de lumaquela en los tres primeros metros en el sondeo S-7; en el S-13, a los 5 m de profundidad; en el S-16" entre los 90 y 100 m; y en el S-25 de 4 a 6 m, siempre contada la profundidad a partir de su techo. También se han encontrado moldes de fósiles marinos a las profundidades indicadas en los gráficos de los sondeos S-14, S-16" y S-18. Engloba este nivel zonas calcáreas arenosas y margas arenosas. Frecuentemente se localiza un paquete de transición al siguiente nivel, constituido por margas amarillo-grisáceas, o molasa de igual color, lo que indica una continuidad en su deposición.

El corte de este nivel en los sondeos S-16" y S-18 es el siguiente:

S-16"	S-18
3 m Molasa blanda amarillenta	20 m Molasa fina blanca tipo duna
67 m Molasa dura blanquecina	5 m Molasa y conglomerados
8 m Molasa blanda arenosa	25 m Molasa dura y muy dura blanca
22 m Molasa calcárea dura amarillenta con entrelechos de lumaquelas	6 m Molasa gris clara con ostreas
11 m Marga gris parda. Al final intercalaciones de blanca y gris	5 m Molasa fina gris clara
	23 m Molasa gris oscura muy fisurada
Total 111 m .	Total 84 m

La potencia total de este nivel es superior a los 120 m, pues la erosión durante el Plioceno y Cuaternario habrá rebajado bastante la ori-

ginal y será por consiguiente superior a los 111 m localizados en uno de nuestros sondeos.

En resumen, las características más notables de este nivel son: el color blanco amarillento de sus materiales, su abundancia de molasa permeable, la existencia de una zona superior de tipo dunar y el nivel de transición al paquete 3.

1.3.2. Tortoniense inferior (Marino más profundo) (Nivel 3)

Tiene gran importancia a efectos hidrogeológicos y explica el proceso histórico de perforación de los pozos en el Llano de Palma. Cuando se localiza el nivel anterior (2) siempre existe en su base el 3. A veces la erosión ha dejado al descubierto bajo el Pliocuaternario este nivel, por haber desaparecido el 2. El color predominante es el gris, con tonalidad que gira entre el verde y el azul y está formado por margas más o menos arenosas. Solamente en el sondeo S-17 se han localizado en su interior 9 m de molasas grises duras. Con frecuencia en su base aparecen gravas entre las margas; su color en ocasiones amarillea y otras se aclara hasta tomar el aspecto de margas pulverulentas blancas. Los fósiles más característicos y frecuentes son el Ammusium subpleuronectes (D'Orbigny) y el Ammusium cristatum ssp badenses (Fontanes), que con machacona insistencia hemos encontrado en los sondeos.

Como cortes característicos tenemos:

S- 7: 90 m de margas gris azuladas con Ammusium

S-13: 65 m de margas grises con Ammusium

S-18: más de 132 m de margas grises azuladas con Ammusium

S-22: 9 m de margas grises algo verdosas

6 m de margas grises algo verdosas con intercalaciones molásticas

22 m margas grises arenosas muy compactas

55 m margas grises azuladas con Ammusium

28 m margas grises duras y finas con zonas de fricción

6 m margas grises algo verdosas

Total 126 m

Su potencia máxima es de 132 m. Sin embargo, en el sondeo S-33 sólo tiene 18 m pese a estar protegido su techo por la presencia del nivel 2.

1.3.3. Helveciense Superior (4) (Continental y Marino)

Cuando es marino presenta calizas grises coquerosas, a veces rellenas de materiales negruzcos, calizas arenosas claras, molasas blancas y grises y margas arenosas.

Cuando es continental presenta arcillas, margas y limos con cantos rodados y colores grises, rojos, castaños y amarillos, lo que dificulta su distinción del nivel 1. El espesor máximo localizado ha sido 102 m y el mínimo cero.

Es marino en el S-3, S-6, S-28, S-33, los primeros 47 m del S-4, 58 del S-5, 40 del S-19 y 6 del S-20. Es continental los últimos 55 del S-4, 3 del S-5, 28 del S-19, 10 del S-20. Es continental en todo el sondeo S-22. Pudiera haberse incluido su zona marina superior en el nivel anterior (3), pero las características litológicas e hidrológicas son tan diferentes, que hemos preferido agruparlo de la forma indicada.

1.3.4. Helveciense Inferior (Marino) (Nivel 5)

Es parecido al nivel 2, con el que puede confundirse. Si el nivel 4 es marino, su distinción tampoco es fácil. El espesor máximo localizado ha sido de 200 m. El espesor mínimo es cero.

Los materiales predominantes son: calizas y molasas con margas y a veces calizas margosas blancas pulverulentas. El fósil más característico es la *Heterostigina complanata* Menekini.

El corte en el sondeo S-20 es el siguiente:

- 16 m Molasas blandas
- 5 m Molasas blandas fosilíferas
- 14 m Caliza blanquecina fisurada
- 1 m Marga calcárea arenosa amarilla
- 24 m Molasas finas blandas y duras blancas
- 8 m Molasas blancas con lechos de corales
- 12 m Marga blanda arenosa blanquecina
- 6 m Molasa blanca con *Heterostigina*
- 6 m Molasa blanca y amarilla. Fauna marina. Al final con cantos rodados y restos carbonosos.

- 29 m Molasa gris y amarilla con dos niveles de Heterostigina y en la base Cardium
- 30 m Molasa blanca dura y blanda
- 6 m Molasa gris con Heterostigina
- 8 m Molasa gris con fucoides o tubos y ostreas
- 7 m Molasa gris con Heterostigina
- 9 m Molasa gris clara dura
- 2 m Molasa brechoide
- 7 m Molasa fina gris con moldes de gasterópodos

Total 190 m

1.3.5. Burdigaliense (Nivel 6)

En la zona del Llano de Palma hemos localizado un Burdigaliense marino constituido principalmente por margas grises, que, en ocasiones, incluyen calizas en pequeños estratos. Existen igualmente intercalaciones variadas en este conjunto formadas por margas blanquecinas, con capitas de sílex, margas gris-amarillentas, gris-pardas, zonas brechoides y conglomeráticas y niveles molásicos. Su tonalidad general es gris y el máximo espesor perforado ha sido de 125 m en el sondeo S-25. Suelen aparecer como fósiles, cerithium, cardium y gasterópodos en moldes. Debajo existe el Burdigaliense continental formado por margas grises con yeso y restos de lignitos, cuya potencia desconocemos, aunque al menos tiene 97 m que hemos perforado.

Sus cortes más característicos son:

S- 1: 40 m de calizas arenosas, conglomerados, margas, conglomerados brechoides. Colores amarillentos. Superficies de fricción. (Marino de borde).

57 m Calizas arenosas, conglomerados y margas amarillo-marrón. Calizas muy fisuradas y rotas. (Marino).

S- 5: 23 m Margas, calizas, areniscas y conglomerados. (Marino).

78 m Margas grises con algunos restos de lignitos arriba y yesos debajo. (Lacustre).

10 m Conglomerados con restos de rocas volcánicas. (Lacustre).

S-16": 8 m Margas blanquecinas y grisáceas

5 m Margas grises que pasan a café con leche

13 m Margas finas blanquecinas, al final con gravas

38 m Yeso

10 m Margas gris oscuras y claras

6 m Yeso

S-30: 20 m Caliza gris brechoide

30 m Caliza gris compacta y brechoide

5 m Arenisca con elementos de rocas eruptivas

7 m Margas, calizas y margas con gravas

97 m Margas grises con vetas de yeso buzando 45°
(Burdí. Inf.)

1.4. Oligoceno (7)

Aparte de los niveles margosos grises con lignitos, que con gran potencia se han localizado en la zona central de la depresión Palma-Inca-La Puebla, de difícil distinción respecto del Burdigaliense lacustre salvo en la potencia de las capas de lignito, y que creemos no hemos perforado con nuestros sondeos, se ha localizado, principalmente al oeste de Palma, tres conjuntos litológicos formados por pudingas, calizas y margas y areniscas. En ellos se encuentran nummulites y es posible estén representados todos los pisos e incluso parte del Eoceno. Se encuentra en Son Muntaner, Sa Teleura, Son Sigala y al norte de Son Anglada. Aquí afloran bajo la punta noreste de la escama de Na Burguesa y también al suroeste de Establiments.

En general se encuentra bastante triturado y plegado, indicando que posiblemente sobre él han pasado escamas hoy erosionadas y desaparecidas. En Son Muntaner existen pequeños afloramientos, que parecen se han desprendido de la unidad principal, deslizando hacia el noreste sobre las arcillas del Albense y margas rojizas oligocenas.

Este nivel, señalado en nuestros planos geológicos con el número 7 tie-

ne poco interés hidrogeológico regional.

1.5. Cretácico (8)

No ofrece variación importante respecto al señalado en el corte general geológico válido para la isla.

En la zona estudiada se ha localizado en Son Vida y en la parte próxima a Marratxí. En Son Muntaner están explotadas las arcillas del Albense para cerámicas y fábricas de ladrillo y tejas.

1.6. Jurásico (9)

Tampoco ofrece variaciones importantes respecto al descrito para toda la isla. Sin embargo, no se ha localizado con toda claridad sus pisos. Con excepción del Titónico, que se señala en el plano geológico, ha sido englobado en el paquete o nivel 9, donde fundamentalmente se localizan calizas en estrecha relación con los niveles dolomíticos y las calizas y dolomías triásicas. Al no existir un conjunto margoso que hidrogeológicamente independice de forma continua estos niveles permeables de los de igual característica triásicos, no hemos forzado su levantamiento geológico y en muchas zonas, aparecen con los indicativos 9 y 10, que claramente señalan ha de considerárseles como un único nivel litológico.

1.7. Triásico (10)

Ya hemos indicado que las calizas y dolomías del Trias se presentan en muchas zonas íntimamente ligadas a niveles análogos del Jurásico.

El Bunter no se ha observado en la zona de estudio. La facies Keuper, que reviste gran importancia hidrogeológica, nivel 11, se ha localizado en la zona de Esporlas, ocupando la base de las sierras d'Es Ram, Mola de Sarriá, Son Bauzá, Mola de Bauzá, y la sierra al norte de Esporlas. Su buzamiento es anárquico, aunque a veces parece manifestar una tendencia a la verticalidad, más ligada a fenómenos de diapirismo o extrusión por esfuerzos tectónicos que a estratificación. En el sondeo S-21, aparece inyectado en las margas Burdigalienses. También se encuentra en la superficie en la escama de Calamayola, al suroeste, de Sta. María y en el valle del torrente de Buñola. Especial mención merece la banda tectonizada de gran extensión, con dirección nornoroeste, que arranca a unos 1.000 al noroeste de Son Serra y alcanza hasta casi Esporlas. Inicialmente sólo se encuentra yeso blanco inyectado (en otro tiempo explotado en minas hoy abandonadas), después aparece claramente en superficie ocupando el valle que define. En esta zona se han localizado rocas ofíticas.

CORTE GEOLOGICO ESQUEMATICO TIPO DE LA ZONA DEL LLANO DE PALMA

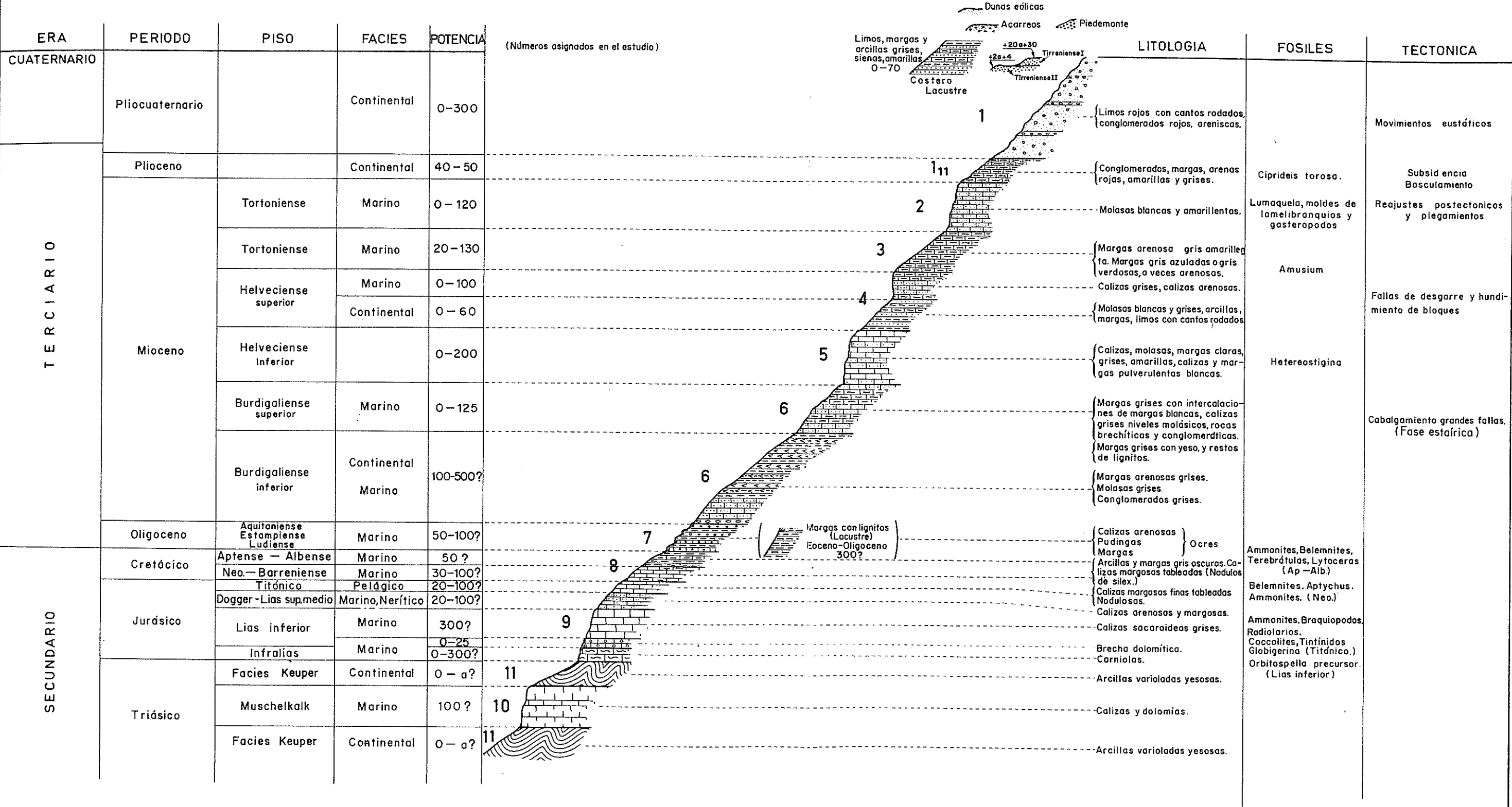


FIGURA 2
ESTUDIO HIDROGEOLOGICO
DEL LLANO DE PALMA
(BALEARES)

2. TECTONICA

En la zona próxima al Llano de Palma encontramos la tercera escama de Fallot, constituida por la Sierra de Na Burguesa que cabalga sobre terrenos secundarios y terciarios. Su límite a poniente y norte está constituido por los torrentes de Boronat y de la Riera, que aprovecha la carretera de Establiments a Calviá. Antes de alcanzar Establiments la escama se acuña y gira hacia Levante. Las fallas de Son Sarda y Establiments limitan en superficie la escama. A ella hemos de asociar igualmente las calizas jurásicas y triásicas que han sido localizadas en el sondeo S-2. En sus flancos aparecen terrenos secundarios y terciarios. Parece que a ella hemos de adjudicar una serie de retazos y escamas jurásicas y triásicas, que han quedado retrasadas y aisladas en la zona de Génova - Son Sarriá, cuya cartografía es compleja y que se representa en el plano 4.

Los materiales de la escama son predominantemente calizos y dolomíticos del Trias calcáreo y Jurásico inferior y han pasado sobre los materiales del Cretácico y Terciario. Hacia el norte esta escama se extiende y ramifica, y a ella pertenecen las sierras calcáreas al nordeste de Esporlas y próximas a la carretera de Soller (Mola, Son Patx, Boxeras, Cerro, Aversó, Calvario). En la depresión al noroeste de Establiments aflora el Oligoceno y en su borde occidental el Trias yesoso, que se extiende por los valles hasta Esporlas. En la depresión de S'Esglata aflora el Trias yesoso, Oligoceno y un retazo de escama triásica. Esta última depresión está ligada a la falla de Esporlas, que hemos representado. El Manantial de Font de la Vila aprovecha caudales infiltrados de la escama; su cuenca de alimentación incluirá áreas situadas al norte de la carretera a Esporlas, que más adelante definiremos. El pequeño manantial de Font de Na Pera está igualmente ligado a la falla de Esporlas, que tiene por tanto, importancia hidrológica. También es clave la banda tectonizada que, con dirección noroeste, cruza la escama de la sierra de Na Burguesa, desde el cementerio de Son Serra hasta Esporlas. La presencia de yeso inyectado de forma continua y su anchura hace que constituya un muro impermeable. Aparte de estas fallas la escama está cruzada por otras muchas, entre las que destaca la de Son Rapiña. Vemos, pues, que hemos de pensar en una fracturación y desgarramiento posterior al cabalgamiento complejo, que la puso in situ.

Complicación análoga presenta la zona de Esporlas con la presencia del Trias yesoso y ventanas tectónicas, en las que afloran el Burdigaliense y el Oligoceno.

Aunque no hemos encontrado argumentos definitivos, creemos en la existencia de una importante falla, que, con dirección norte-sur, pasa por el collado de Soller y bajo la ciudad de Palma, su existencia explicaría con cierta lógica el profundo cañón y valle relleno de material

Pliocuaternario. Al noreste de esta falla vuelven a dibujarse claramente las alineaciones de las escamas que forman la Sierra Norte. Sin embargo, no la hemos dibujado al no comprobar directamente su presencia en la zona del Llano.

Restos de una escama arqueada y rota los encontramos en los afloramientos de terrenos secundarios al suroeste de Sta. María. Su existencia fue notada por primera vez por Muntaner.

Su cartografía nos hace pensar que la falla de Esporlas determina dos zonas: la norte se ha desplazado hacia el oeste en relación con la zona situada al sur. Este accidente ha sido localizado en los perfiles geológicos y su influencia es clara en el sondeo S-21.

Otras fallas que afectan al Secundario son: la de Son Rapiña, que produce un adelantamiento hacia el este de los materiales jurásicos respecto a la zona situada al sur; la de Establiments, que limita al extremo noroeste de la escama de Na Burguesa y que debe continuar hasta Esporlas.

En el Llano de Palma el problema es igualmente complejo. Todo el Terciario está afectado por múltiples fallas. Hemos dibujado la posición de las determinadas con los sondeos, que comentaremos al considerar los planos topográficos de los distintos niveles litológicos y geológicos. En resumen, resulta una serie de pliegues suaves y bloques con desplazamientos laterales, basculamientos y hundimientos, cuyas influencias son notorias en todo el Burdigaliense, incluso el post-tectónico. Afectan a todo el Mioceno con menor intensidad según vamos ascendiendo, e incluso el Plioceno, que se presenta basculado hacia la depresión, como ya ha sido notado por otros autores. No hacemos el estudio histórico-tectónico, que nos alejaría de los fines propios de este informe, puesto que lo que nos interesa es el estado y distribución actual de los materiales. Por esta misma razón hemos suprimido en el plano geológico todas las fracturas meticulosamente cartografiadas por el geólogo García Acedo, reduciéndonos a dibujar las de importancia hidrogeológica deducidas o comprobadas con los sondeos.

3. CORTES GEOLOGICOS DEL LLANO

En el plano 5 indicamos la situación de los perfiles geológicos realizados y en los planos 52 y siguientes presentamos los cortes. Estos constituyen una red un poco compleja. Los paralelos a la costa se designan por P-IV, P-I, P-II, P-V y P-III, ordenados de norte a sur y correspondiendo su orden numérico al de ejecución. Los transversales

a los anteriores por T-I, T-II, etc, enumerados de oeste a este. Estos perfiles son cortes ideales, pues, como puede verse en el plano 2, los sondeos eléctricos y sondeos mecánicos no siempre están alineados, ni ha sido posible completar los perfiles por razones de poblados, carreteras o instalaciones en la que no era factible trabajar.

En los perfiles se ha recogido toda la información disponible. Se mantienen las clasificaciones de los sondeos realizados, que se representan de forma simplificada en situación real o proyectada. Se incluye la situación de los sondeos eléctricos o su proyección y se indican los contactos entre terrenos resistivamente diferentes y sus resistividades. Se dibujan con mayor realce los límites entre los niveles geológicos-litológicos, que hemos señalado en el plano geológico. Las fallas con sus nombres y los accidentes superficiales. Por último, hemos distinguido los límites entre niveles diferentes, cuando su situación es solamente probable y cuando es supuesta.

La interpretación geofísica ha presentado muy serias dificultades, no sólo por la serie de capas del subsuelo a diferenciar, sino por su cambio de facies, fallas, muchas de las cuales no han podido determinarse con exactitud, desaparición de niveles y presencia de agua salada, en especial en el perfil P-3 y en la zona de Son San Juan y Sant Jordi. El hecho del avance de la salinización de forma notable durante la ejecución del trabajo se nota en las resistividades de los perfiles próximos, siempre que ha transcurrido más de un año entre su ejecución, lo que se ha producido dos veces en la prospección geofísica, que esperaba los resultados de sondeos de aforo y acudían a enlazar sondeos cuya correlación no era posible.

Los perfiles geológicos se hicieron inicialmente a escala 1/10.000 en horizontal y 1/1.000 en vertical. Sin embargo, el realce deformaba demasiado el corte geológico, por lo que se decidió presentarlo en la escala 1/10.000 en horizontal y 1/5.000 en vertical. Con ello hemos perdido precisión y, sobre todo, nos hemos visto obligados a prescindir de los contactos superficiales que en el Cuaternario hubiesen permitido abordar la distinción de los diferentes materiales próximos a la superficie. No obstante, este trabajo puede hacerse posteriormente a base de las curvas de resistividades aparentes utilizadas para la interpretación de los sondeos geofísicos. Como es lógico, los límites de terrenos son sólo probables en las zonas donde no existensondeos mecánicos ni geofísicos o donde sólo hay geofísicos, pero superan las profundidades en las que se indican las resistividades obtenidas. Ahora bien, el haber teniendo en cuenta los datos de sondeos particulares y sobre todo el refluo durante la construcción de los planos topográficos de los diferentes niveles, hacen que los límites no sean mera hipótesis, sino que existen elementos suficiente para pen

sar que la situación marcada es muy probable.

4. PLANOS TOPOGRAFICOS

4.1. Plano topográfico de fondo del Pliocuaternario

Hemos englobado en este nivel todos los depósitos cuaternarios recientes y los materiales atribuidos por algunos autores al Villafranchense y Pleistoceno. También hemos incluido el Plioceno localizado al oeste de Palma. Repetimos que para nosotros gran parte de este nivel 1 corresponde al Pleistoceno.

En el plano 6 presentamos la topografía del fondo del Cuaternario, que alcanza la cota - 200. Existe un cañón labrado o profundo valle alineado con la falla no comprobada de Soller y que desemboca bajo la ciudad de Palma. No hemos localizado con sondeos mecánicos, ni alcanzado a distinguir con geofísica la parte más profunda de este valle, que, creemos, es continuo, ya que en la zona de los sondeos S - 21, S - 24 y S - 31, ni en el resto hemos encontrado materiales de tipo lacustre. Pudiéramos haber confundido en esta zona el nivel 1 con el nivel 4 continental, pero lo creemos muy improbable, ya que sus materiales son confundibles cuando se dispone de poca longitud de testigo, pero no lo son el caso contrario, como puede verse en la descripción que damos de estos niveles, en los propios cortes geológicos o en los gráficos de los sondeos.

Junto a Sant Jordi existe una depresión, con depósitos costeros lagunares identificados en algunos sondeos.

Es interesante observar en el plano 6, la influencia de las fallas de Esporlas (parece transcurrir más al norte), la de Son Sardina, Virgen de Montserrat, Sant Jordi, San Juan I y II y Son Ferriol. Aunque hemos tenido en cuenta su existencia, deducida después de estudiar y combinar todos los elementos disponibles, no hemos variado ni forzado las curvas topográficas obtenidas para el fondo del Pliocuaternario.

En la zona de Santa María no incluimos las curvas topográficas, ya que el Pliocuaternario tiene poco espesor, al menos a lo largo del corte geológico P - 4.

4.2. Plano topográfico del nivel 2 (Tortonense superior)

En el plano 7 presentamos las curvas topográficas del techo de este nivel, que coinciden con el fondo del Pliocuaternario. Su espesor puede determinarse comparándole con el techo del nivel 3 (plano 8).

Las fallas Virgen de Montserrat, Son Sardina, Sant Jordi, Son Ferrer, San Juan y Amatller acusan claramente su existencia, al delimitar zonas donde ha desaparecido el nivel 2 por erosión durante el Plioceno y Cuaternario.

El cauce enterrado de Soller ha dejado aisladas al oeste, dos zonas del nivel 2. La más pequeña corresponde a un cerro testigo, de los que deben existir bastantes en el Llano de Palma.

En la depresión de Sant Jordi ha desaparecido este paquete por erosión.

No es posible concluir que existan pliegues en este nivel, ya que la erosión puede motivar la topografía resultante, pero si puede afirmarse que han existido movimientos de reajustes locales e incluso importantes en las fallas dibujadas, como se observa en el corte P-I (fallas de Xorrigo).

4.3. Plano topográfico del nivel 3 (Tortonense inferior)

Se acusan en este paquete, cuyo techo se representa en el plano 8 una serie de pliegues en forma de braquianticlinal y sinclinal, e igualmente la influencia de las fallas de Son Sardina, Virgen de Montserrat, San Juan I y II, Santa María, Sant Jordi, Amatller, Burrel, Casablanca, Establiments y Génova II. Acusa igualmente la erosión del cauce enterrado de Soller, que intenta independizar dos zonas de este nivel sin conseguirlo por la potencia que presenta en esa zona, sin embargo, al corresponder a una zona muy estrecha con profundidades superiores a los 200 m no tenemos elementos suficientes para garantizar que no hayan conseguido erosionarlo en algún punto, además del área representada. Este nivel también ha sido erosionado y falta en la depresión de Sant Jordi.

4.4. Plano topográfico del nivel 4 (Helveciense superior)

No distinguimos si es continental o marino. Su techo se presenta en el plano 9. Es interesante observar que desaparece al sur de la falla de Virgen de Montserrat. Acusa igualmente la influencia de fallas Burrel, Son Ferriol, Son Rapiña, Génova I y II y Son Sardinia. Hacia el norte desaparece por erosión.

Al sur de la zona donde ha localizado y cuyos límites se indican, aparecen dos cerros testigos cuya existencia se ha deducido de los sondeos mecánicos efectuados. Su forma es sólo indicativa y pudiera suceder que se unieran con la zona principal mediante un enlace más o menos irregular, que dibujase a modo de una península. Tomamos sin embargo la primera hipótesis pues es menos alarmista. Insistimos en el hecho de que, en la zona donde se considera ha desaparecido, pudieran existir otros retazos de muy difícil localización.

Depósitos continentales de este nivel 4 se han observado en casi todos los sondeos que lo han atravesado. El máximo espesor corresponde al cerro testigo situado bajo el C - 9, con más de 110 m; 70 m existen en el sondeo S - 19, donde no se encuentran niveles marinos y 55 m en el S - 4. Con excepción del C - 9 y S - 19 en todos aparece el nivel marino, que en el S-3 y S - 6 es el único localizado.

Todo esto muestra una serie de levantamientos y hundimientos previos y posteriores a la deposición de los materiales de este nivel, que no hemos estudiado pero cuyo resultado probablemente nos haría ver una zona hundida y alargada con dirección norte-sur, en la que se depositaron los sedimentos continentales y que estaría centrada en los sondeos C-9, S-19 y C-4.

Recordamos que existen elementos para admitir una continuidad en la transgresión marina, que comienza en este nivel y culmina en el Tortoniense inferior.

4.5. Plano topográfico del nivel 5 (Helveciense inferior)

Su techo se presenta en el plano 10. Desborda en extensión al

nivel anterior, tanto hacia el norte como hacia el sur. Acusa con mayor claridad el juego de los bloques y fallas así como plegamientos en su nivel. También se ha localizado en los cerros testigos que acusaba el nivel 4. Su límite sur coincide prácticamente con el del nivel anterior, ajustándose en su parte oriental a la falla de Son Sardina.

4.6. Plano topográfico del techo del nivel 6 (Burdigaliense)

Como es lógico, es el que presenta con mayor claridad la influencia de las fallas (plano 11) y en el que mejor pueden observarse el juego de los diferentes bloques.

El Helveciense fosilizó la topografía resultante del plegamiento principal y reajustes posttectónicos, que prosiguieron, como hemos visto, durante todo el Mioceno, pero suavizándose paulatinamente sus efectos.

En este nivel no hemos distinguido las facies lacustres y marinas. Hacemos notar que, dada la profundidad a la que se presenta, en gran parte del área estudiada su situación es aproximada.

En la zona occidental de la depresión hemos encontrado facies de borde y marino-costeras, que se extienden mucho hacia el este en la parte norte. En el resto, los espesores encontrados para la facies marina no son muy grandes, y menos importantes que los de facies lacustre.

4.7. Plano geológico del fondo del Pliocuaternalio

En el plano 12 presentamos la geología del fondo del Plioceno y Cuaternario, que debe enlazarse con el plano 3, para tener una visión de la geología local, base del estudio hidrológico objeto de este informe. Se ha construido teniendo en cuenta los datos de los piezómetros, sondeos mecánicos y geofísicos, sondeos particulares y geología de superficie. Su confección se ha hecho simultáneamente a los anteriores y de ellos

se deduce. Las fallas indicadas son las localizadas en los cortes geológicos y que podían situarse, bien porque afectaban a más de uno de ellos o bien porque tenían relación con accidentes superficiales comprobados. No consta la falla de Soller, que creemos existe, ni otras muchas indeterminables con los trabajos realizados. Por ejemplo, en el corte T-V se localiza una falla entre los sondeos S-5 y S-30, que no hemos dibujado y que pudiera transcurrir con dirección ESE hasta alcanzar la de Amatller I. Existen, por tanto, más fallas y fracturas de las representadas, que, en conjunto, determinan en el Terciario una estructura compleja de bloques. Un buen ejemplo nos lo ofrecen el plano de isorresistividades aparentes (figura 3) realizado sobre el sondeo S-7 donde, además de la falla de Santa María, la que menos efectos acusa, están la de Virgen de Montserrat y otras, que no hemos representado en el plano 12. Hemos preferido, repetimos, poner solo aquello que está comprobado o que existen suficientes indicios para atribuir su presencia, no sólo respecto a las fallas, sino respecto a todos los límites de los terrenos dibujados.

Se observa que, existe una caída de todos los niveles hacia al sur, estando levantados los terrenos al norte de la falla de Son Sardina, donde por erosión desaparecen sucesivamente los niveles superiores. El cauce enterrado de Soller pone en contacto el Cuaternario con los niveles 4 y 5 que penetran en cuña por el sur y son retranqueados por el norte. El nivel 2 se independiza en dos conjuntos por este mismo valle. En el oriental existen dos ventanas erosivas por las que asoman el nivel 3, en la primera y el 3 y el 6 en la de Sant Jordi. El Cuaternario, por consiguiente, está en contacto directo con todos los niveles terciarios y secundarios descritos.

Los niveles permeables 4 y 5 están en contacto directo con los materiales permeables del Jurásico y Triásico calcáreo en una pequeña zona próxima a Establiments, donde la ausencia de paquetes intermedios señala el hundimiento de bloques posteriormente a su deposición. Igual conclusión se obtiene del espigón (nivel 5) definido por las fallas de Génova.

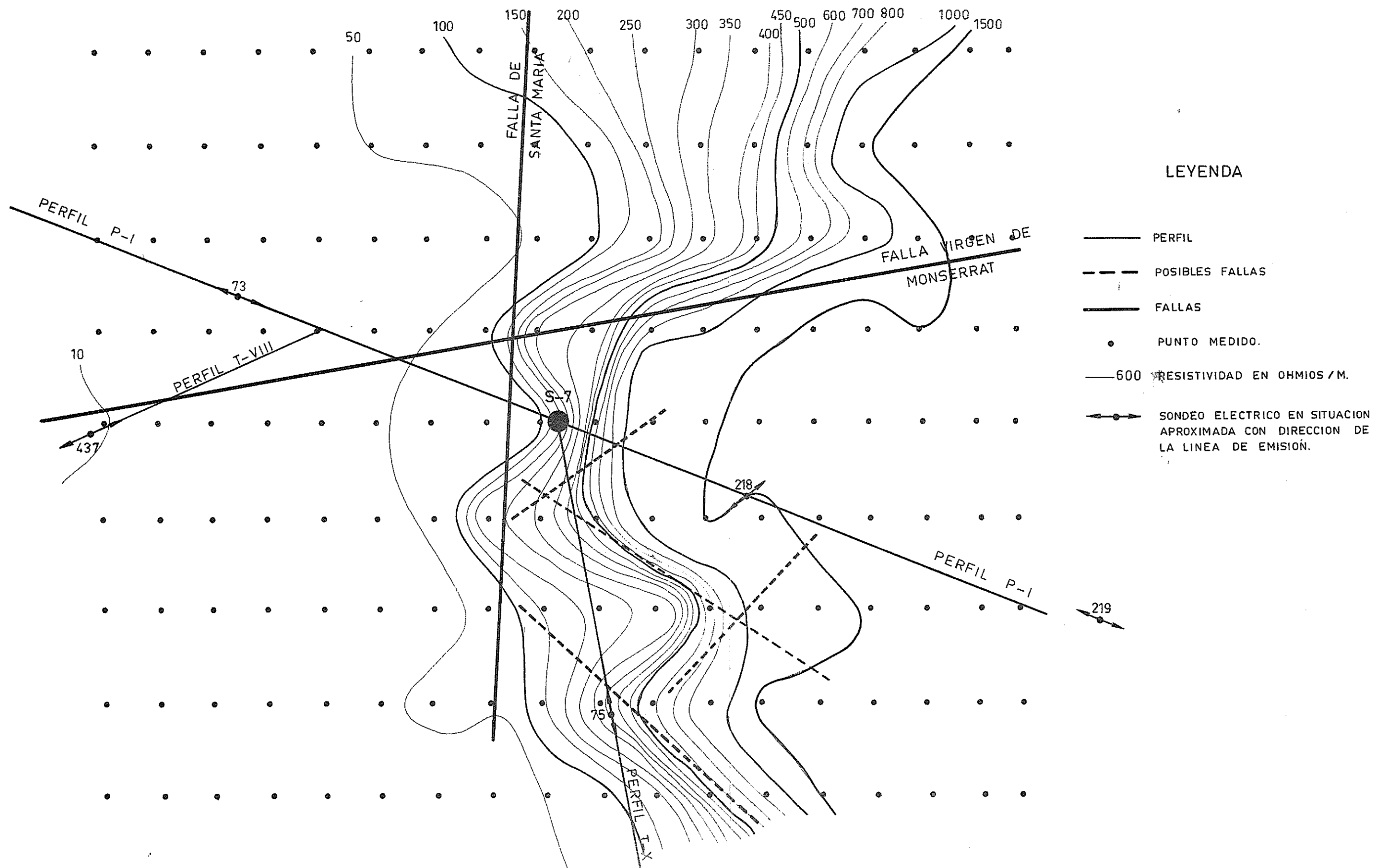
Este plano es clave para explicar la circulación y recarga del agua subterránea sobreexplotada en el Llano de Palma.

La depresión de Sant Jordi con sus depósitos lagunares queda explicada con la figura 4⁽¹⁾. La extensión del área ocupada por el mar o marismas al principio del Holoceno no sería mucho mayor de la señalada. Esta figura pudiera haber inducido a una explicación errónea de la presencia de agua salada en este área si no hubiera sido por el avance que se ha producido recientemente. Tras la desecación y saneamiento

(1) Adaptado de "La Huerta de Levante en Palma de Mallorca" Vicente Roselló Verger. Instituto Juan Sebastián Elcano, del Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid 1959.

Fig. 3

RASTREO. CURVAS DE ISORRESISTIVIDADES APARENTES JUNTO A SONDEO S-7

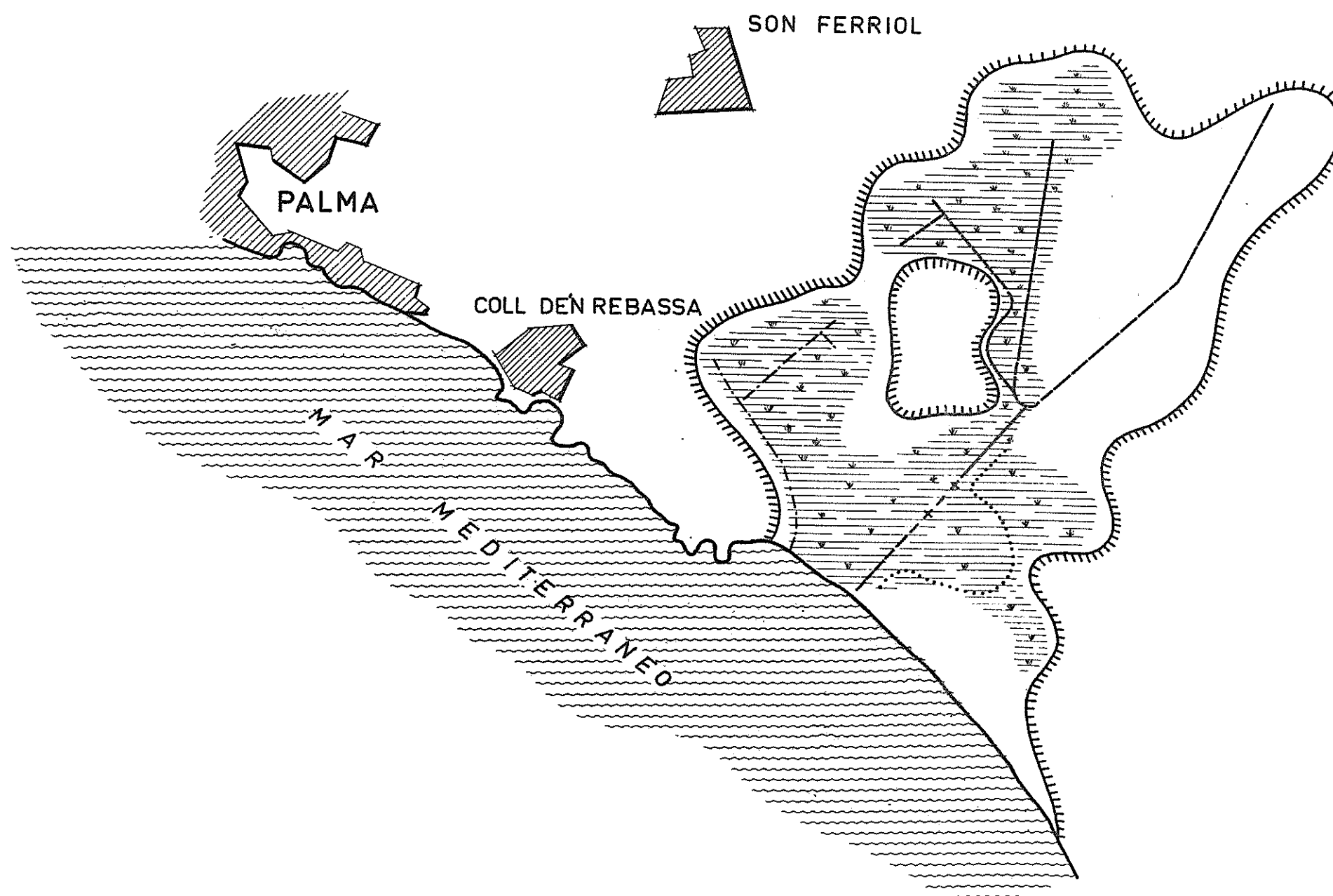


LEYENDA	
ACEQUIAS CONSTRUIDAS	ZONA PANTANOSA
	CAMPO FRANCO 1815-16
	COMISION RODRIGUEZ 1819
	COMISION SORA 1823-24
	PARTICULAR 1823-24
	BOUVY 1845-50
	PROBABLE LINEA DE COSTA Y ZONA PANTANOSA EN EL SIGLO XII

OBRAS DE DESECACION DEL PRAT DE SANT JORDI

ESCALA 1:50.000

Fig. 4



de las marismas, la extracción actual de agua, sumada a las próximas que merman la realimentación, ha originado un fenómeno no previsto por quienes proyectaron la desecación de esta zona. Actualmente el avance del agua de mar y salinización por el riego con agua salobre amenaza anular todo el aprovechamiento agrícola de esta potencialmente rica área de cultivo.

VI. BALANCE HIDRAULICO

1.1. Precipitación

Se han adoptado las isoyetas construidas por el Centro de Estudios Hidrográficos, contenidas en el primer informe que emitió la comisión creada por el estudio de las disponibilidades hidráulicas de Mallorca. Para su determinación se tuvieron en cuenta los datos de sesenta y cuatro observatorios distribuidos por toda la isla, de los que dieciocho están situados en la cuenca hidrológica del Llano de Palma. Últimamente, se está mejorando la red de observación, pero los datos disponibles alcanzan un tiempo muy corto. Las isoyetas pertenecen a la precipitación media anual.

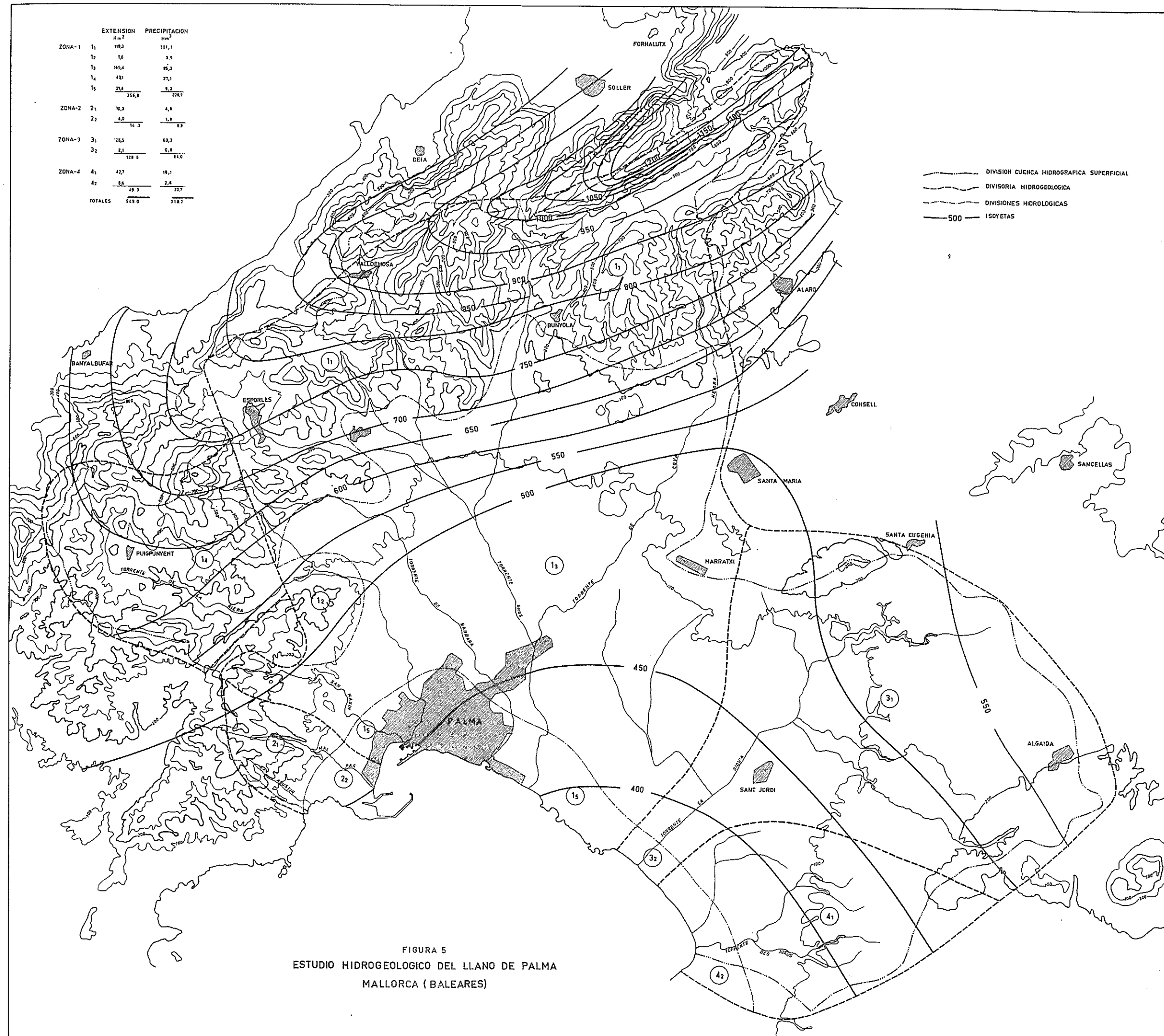
En el observatorio de Palma de Mallorca se dispone de observaciones de más de cien años. La lluvia media anual en este observatorio durante el período 1862-1910 fue de 471 mm. En el período 1871-1960 fue de 467 mm. De los estudios de D. José María Jansá Guardiola, publicados en 1968 y que se extienden a este último lapso de tiempo, se deduce:

Precipitación media anual:	467 mm
Precipitación máxima anual:	778 mm (año 1898)
Precipitación mínima anual:	164 mm (año 1945)

En noventa años encontramos máximos superiores al 150 por 100 de la media (165 por 100 en 1891) y mínimos inferiores al 50 por 100 (35 por 100 en 1945).

El estudio de las curvas de precipitación permite ver una cierta periodicidad de los máximos y mínimos, pero la existencia de ciclos superpuestos e intercalación de años húmedos y secos en los que pudiéramos llamar períodos secos y húmedos, hacen muy difícil extrapolar las leyes obtenibles. Nos bastará apuntar que cada 8-12 años se encuentran años de precipitación máxima muy variable, y que el período que determinan es más seco, pero, insistimos, sin que puedan de

		EXTENSION Km ²	PRECIPITACION mm
ZONA-1	1 ₁	119,3	101,1
	1 ₂	7,8	3,9
	1 ₃	195,4	85,2
	1 ₄	43,1	27,1
	1 ₅	29,8	9,9
		<u>355,8</u>	<u>227,2</u>
ZONA-2	2 ₁	10,9	4,9
	2 ₂	4,0	1,9
		<u>14,9</u>	<u>6,8</u>
ZONA-3	3 ₁	126,5	63,7
	3 ₂	2,1	0,9
		<u>128,6</u>	<u>64,6</u>
ZONA-4	4 ₁	42,7	18,1
	4 ₂	6,6	2,6
		<u>49,3</u>	<u>20,7</u>
TOTALES		<u>549,0</u>	<u>312,2</u>



ducirse claramente ciclos extrapolables.

La evaluación de precipitaciones en cada una de las zonas indicadas en la figura 5 se ha realizado midiendo en un plano a escala 1:50.000 el área comprendida entre dos isoyetas dibujadas y multiplicándola por la media de la precipitación.

Sabemos que en el caso de una explotación máxima del agua subterránea de una cuenca, se necesitan más observatorios y que es preciso mejorar la evaluación de las precipitaciones, pero es tarea que posponemos para estudios futuros.

1.2. Evapotranspiración

Es tema delicado e importante en el balance hidráulico de una cuenca. Las evapotranspiraciones potenciales han sido calculadas y publicadas por la Dirección General de Agricultura del Ministerio de Agricultura en 1965 ("Evapotranspiraciones potenciales y balances de agua en España"). Sus resultados aplicados a toda la cuenca del Llano son los siguientes:

Thornthwaite:	entre	800 y	850 mm
Turc:	entre	1.050 y	1.100 mm
Penman:	entre	900 y	950 mm

Recientemente se ha calculado el balance hídrico en Palma de Mallorca que se puede ver en el cuadro que se adjunta.

Aunque según este cuadro la reserva sería cero, dado que en el Llano de Palma los terrenos son algo permeables, parte del agua precipitada penetrará en zonas más profundas disminuyendo la evapotranspiración efectiva y, aunque en pequeña cuantía, incrementará el agua subterránea.

Los observatorios meteorológicos de los que podemos obtener datos climáticos son los de Palma, Pont d'Inca y Sont Bonet. En Palma durante el período 1931-1960 se ha observado:

Oscilación media anual de temperatura 23,3°

Temperaturas extremas:

máxima 38,5°
mínima - 3,5°

Humedad relativa media del aire:

mínima 69 % en julio
máxima 78 % en noviembre

* BALANCE HIDRICO APLICADO A PALMA DE MALLORCA
(Fórmula de Thornthwaite)

Mes	Precipitación **	Evapotranspiración potencial	Evapotranspiración efectiva	Reserva
Septiembre	56,6	95,0	56,6	0,0
Octubre	72,2	70,0	70,0	2,2
Noviembre	56,0	48,0	48,0	10,2
Diciembre	51,6	29,0	29,0	32,8
Enero	38,4	25,0	25,0	46,2
Febrero	33,4	25,0	25,0	54,6
Marzo	36,1	34,0	34,0	56,7
Abril	27,7	48,0	48,0	36,4
Mayo	28,2	63,0	63,0	1,6
Junio	19,6	85,0	21,2	0
Julio	4,1	113,0	4,1	0
Agosto	22,6	114,0	22,6	0
Total	446,5	749,0	446,5	

* Cuadro realizado según los datos facilitados en "Climatología de Palma de Mallorca" por José María Jansá Guardiola (Boletín de la Cámara de Comercio, Industria y Navegación de Palma de Mallorca, enero-marzo, 1968).

** Media de los años 1931-60.

La extrapolación de estos datos a las zonas montañosas de la cuenca hidrológica no carece de dificultades, ya que la humedad, temperatura media y vientos reinantes cambian notablemente.

Aún en el supuesto de poseer datos suficientes para conocer las evapotranspiraciones potenciales, la existencia de terrenos permeables exige estudios muy cuidadosos y ensayos especialmente concebidos para conocer las evapotranspiraciones efectivas. Estos estudios se abordarán en una etapa posterior.

1.3. Escorrentia

En la zona de estudio disponemos de la reciente estación de aforos Es porlas-Buñola, que nos permite conocer el caudal de agua superficial en los años 1966 y 1967. La red de aforos de la isla es de reciente creación y sus datos facilitarán en el futuro medios para comprobar los valores que hemos adoptado. Ahora bien, la experiencia del embalse de Gorch Blau, el pequeño azud de Puig Mayor, las estaciones de aforos de Cuber, Aumedrá, Arroyo San Miguel y alguna otra, han permitido tener un buen conocimiento de las posibles escorrentías en la isla. Por ello, las cifras que hemos adoptado no se separarán mucho de las reales, aunque, una vez más, será preciso afinar sus resultados en posteriores estudios de comprobación y detalle.

2. INFILTRACION

También es problema de difícil evaluación. En este informe hemos adoptado cifras apoyadas en la experiencia local y contrastadas con las obtenidas en otras cuencas españolas y publicaciones correspondientes a estudios realizados en otros países.

Para deducir la cuenca hidrológica propia y sus zonas, hemos tenido en cuenta la geología, pendiente del terreno, su cota media, orientación y precipitación. Estas zonas, sus extensiones y evaluación del agua precipitada se presenta en la figura 5. No hemos tenido en cuenta la condensación directa en las rocas, por ser tema poco conocido y con influencia despreciable respecto a los restantes conceptos que intervienen en el balance.

La zona 1₄ (Puigpunyent), que está ligada superficialmente al Llano de Palma, es zona dudosa. El agua infiltrada en la cuenca de Puigpunyent no puede circular hacia el noreste, pues el importante accidente geológico, constituido por la amplia banda tectonizada e inyectada de Triás, que alcanza hasta las proximidades de Esporlas, lógicamente establece un muro impermeable de difícil paso. Tampoco pueden infiltrarse fácilmente las aguas del torrente en la escama de Na Burguesa, ya que sobre el cauce y en su base occidental, afloran terrenos margosos cretácicos impermeables. No obstante, consideramos que un 25 por 100 del agua infiltrada en este área alimentará el Llano de Palma. A esta cifra, añadiremos la infiltración parcial de las aguas superficiales que consigan alcanzar el Llano en las avenidas, bordeando el vértice noreste de Na Burguesa. El resto de las aguas infiltradas irá hacia el sur a través de los materiales permeables de la segunda escama.

Excluimos por la misma razón una pequeña zona en la sierra de Na Burguesa en la que parece más lógico que el agua infiltrada circule hacia el sur. En todo caso, las aguas acudirían a la zona 2, que no alimenta al Llano.

La zona 2 (Génova) la excluimos de la cuenca hidrológica pues, sus aguas subterráneas o bien marchan según la orientación de la escama hacia Palma Nova o bien, a través de las múltiples fracturas existentes, acudirían al mar por Cala Mayor. Las conocidas cuevas de Génova nos hacen considerar como más importantes la cuantía de las aguas que transcurren según esta última hipótesis.

La zona 1 está limitada al suroeste por la banda impermeable de Esporlas ya comentada. Hacia el sur hemos incluido en ella la cuenca hidrográfica del torrente de San Magín, aunque parte de las aguas en ella infiltradas serán desviadas hacia el suroeste por las fallas de Génova y espigón del Burdigaliense, que definen. Hacia el noreste la cuenca 1 se extiende algo más allá de la divisoria hidrográfica, pese a transcurrir en terrenos de la segunda escama, ya que seguimos confiando en la banda impermeable de Esporlas. Hacia el noroeste alcanza el pico Ofre reconociendo que este límite es algo optimista. La determinación más precisa de la cuenca hidrológica en esta zona, pide estudios de detalle de la cordillera, que se han dejado para una etapa posterior, ya iniciada. Dados los fuertes gradientes hacia Soller y la existencia de profundos barrancos y escotaduras que apuntan hacia la cuenca propia de la zona norte de la depresión central de la isla, no creemos puede extenderse más este límite.

Hacia el noreste la frontera de la cuenca transcurre no muy lejos de la divisoria del torrente de Cova Negra, límite fijado según los datos geológicos en nuestro poder. En la región de Marratxí y Santa María la definimos de acuerdo con la situación del Burdigaliense. Entre Marratxí y la costa por la divisoria del techo del nivel 3, formado por margas del Tortoniense inferior.

La zona 1 la hemos subdividido en otras cinco de acuerdo con la topografía y características geográficas: la 1₁ es montañosa; la 1₂ está situada sobre la escama de Na Burguesa; la 1₃ corresponde al Llano, la 1₅ corresponde a la costa y la 1₄, a la de Puigpunyent.

La zona 3 queda definida al oeste por la 1; en las proximidades de Algaida de acuerdo con los datos geológicos del terreno; al este extrapolando los datos que poseemos del subsuelo y de acuerdo con la geología superficial. Esta zona alimentará esencialmente la depresión de Sant Jordi. En ella, hemos considerado también dos zonas: la costera es la 3₂ y el resto la 3₁.

La zona 4 no alimentará propiamente el Llano, aunque parte de las aguas infiltradas acudirán a la depresión piezométrica artificialmente creada en Sant Jordi. En ella también hemos destacado una costera (4₂).

En las zonas costeras definidas, consideramos que, si no existen poblaciones, sólo el 80 por 100 del agua infiltrada es recuperable, y el 50

por 100 en el caso contrario. Estas cifras compensan fenómenos complejos de canalizaciones y escorrentías superficiales.

Las características geológicas, topográficas, etc., nos han llevado a considerar y definir los siguientes coeficientes:

Zona 1:

Zona 1₁ (Buñola-Esporlas)

Terrenos permeables en un 80 por 100 y poco permeables o impermeables en un 20 por 100 pendientes medias y fuertes; vegetación media: matorral

Area	119,3 km ²
Precipitación media	850 mm
Precipitación	101,1 hm ³
Escorrentía	20,2 hm ³
Evapotranspiración (55 %)	55,6 hm ³
Infiltración (25 %)	25,3 hm ³

Zona 1₂ (Na Burguesa)

Terrenos permeables; pendiente media; vegetación: matorral y bosque poco denso

Area	7,6 km ²
Precipitación media	510 mm
Precipitación	3,9 hm ³
Escorrentía (10 %)	0,4 hm ³
Evapotranspiración (60 %)	2,3 hm ³
Infiltración (30 %)	1,2 hm ³

Zona 1₃ (Llano)

Terreno en su mayoría poco permeable; pendiente suave o muy suave; vegetación: matorral, seco y regadío

Area	165,4 km ²
Precipitación media	515 mm
Precipitación	85,3 hm ³
Escorrentía (0 %)	0,0 hm ³
Evapotranspiración (90 %)	76,8 hm ³
Infiltración (10 %)	8,5 hm ³

Zona 1₄ (Puigpunyent)

Terreno permeable en el 65 por 100 y poco permeable o im-
permeable en el resto; pendiente media y fuerte; vegetación:
matorral y bosque algo espeso

Area	43,1 km ²
Precipitación media	625 mm
Precipitación	27,1 hm ³
Escorrentía (20 %)	5,4 hm ³
Evapotranspiración (60 %)	16,3 hm ³
Infiltración (20 %)	5,4 hm ³

Zona 1₅ (Costa)

Terreno poco permeable; pendiente suave o muy suave; ve-
getación escasa; nivel freático próximo a la superficie

Area	21,4 km ²
Precipitación media	425 mm
Precipitación	9,3 hm ³
Escorrentía (0 %)	0,0 hm ³
Evapotranspiración (90 %)	8,4 hm ³
Infiltración (10 %)	0,9 hm ³

Zona 2:

Zona 2₁ (Génova)

Terreno permeable en el 80 por 100 y poco permeable en
el resto; pendientes suaves; vegetación: matorral y bosque
medio

Area	10,3 km ²
Precipitación media	475 mm
Precipitación	4,9 hm ³
Escorrentía (10 %)	0,5 hm ³
Evapotranspiración (70 %)	3,4 hm ³
Infiltración (25 %)	1,0 hm ³

Zona 2₂ (Costera)

Terreno permeable en su totalidad. Condiciones restantes
análogas

Area	4,0 km ²
Precipitación media	475 mm

Precipitación		1,9 hm ³
Escorrentía	(10 %)	0,2 hm ³
Evapotranspiración	(70 %)	1,1 hm ³
Infiltración	(30 %)	0,6 hm ³

Zona 3:

Zona 3₁ (Sant Jordi)

Terreno permeable en el 50 por 100 y poco permeable en el resto; pendiente suave; vegetación: matorral en el 60 por 100 y cultivo en el resto

Area		126,5 km ²
Precipitación media		500 mm
Precipitación		63,2 hm ³
Escorrentía	(0 %)	0,0 hm ³
Evapotranspiración	(90 %)	56,9 hm ³
Infiltración	(10 %)	6,3 hm ³

Zona 3₂ (Costera)

Terreno poco permeable; pendiente suave; nivel freático próximo a la superficie; vegetación: matorral

Area		2,1 km ²
Precipitación media		400 mm
Precipitación		0,8 hm ³
Escorrentía	(0 %)	0,0 hm ³
Evapotranspiración	(95 %)	0,8 hm ³
Infiltración	(5 %)	0,0 hm ³

Zona 4:

Zona 4₁ (Este)

Terreno permeable; pendiente suave; vegetación: matorral

Area		42,7 km ²
Precipitación media		425 mm
Precipitación		18,1 hm ³
Escorrentía	(0 %)	0,0 hm ³
Evapotranspiración	(80 %)	14,5 hm ³
Infiltración	(20 %)	3,6 hm ³

Zona 4₂ (Costera)

Terreno permeable; pendiente suave; vegetación: matorral

Area	6,6 km ²
Precipitación media	395 mm
Precipitación	2,6 hm ³
Escorrentía (0 %)	0,0 hm ³
Evapotranspiración (80 %)	2,1 hm ³
Infiltración (20 %)	0,5 hm ³

Las escorrentías superficiales motivan infiltraciones de los torrentes durante las avenidas en las cuantías que indicaremos.

En resumen, alimentarán el Llano de Palma las siguientes zonas y conceptos.

Infiltración en la zona 1₁ y el 25 por 100 de su escorrentía

Infiltración en la zona 1₂ y el 25 por 100 de su escorrentía

Infiltración en la zona 1₃

El 20 por 100 de la infiltración en 1₄ (cifra estimada) y el 20 por 100 de su escorrentía

El 60 por 100 de la infiltración en 1₅

Infiltración en la zona 3₁

El 70 por 100 de la infiltración en 3₂

El 30 por 100 de la infiltración en 4₁

La zona 2 no alimenta al Llano y lo mismo sucede con la 4₁.

En definitiva tendremos el siguiente balance del agua infiltrada, que alimenta al Llano.

Zona 1 ₁	Infiltración	25,3 hm ³	
	25 % escorrentía	5,0	
		30,3	30,3 hm ³
Zona 1 ₂	Infiltración	1,2 hm ³	
	25 % escorrentía	0,1	
		1,3	1,3 hm ³
Zona 1 ₃	Infiltración	8,5 hm ³	8,5 hm ³
Zona 1 ₄	20 % infiltración	1,1 hm ³	
	20 % escorrentía	1,1	
		2,2	2,2 hm ³

Zona 1 ₅	60 % infiltración	0,5 hm ³	0,5 hm ³
Zona 3 ₁	Infiltración	6,3 hm ³	6,3 hm ³
Zona 4 ₁	30 % infiltración	1,1 hm ³	1,1 hm ³
			50,2 hm ³

Todos estos cálculos se han realizado con dos cifras decimales y el resultado redondeado a una sola cifra decimal. Con las precipitaciones medias hemos procedido de forma análoga.

3. EXTRACCIONES

La ausencia de cursos permanentes de agua en la isla de Mallorca y de un modo más concreto en la zona del Llano de Palma, ha hecho que, desde muy antiguo, la población acudiera a las aguas de lluvia retenidas en aljibes y más recientemente a las aguas subterráneas.

3.1. Manantiales

Los manantiales que existen en el área de estudio son escasos en número y caudal, con excepción de dos. En el inmejorable estudio que realizó E. Estada en el año 1912 se relacionan los manantiales próximos a Palma. En 1950 han vuelto a ser catalogados, junto con todos los de la isla, en el estudio efectuado por D. Francisco Valdés. Algunos de estos manantiales han desaparecido o mermado sus caudales, a causa de las intensas obras de captación realizadas y a la anarquía existente en cuanto a su autorización y control.

En el término municipal de Palma existen tres manantiales: la Font de la Vila cuya importancia merece el estudio que luego realizaremos, el de Son Mir, en la actualidad prácticamente inexistente y el pequeño manantial de Na Pera.

En Puigpunyent, cuya cuenca vierte superficialmente al Llano de Palma, Estada señala once, con graduaciones hidrotrímétricas que varían entre 24,8° y 72°, graduación media 41,4° y caudal medio de 23 l/s. (Aforos realizados con bastantes dificultades). F. Valdés contabiliza 21 l/s.

En Esporlas, Estada observó 8: graduación media: 36,1°; extremas 18,1° y 54° y caudal total 142 l/s. Valdés registra 46 con 137 l/s. En Buñola, término municipal que en parte incluimos en la cuenca del Llano de Palma, Estada registra 6 manantiales: graduación media 55°; extremas 40° y 87°; caudal total 5,9 l/s. Valdés registra 22 l/s, e incluye cuatro manantiales más que el primero.

En el término municipal de Marratxí, íntegramente incluido en la cuenca del Llano no existen manantiales

En el término de Santa María existe el de Cova Negra, con 40° hidrotimétricos y 8 l/s, según Estada. Valdés debió aforar este manantial en época lluviosa o en distinto punto, pues le concede 150 l/s.

En resumen, existen 60 manantiales en la cuenca del Llano de Palma, aparte del de Font de la Vila, con aportaciones entre 180 y 330 l/s. No es de extrañar la diferencia de caudal según Valdés o Estada, ya que los manantiales acusan importantes variaciones estacionales.

Podemos tomar como cifra media de aportaciones totales por los manantiales la de 250 l/s, valor ligeramente más próximo al facilitado por Estada. Ello supone 7,9 hm³ de agua obtenida a expensas de manantiales, que son utilizados para riegos y usos domésticos en zonas no incluidas en el balance de las extracciones para regadío.

3.2. Manantial Font de la Vila

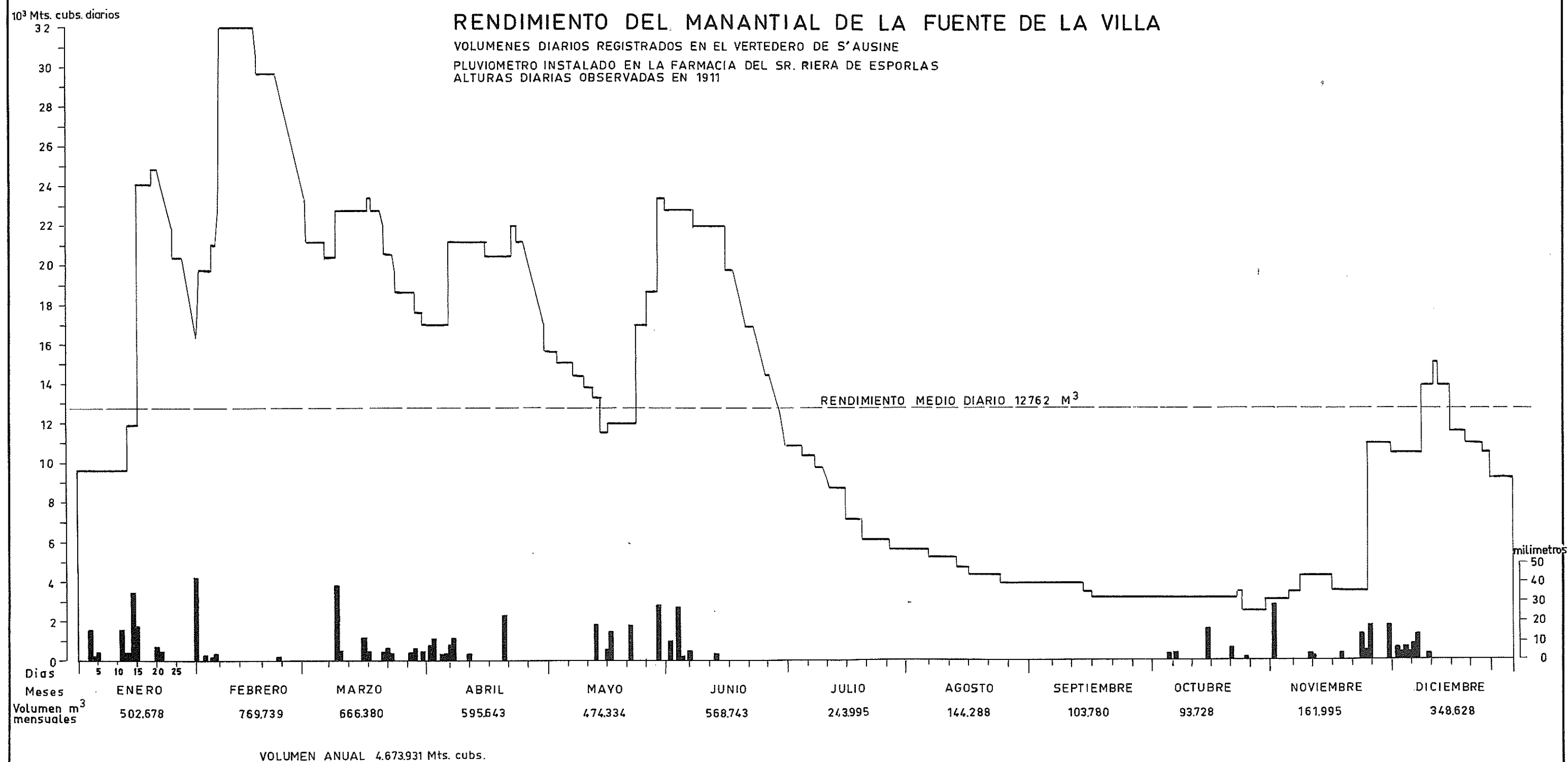
Surge en calizas triásicas fracturadas, que están arropadas por Oligoceno, formado por conglomerados y capas arcillosas y Burdigalense inferior margoso. La precipitación media anual de la zona es de 650 mm/m². La cuenca de alimentación ha de estar formada por el bloque calcáreo, triásico y liásico, que constituye la Mola de Bauzá y parte de la Mola de Sarriá, cuya separación con la anterior por margas yesosas de facies Keuper puede estar interrumpida por fracturas en la carretera de Establiments a Esporlas. También hay que incluir en su cuenca la masa calcárea de igual datación geológica situada al este de Esporlas e individualizada topográficamente por el Torrent Pina de Canet. Del estudio de Estada tomamos la curva de caudales diarios aforados durante el año 1911, así como las precipitaciones diarias durante ese año (figura 6). Se observa en este gráfico un retraso en el aumento de los caudales del manantial respecto a las precipitaciones, que varía entre una y dos semanas según la época del año en la que se produce.

Durante el año 1911 el volumen total aforado fue de 4,6 hm³ de agua.

Los caudales anuales, íntegramente explotados para el abastecimiento de Palma han oscilado en los años 1958-1967 entre 2,1 y 3,9 hm³. La media es de 3,1 hm³/año.

La proximidad de la cuenca propia de alimentación queda demostrada por sus estiajes: en los aforos de Estada variaron los caudales entre 1.332 l/s (7 a 15 de febrero) y 29 l/s (24 a 27 de octubre).

Tales variaciones de caudal motivaron que en 1867 propusiera el Ing. Pablo Bouvy de Schorremberg un proyecto de mejora y regulación, basado en la construcción de una galería provista de una compuerta, que elevara la salida natural del agua del manantial durante los períodos



ESTUDIO HIDROLOGICO DEL
LLANO DE PALMA. MALLORCA (BALEARES)

FIG 6

SACADO DEL ESTUDIO DEL ABASTECIMIENTO DE AGUAS
POTABLES DE LA CIUDAD DE PALMA POR E. ESTADA

dos húmedos. De esta forma se incrementaría la capacidad del embalse subterráneo existente, al recrecer la altura de aliviadero.

Tal idea fue desarrollada por el Ing. de Caminos E. Estada en 1912 posteriormente por el Ing. D. Pedro Garau y, por fin, realizada por D. José Zaforteza pese a los muchos oponentes y dificultades encontradas. Se comprobó lo acertado de la idea primitiva, ya que sus variaciones extremas han disminuido extraordinariamente y se ha multiplicado por más de 5 el caudal de estiaje inicial. En el año 1910 el agua del manantial era aprovechada para riegos y enviado el sobrante a Palma por medio de un acueducto a cielo abierto. Al aumentar las necesidades de agua de la población se llegó a la expropiación de la Font de la Vila, que pasó a propiedad de la ciudad de 1913.

3.3. Galería de captación del Valle de San Pedro

Las demandas de agua fueron creciendo hasta el punto que, pese a la realización de las obras anteriormente aludidas en el manantial del Font de la Vila y mejorada la red de abastecimiento a la población, se vió su insuficiencia. Por ello comenzaron las gestiones y concursos por parte del Ayuntamiento con objeto de adquirir la propiedad o explotación de pozos, una vez más, en medio de fuertes polémicas. Si multáneamente se iniciaron estudios con objeto de aumentar los caudales aportados por el manantial de la Font de la Vila con recursos próximos. Se pensó en las favorables perspectivas que ofrece el Valle de San Pedro, con cota suficientemente elevada y que constituye la salida natural de la cuenca de Esporlas. D. José Zaforteza inició los estudios y realizó sondeos mecánicos, que fueron interrumpidos en el año 1936 al estallar la guerra civil española. Los trabajos fueron reanudados en 1938 y finalmente, el mismo ingeniero realizó un proyecto de captación mediante una galería de más de 2 km que los conducirían al manantial de la Font de la Vila.

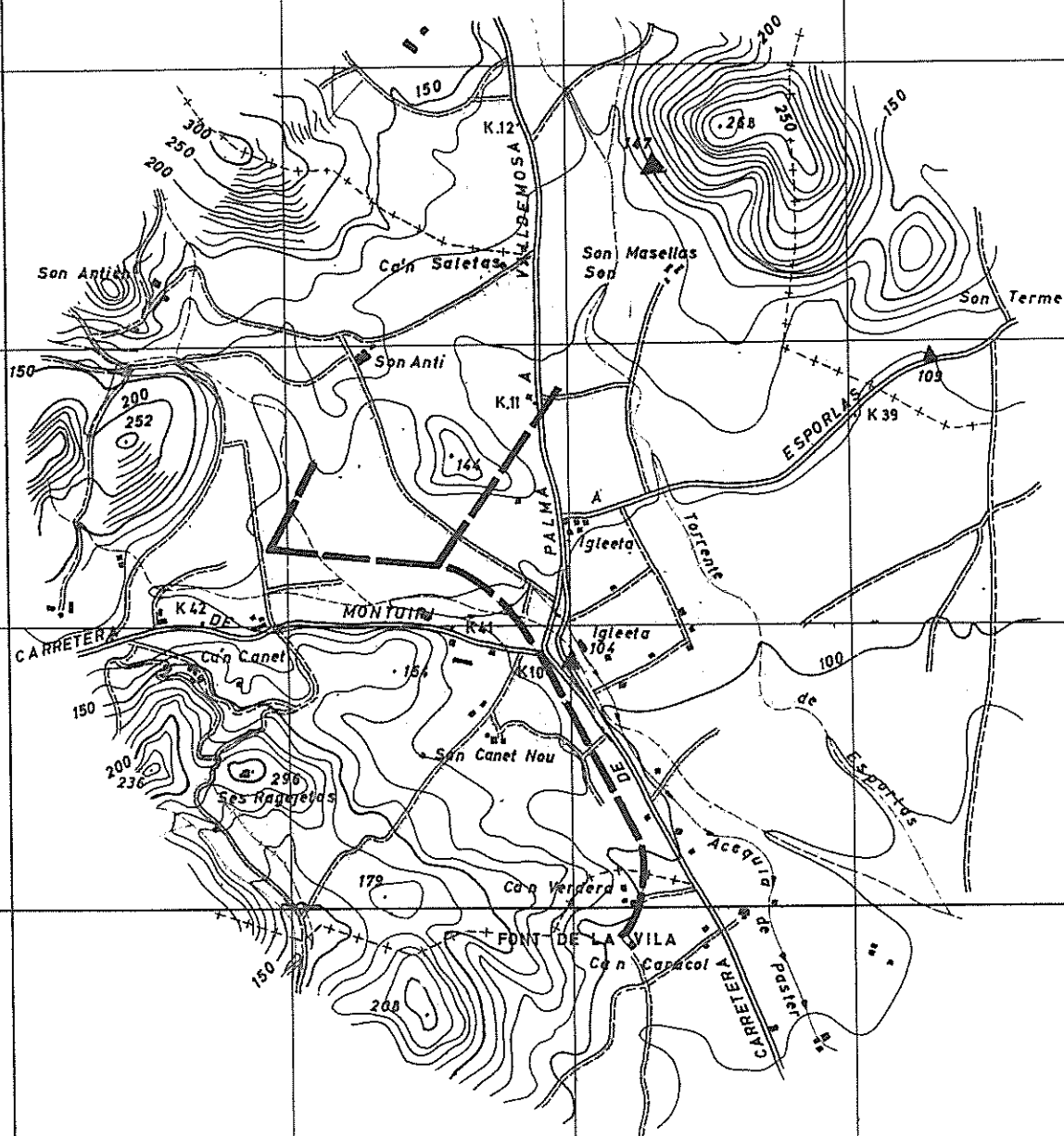
El Ayuntamiento solicitó auxilio informativo al Instituto Geológico y Minero, que, a través de D. Diego Templado y D. Enrique Cabellos, Jefe de Minas de la provincia, emitió un informe con fecha 9 de julio de 1941 con todos los pronunciamientos favorables.

Igualmente favorable fue la opinión manifestada por D. Maximino San Miguel de la Cámara en septiembre de este mismo año. Con el impulso de estos informes alentadores se iniciaron las obras en las que en 1945 se habían perforado 1900 m de galería. Suponemos que el proyecto, tal como puede observarse en la figura 7, se realizó en su totalidad, perforando más de 2.200 m de galería, con resultado prácticamente nulo, lo que ha hecho difícil conocer y localizar el croquis, que adjuntamos.

1941

OBRAS DE CAPTACION DE AGUA EN EL VALLE DE SAN PEDRO

Fig. 7



— GALERIA DE ALIMENTACION

ESTUDIO HIDROLOGICO DEL LLANO
DE PALMA. MALLORCA (BALEARES)

ESCALA 1:25.000

3.4. Pozos

Con motivo de la publicación de A. Richard ("Los pozos artesianos en España"), en la que hacía una descripción geológica de la Isla de Mallorca y opinaba era fácil conseguir agua artesiana en la isla, buscando en el Llano las calizas de la Sierra norte, el ilustre geólogo francés E. Hermite (a quien se debe el primer estudio completo de la isla editado en París en 1879 con el título: "Etudes Géologiques sur les isles Baléares") publicó en Mallorca en 1879 un librito modelo de crítica científica, ("Los pozos artesianos en Mallorca"), en el que rebate de forma absoluta las ideas de A. Richard. En este trabajo cita la existencia de unos cuantos pozos construidos en Mallorca, dedicados a abastecimientos locales y con poca profundidad.

En el estudio de Estada de 1912 relaciona la existencia de 37 pozos en la región ahora estudiada e incluso efectuó una nivelación y dos perfiles, en los que se comprueba que sus fondos estaban siempre sobre el nivel del mar. Sus profundidades variaban entre 5 y 39 m. Por el análisis hidrotrímétrico de aguas los rechazó para el abastecimiento de la ciudad, ya que todos tenían más de 40° (24 más de 40°; 7 más de 50° y 6 más de 60°).

La insuficiencia del abastecimiento de agua a base de la Font de la Vila obligó a pensar de nuevo en esta reserva subterránea y, por fin, tras el fracaso de la galería del Valle de San Pedro, se recurrió a los pozos de Pont d'Inca, posteriormente a los de Virgen de Montserrat y en este mismo año a los de Son Serra.

Tenemos, pues, que en 1912 no llegaban al medio centenar los pozos construidos. En 1945, fecha en la que se actualizó el aprovechamiento de los pozos eran ya muy numerosos, como se deduce de las polémicas entonces entabladas.

En el estudio de Valdés de 1950 registra en la zona estudiada los siguientes pozos y profundidades máximas: término municipal de Palma: 1063 pozos; 65 m de profundidad máxima. Puigpunyent: 12; 5 m. Marratxí: 36; 45 m. Esporlas: 6; 27 m. Valldemosa: 21; 16 m. A éstos hay que añadir media docena más correspondientes a los términos municipales de Algaida, Buñola y Santa María parcialmente incluidos en la cuenca hidrológica del Llano de Palma, o sea, más de 1150 pozos.

En el estudio de Vicente Roselló, publicado en 1959, sólo en la huer-ta de levante de Palma, que la definió por la carretera de Palma a Sineu, la costa hasta El Arenal y desde El Arenal hasta la carretera anterior, dejando a poniente Sant Jordi, relaciona 1.400 artificios elevadores, ligados a otros tantos pozos de los que 91 estaban en desuso, o sea, más de 1.300 pozos.

FIG. 8

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL LLANO DE
PALMA. MALLORCA (BALEARES)

PLANO DE LOS CULTIVOS DE REGADIO DE LA
CUENCA HIDROGRAFICA DE PALMA

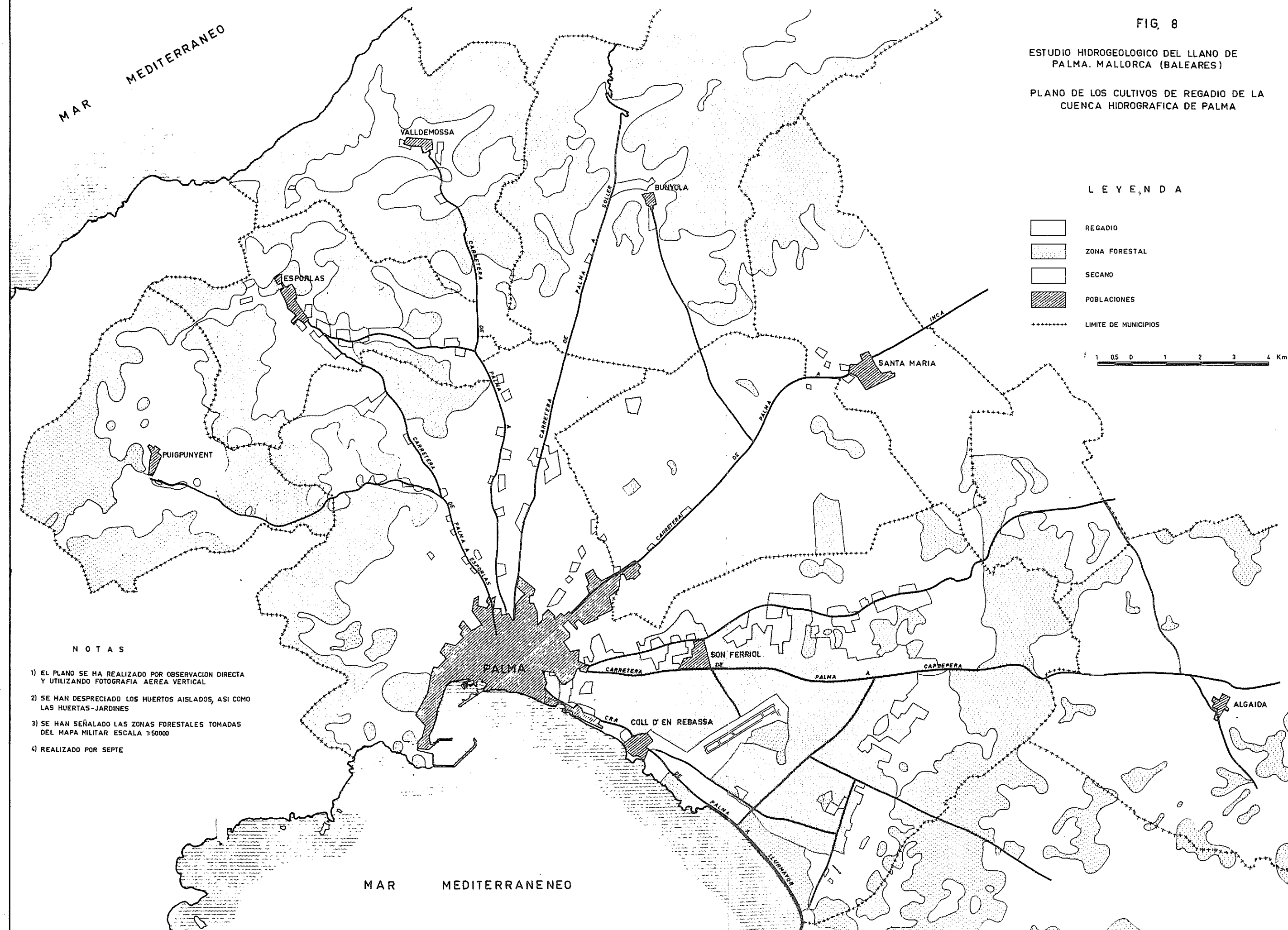
LEYENDA

-  REGADIO
-  ZONA FORESTAL
-  SECANO
-  POBLACIONES
-  LIMITE DE MUNICIPIOS

1 0.5 0 1 2 3 4 Km

NOTAS

- 1) EL PLANO SE HA REALIZADO POR OBSERVACION DIRECTA Y UTILIZANDO FOTOGRAFIA AEREA VERTICAL
- 2) SE HAN DESPRECIADO LOS HUERTOS AISLADOS, ASI COMO LAS HUERTAS-JARDINES
- 3) SE HAN SEÑALADO LAS ZONAS FORESTALES TOMADAS DEL MAPA MILITAR ESCALA 1:50000
- 4) REALIZADO POR SEPTÉ



En 1962 hemos relacionado y confeccionado las fichas de 1886 pozos. Posteriormente se han construido y profundizado muchos pozos, que no incluimos en la cifra anterior.

Se deduce que ha existido en los últimos 20 años un crecimiento insospechado en el número de pozos, ya que han pasado de medio centenar en 1912 a 1100 en 1951 y más de 2000 en la actualidad.

Al mismo tiempo se han incrementado sus profundidades y la potencia de las bombas instaladas.

La clasificación por profundidades de los 1886 pozos fichados en 1962 nos indica que, pozos con profundidades entre 50 y 100 m (se incluye el sondeo realizado en su fondo) alcanzan y superan el 60 por 100 del total; con profundidad entre 100 y 150 m hay 12 pozos; entre 150 y 200 m existen 3 y, por último, existe uno con más de 200 m. Estas proporciones han aumentado en los 5 años transcurridos.

En la construcción de los pozos se notan claramente las tres etapas clásicas de las aguas subterráneas: noria, motor y bomba sumergida. A este proceso se une el descubrimiento que supuso la profundización de los pozos de Pont d'Inca, atravesando el Tortonense inferior impermeable, en el que, hasta entonces, daban por terminados los pozos en construcción, lo que ha incitado a perforaciones más profundas.

La demanda de agua y búsqueda desordenada de caudales y el robo de agua al amparo de una Ley antigua, científicamente insostenible y que permite la "guerra de pozos", junto con la falta de un control adecuado ha originado que en la actualidad existan más de 175 máquinas para perforación de sondeos y pozos y quizás más de 200 (creemos que en su mayoría no están dadas de alta en la Delegación de Industria) que trabajan de forma continua en las islas. El 80 por 100 de ellas se dedican a Mallorca.

Es difícil, si no imposible, evaluar con exactitud la cuantía del agua extraída. Los propietarios disponen de motores de todo tipo, estado y rendimiento, con potencias muchas veces superiores a las necesarias. El riego se efectúa sin canalizaciones, ni aforos de ninguna clase. Por todo ello, a efectos del balance hidráulico habremos de considerar que las 3.900 ha de regadío localizadas en el Llano de Palma (cifra algo superior a la registrada en el catastro) consumen una media de 8.000 m³ de agua por año, lo que supone 31,2 hm³/año.

Existen pozos que se destinan a otros fines tales como, usos domésticos y venta de agua, con la que abastecen la zona de El Arenal y la costa sur hasta Andraix. Las extracciones para esta finalidad las hemos estimado en 2 hm³ en el año 1958 y 3 hm³ en 1967. Los pozos de Virgen de Montserrat, que incrementan el abastecimiento a la ciudad de Palma extrajeron 0,2 hm³ en 1958 y 3 hm³ en 1967 (figura 10).

3.5. Pozos de Pont d'Inca

Esta batería de pozos comenzó a funcionar en 1948, fue ampliada en 1956, y en 1962, en la que los sondeos atravesaron las margas impermeables del Tortoniense inferior (nivel 3) y alcanzaron los niveles del Helveciense marino y continental (niveles 4 y 5) hasta profundidades superiores a 160 m. En 1964 ha vuelto a ser reforzada con nuevos sondeos.

Los caudales extraídos se indican en la figura 10. En ella se observa un crecimiento acelerado de las extracciones a partir del año 1960, la influencia de las nuevas ampliaciones y el decrecimiento de los caudales de la Font de la Vila, motivado por el período de sequía actual

La suma de los caudales destinados al abastecimiento de Palma, el de pozos próximos para regadío, usos varios y manantiales aprovechados en la cuenca se presentan en la figura 11.

En el año 1967 fueron los siguientes:

Regadío	31,2 hm ³
Abastecimiento de Palma	21,5 hm ³
Extracciones no controladas para usos varios	3,0 hm ³
Manantiales aprovechados en la cuenca	7,9 hm ³
Total	63,6 hm ³

El total de agua extraída en 1967 es por consiguiente de 63,6 hm³.

El volumen de agua utilizado para regadío es el más importante. Ofrece imprecisiones y variaciones anuales importantes en función de las precipitaciones y su distribución, aumentando en los períodos secos. La cifra de 8.000 m³/ha, adoptada para el año medio y cultivo medio es la que aconseja la experiencia local. Creemos que la realidad no será inferior a esta cifra. Existen, además, cultivos de secano, en los que con relativa frecuencia se verifica algún riego, que no tenemos en cuenta.

Las extracciones para el abastecimiento de agua tienen la exactitud que poseen los elementos de aforo empleados al pie de las instalaciones, y en consecuencia, puede considerarse como exacta.

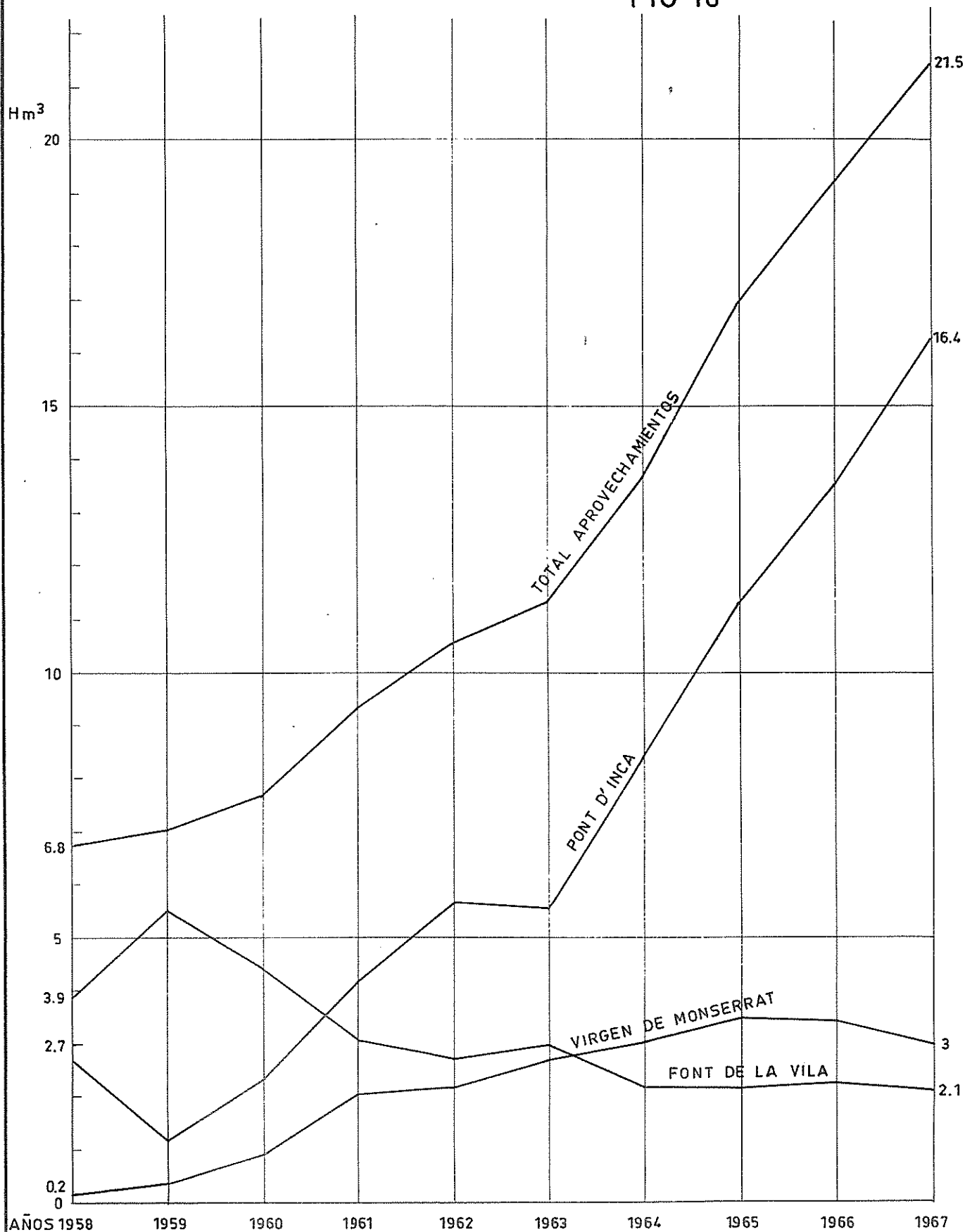
Los 7,9 hm³ de los manantiales que afloran en la cuenca, (excepción de la Font de la Vila incluida en el abastecimiento) pueden variar bastante, ya que, empleamos datos basados en pocos aforos y que no cubren períodos de varios años. Sin embargo, la influencia de su va-

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL LLANO
DE PALMA. MALLORCA (BALEARES)

APROVECHAMIENTOS DE AGUA PARA
EL ABASTECIMIENTO A PALMA DE MALLORCA

DATOS OBTENIDOS DE LAS MEMORIAS ANUALES DE S.M.A.Y.A.

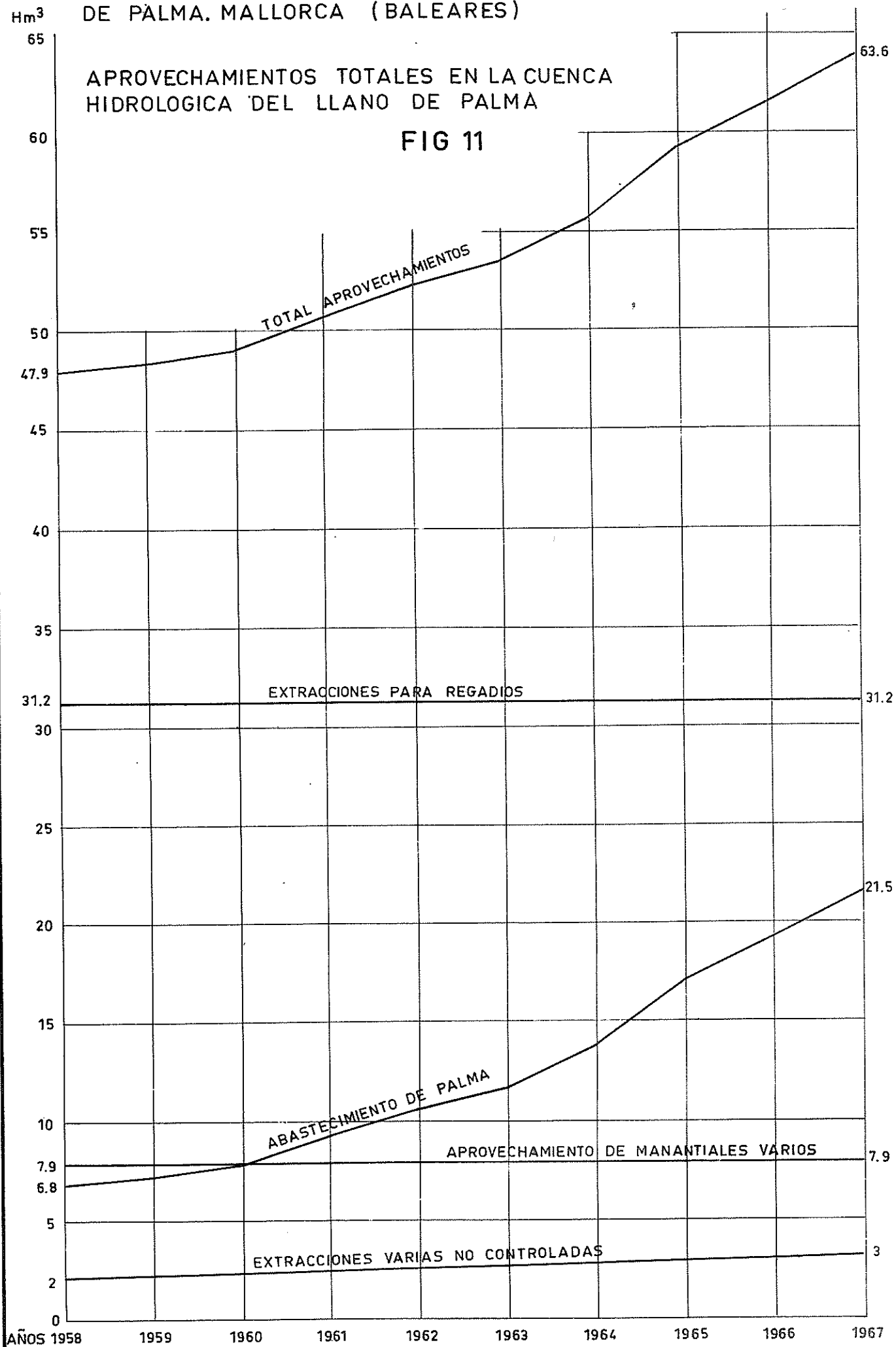
FIG 10



ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL LLANO
DE PALMA. MALLORCA (BALEARES)

APROVECHAMIENTOS TOTALES EN LA CUENCA
HIDROLOGICA DEL LLANO DE PALMA

FIG 11



riación no pesa mucho en el resultado final. Lo mismo podríamos decir de las extracciones no controladas.

4. RESUMEN DEL BALANCE HIDRAULICO MEDIO

De acuerdo con los apartados anteriores obtenemos:

Agua infiltrada en la cuenca hidrológica de Llano de Palma	50,2 hm ³
Agua extraída o utilizada	63,6 hm ³
Déficit anual	13,4 hm ³

VII. REGIMEN HIDRAULICO DEL AGUA INFILTRADA EN EL LLANO DE PALMA

Antes de entrar en las consecuencias de la sobre-explotación existente y de las conclusiones de este primer informe, conviene analizar cual es el régimen hidráulico de agua subterránea en el Llano de Palma.

El nivel 1, en el que englobamos el Cuaternario y Plioceno tiene permeabilidad muy desigual. En los gráficos de los sondeos se puede ver y comprobar que es frecuente la pérdida total, junto a zonas prácticamente impermeables. A efectos de infiltración lo hemos considerado poco permeable por la horizontalidad de sus lentejones arcillosos, pero a efectos de la circulación subterránea hemos de considerarlo permeable, como lo prueban los múltiples pozos en él construídos.

El nivel 2 (Tortonense superior), fundamentalmente constituído por molasas, con frecuentes carstificaciones, es muy permeable.

El nivel 3 (Tortonense inferior), es impermeable, aunque se localicen localmente algunos pequeños niveles arenosos.

El nivel 4 (Helveciense superior) es permeable a través de sus calizas y molasas marinas y con permeabilidad análoga al nivel 1 cuando es continental.

El nivel 5 (Helveciense inferior) es francamente permeable en sus calizas y molasas frecuentemente carstificadas, con poca influencia de los paquetes alentejonados de margas, que siempre son arenosas y a veces muy porosas.

El nivel 6 (Burdigaliense) es impermeable en sus facies continental o lacustre, aún cuando pueda tener estratos discontinuos más permeables, que originen, como en el caso del sondeo S-14, surgencias pseudoartesianas de agua que con el tiempo disminuye en caudal y presión. (En el sondeo S-14 el agua era salobre). La facies marina es poco permeable en el Llano, aumenta su permeabilidad cuanto más al borde de la cuenca se encuentra, pero siempre dentro de valores moderados.

El nivel 7 (Oligoceno) tiene un importante espesor de margas grises lacustres con lignitos y yesos, que no hemos encontrado en nuestros

sondeos y que constituyen un conjunto impermeable en íntima ligazón con el nivel 6 lacustre. El otro conjunto localizado en la parte occidental del Llano y que está constituido por margas, areniscas, calizas arenosas y pudingas tiene pequeña permeabilidad en conjunto, aumentada por las fallas y fracturas y muy variable según los estratos. Su extensión superficial es pequeña.

El Cretácico, nivel 8, es margoso e impermeable.

Los niveles 9 y 10 (Jurásico y Triásico) son predominantemente calizos, a veces dolomíticos y acarniolados. Permeables por sus zonas carstificadas, fallas y fracturas. Localmente se presentan compactos y son impermeables.

Por último, el nivel 11 (Triásico, facies Keuper) es impermeable.

Las aguas infiltradas en los macizos permeables de la cuenca 1_1 (Buñola-Esporlas) encuentran los terrenos impermeables del Burdigaliense lacustre y el Burdigaliense marino, (nivel 6) de baja permeabilidad en conjunto y los terrenos impermeables del Oligoceno lacustre y alimentan o se almacenan en los potentes depósitos de limos y arenas del nivel 1.

Permanece la duda sobre si todas las aguas infiltradas en esta zona 1_1 acuden al Llano o si en parte marchan al mar por caminos más profundos, lo que aumentaría el déficit obtenido. No han sido rebatidas, que sepamos, las ideas de Hermite sobre la imposibilidad de encontrar niveles continuos de calizas, que permitieran localizar aguas verdaderamente artesianas en la isla. Efectivamente las fallas y fracturas que trocean las escamas, hacen verdaderamente improbable la existencia en grandes zonas de niveles artesianos. Localizar agua en terrenos permeables profundos y con niveles piezométricos próximos a la superficie, con un artesianismo incompleto, es probable y factible, pero existe el peligro de que se trate de aguas fósiles, con difícil recarga o intercomunicadas por caminos complejos con las subterráneas superiores.

Admitimos, no obstante, que todas las aguas infiltradas en 1_1 acuden al Plio-cuaternario al que recargan. Una parte de esta zona alimenta la Font de la Vila.

Las aguas infiltradas en 1_2 (Na Burguesa) se ponen en contacto directo con los niveles permeables 4 y 5 (Helveciense) en la zona de Son Anglada-Son Serra. También pudiera suceder que parte de este agua transcurra por caminos más profundos hacia el mar.

Los caudales infiltrados en 1_4 , sólo en parte acudirán a la zona 1_2 (Na Burguesa) y 1_1 , (Buñola-Esporla) siguiendo posteriormente los mismos caminos de circulación subterránea.

La mayor parte del agua infiltrada en el Llano se almacena inicialmente en el Cuaternario y posteriormente recarga los niveles permeables $2,4$

y 5. En la depresión de Sant Jordi, al no existir los niveles 4 y 5, al igual que en la zona indicada al sur de la falla de Virgen de Montserrat, el agua infiltrada se almacena y transcurre por el Cuaternario y nivel 2.

El nivel 3 (Tortonense inferior) independiza en parte de la llanura el agua subterránea del nivel 2 y la del nivel 4 y 5, que a estos efectos debe considerarse como un único paquete acuífero.

En consecuencia, encontramos agua subterránea almacenada en el Pliocuaternalio (nivel 1) y el Tortonense inferior (nivel 2), es decir, dos niveles acuíferos poco independientes. No debemos olvidar, que el Cuaternario contiene lentejones arcillosos de variable extensión, que independizan localmente diferentes alturas piezométricas, aunque sus diferencias son pequeñas y raramente superan el metro.

A estos dos niveles acuíferos hemos de unir los paquetes permeables del Helveciense (4 y 5), que están en contacto con los materiales permeables secundarios en la zona de Son Anglada - Son Serra - Génova, por donde pueden ser alimentados directamente. Si su alimentación sólo se produjera en esta zona, su cuenca hidrológica sería insuficiente para explicar las extracciones actuales en dichos niveles. Por otra parte, los niveles 4 y 5 afloran al sur de Marratxí, donde son alimentados por el agua de lluvia. También están en contacto con el Cuaternario en un pequeño afloramiento bajo el nivel 1 en la desembocadura del valle enterrado de Soller y en un área bastante extensa al norte de la falla de Son Sardina. En consecuencia, la mayor parte de sus aguas están enlazadas con las que almacena y circulan por el Cuaternario. Los isleos de estos niveles, dibujados en los planos 9 y 10 no revisten importancia hidrogeológica, salvo que el situado bajo Son Ferriol esté enlazado con los mismos niveles situados más al norte, en cuyo caso vuelve a ponerse en contacto el conjunto principal del Helveciense con el Cuaternario.

Los niveles permeables del Burdigaliense marino, pudieran tener importancia, pero la presencia cada vez más frecuente de margas, según nos adentramos en el Llano, hace pensar que el agua que pudieran almacenar difícilmente sería explotable y que los rendimientos de los pozos perforados no serían elevados. Por supuesto, es muy improbable que a su través circule agua subterránea hasta alcanzar el mar. La comprobación de estos extremos exige ejecutar sondeos con profundidades superiores a los 300 m.

A las esquemáticas ideas anteriores hay que unir la influencia de las áreas que ponen en contacto diferentes niveles permeables o que pueden hacer ineficaz la impermeabilidad del nivel 3, cuya potencia disminuye hacia Levante. Estas fallas motivarán caminos privilegiados, por su potencial carstificación. El estudio de los datos disponibles confirmará la influencia de prácticamente la totalidad de las fallas dibujadas.

Recordamos la existencia de una zona con terra rosa, que ocupa una dolina y sumidero, en el cruce de las fallas de Santa María y Son Ferriol.

En consecuencia, los tres niveles acuíferos comentados están enlazados por el Cuaternario que los alimenta al norte y los limita al sur y las múltiples fallas que los intercomunican. Pero es más, existen ya suficientes pozos profundos en el Llano de Palma para que se hubieran producido numerosas comunicaciones puntuales desordenadamente realizadas por el hombre. Ello explica la pequeña diferencia encontrada en los niveles observados en piezómetros próximos.

La zona de San Jordi está alimentada por toda el área limitada por las fallas de Son Ferriol y San Juan II, a la que se añade otra no muy extensa al sur de San Juan II.

El área de Pont d'Inca, por la zona definida por las fallas Virgen de Montserrat, Son Ferriol, cauce enterrado de Soller y zona al norte en contacto con el Cuaternario. A los pozos de Virgen de Montserrat el área limitada por la falla del mismo nombre, el cauce enterrado de Soller y la falla de Son Ferriol.

Los nuevos pozos para el abastecimiento de Son Serra se alimentan por la zona definida con las fallas de Establiments y Son Rapiña y parte de la comprendida entre esta última y Génova I y II.

Tal sería el esquema natural simplificado, al que hay que añadir las intercomunicaciones, que originan las fallas y fracturas y la ausencia de los niveles 4 y 5 al sur de la falla Virgen de Montserrat. La explotación actual ha modificado violentamente este régimen de circulación natural, que será mucho más complejo en sus detalles. Su estudio completo debe abordarse si se considera viable el plan racional de explotación que expondremos en el capítulo X.

VIII. CONSECUENCIAS DE LA SOBREEXPLOTACION

1. NIVELES FREATICOS

Al observar durante el estudio las consecuencias palpables de la anarquía en la explotación se construyeron los piezómetros según el esquema que consta en el anexo 1. Se pensó fundamentalmente en proteger las instalaciones del abastecimiento a la ciudad de Palma. A esa red se incorporaron parte de los sondeos. Los piezómetros están situados en tres anillos (A, B y C) y unos perfiles externos (D). Los piezómetros primas, o cortos, controlan el nivel freático superficial. Los largos niveles acuíferos profundos; con sus datos se ha construido en 1967 y 1968 las curvas piezométricas de la figura 12. No hemos hecho distinción entre los niveles piezométricos de los distintos paquetes, pues su variación es pequeña, por la intercomunicación existente. Es interesante observar que existen dos zonas con cota inferior al nivel del mar: una próxima a la costa y ciudad de Palma, motivada por las extracciones de G.E.S.A.; la otra, muy extensa, ligada a Sant Jordi.

En septiembre de 1968 se volverán a determinar las curvas isópietas. Encontraremos en el gráfico resultante un hundimiento medio de 0,40 m de los niveles piezométricos.

Existe una anomalía en el piezómetro C-9 cuya explicación no es fácil. El nivel se mide en paquete 4, a unos 200 m de profundidad, terreno que según nuestros planos está aislado, formando un cerro testigo. La salinidad se ha incrementado entre junio y octubre de 1967, lo que dificulta la posibilidad de que sea agua fósil. Presentamos el plano prescindiendo de esta anomalía puntual, que también se observó en el S-14 al ejecutar su perforación, hasta efectuar mayor número de observaciones locales.

La medición semanal de los niveles en todos los piezómetros a partir del verano de 1967, se refleja en los estadillos de la figura 12. Los resultados obtenidos son los representados en el cuadro que se adjunta y que expresan las variaciones observadas entre los mínimos y máximos de 1967 y 1968.

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL LLANO DE PALMA MALLORCA (BALEARES)

Fig.12. ISOPIEZAS

Fig. 12.1

ISOPIEZAS DURANTE EL ESTIAJE DE 1967 (SEPTIEMBRE)
(PIEZOMETROS LARGOS)

+4.1 NIVEL DE PIEZOMETROS AISLADOS

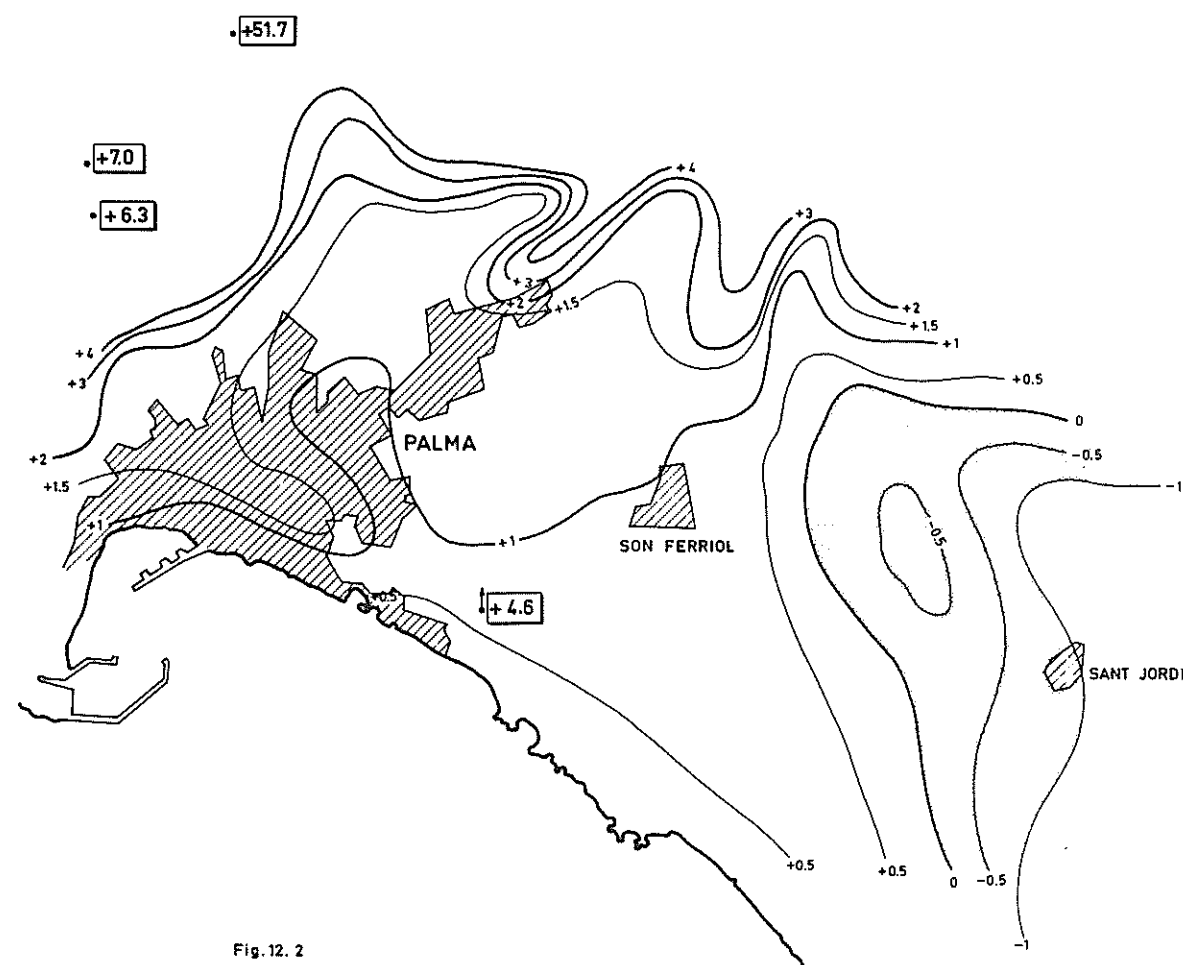
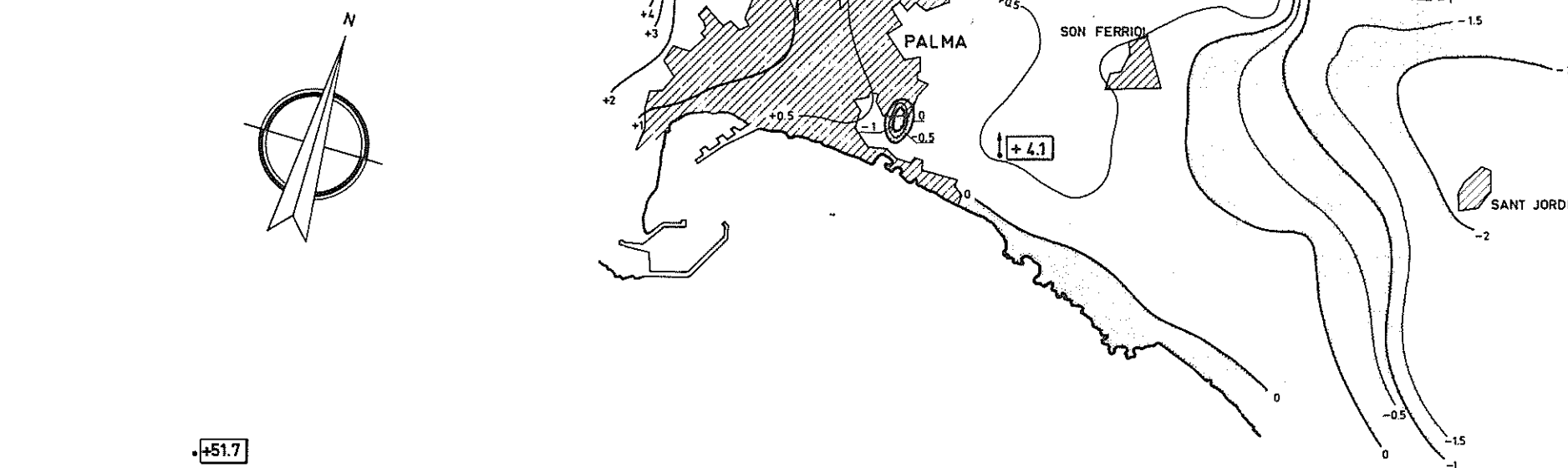


Fig.12. 2

ISOPIEZAS EN EL MES DE FEBRERO DE 1968
(MAXIMO NIVEL EN LOS PIEZOMETROS LARGOS)

+4.6 NIVEL DE PIEZOMETROS AISLADOS

ESCALA GRAFICA

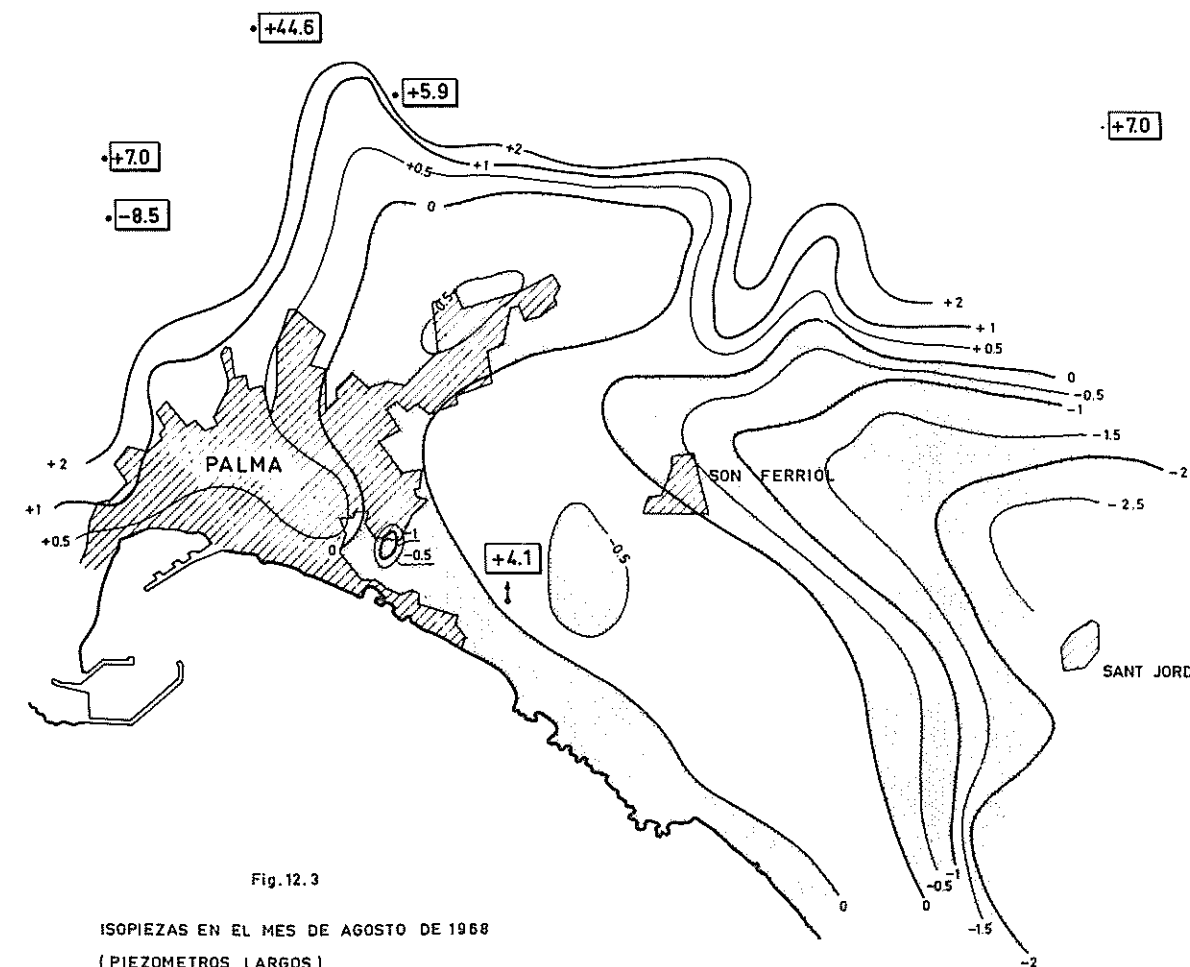


Fig.12.3

ISOPIEZAS EN EL MES DE AGOSTO DE 1968
(PIEZOMETROS LARGOS)

+4.1 NIVEL DE PIEZOMETROS AISLADOS

Piezómetro	Cota en m del nivel afineo septiembre 1967	Cota en m del nivel afineo febrero 1968	Cota en m del nivel afineo hasta agosto 1968	Descenso del nivel afineo en m	Ascenso del nivel entre septiembre 1967 y febrero 1968	Observaciones
A-1	7,30	8,90	5,90	1,40	1,00	
A-1*	12,50	13,30	11,50	1,40	0,40	
A-2	0,60	1,40	0,00	0,00	0,80	
A-2*	0,90	1,45	0,05	0,85	0,55	
A-3	0,45	1,20	- 0,05	0,50	0,75	+
A-3*	0,30	1,15	- 0,15	0,45	0,85	+
A-4	0,65	1,40	0,20	0,45	0,75	
A-4*	0,30	1,20	- 0,15	0,45	0,90	+
A-5	0,00	1,35	0,00	0,80	0,75	
A-5*	0,80	1,40	0,60	0,60	0,80	
B-1	1,30	3,55	0,65	0,25	1,65	
B-1*	15,05	15,80	14,20	1,45	0,15	
B-2	4,40	4,50	2,15	2,25	0,10	
B-3	14,80	15,15	13,90	0,90	0,35	
B-4	1,25	1,55	0,70	0,55	0,30	
B-5	0,25	1,05	- 0,10	0,45	0,70	+
B-5*	- 0,10	1,00	- 0,55	0,45	1,10	+
B-6	0,10	1,05	0,05	0,05	0,95	+
B-6*	0,10	0,90	0,00	0,10	0,80	
B-7	0,05	1,20	0,45	0,20	0,55	
B-7*	0,45	1,05	- 0,05	0,50	0,60	+
B-8	0,45	0,75	0,25	0,20	0,30	
B-8*	0,50	0,75	0,30	0,20	0,25	
B-9	0,25	1,05	- 0,05	0,30	0,80	+
B-9*	0,25	1,50	- 0,05	0,30	1,25	+
B-10	2,35	2,50	1,80	0,55	0,15	
B-10*	0,40	0,80	- 0,40	0,60	0,20	+ Muy separado del B-10
B-11	0,60	1,15	0,05	- 0,15	0,35	Sube el nivel de estiaje
B-12	1,50	1,20	0,05	- 0,55	- 0,20	No sube en período húmedo
C-2	- 3,00	6,30	- 6,45	5,15	9,30	+ Próxima falla Estabilizante, Excavaciones próximas, Ruidas variaciones, Se toman extremos.
C-2*	24,70	24,80	24,20	0,50	0,10	
C-4	1,70	1,80	0,95	0,75	0,10	
C-5	1,45	1,60	1,05	0,40	0,15	
C-6	0,90	1,40	0,05	0,75	0,50	
C-6*	0,95	1,35	0,60	0,35	0,40	
C-7	0,95	1,80	0,80	0,15	0,85	
C-7*	0,30	0,90	0,20	0,10	0,00	
C-8	- 1,35	1,00	- 1,20	- 0,15	2,35	+ Sube el nivel de estiaje
C-8*	0,70	1,50	0,65	0,05	0,60	
C-9	4,10	4,60	4,10	0,00	0,50	
C-9*	0,50	0,70	0,10	0,40	0,20	+
C-10	0,00	0,85	0,55	0,05	0,25	
C-10*	0,25	0,70	0,20	0,05	0,45	
C-11	0,50	0,65	0,45	0,05	0,15	
C-11*	0,35	0,65	0,25	0,10	0,30	
C-12	0,45	0,60	0,25	0,20	0,15	
C-13	- 0,75	0,15	- 1,05	0,20	0,90	+
C-13*	- 0,10	0,90	- 0,95	0,85	1,00	+ Muy separado del C-13
C-14	- 0,95	- 0,25	- 1,35	0,40	0,70	+
C-15	- 0,40	0,40	- 0,80	0,10	0,80	+
C-16	- 1,75	- 0,70	- 2,00	0,25	1,05	+
C-16*	- 2,00	- 0,80	- 2,20	0,20	1,20	+
C-17	- 2,20	- 0,90	- 2,60	0,40	1,40	+
C-17*	- 2,05	- 0,75	- 2,30	0,25	1,30	+
C-18	- 2,00	- 1,10	- 2,30	0,30	0,90	+
C-18*	- 1,90	- 1,10	- 2,30	0,40	0,80	+
C-18**	- 1,95	- 1,05	- 1,85	- 0,10	0,90	+ Sube el nivel de estiaje
C-19	- 1,80	- 1,05	- 2,30	0,40	0,85	+
C-20	- 1,50	- 0,95	- 2,05	0,55	0,55	+
C-21	- 0,15	0,30	- 0,20	0,25	0,45	+
C-21*	- 0,45	0,20	- 0,45	0,00	0,65	+
C-22	- 0,50	0,10	- 0,00	0,00	0,60	+
C-22*	- 0,60	0,00	- 0,70	0,10	0,60	+
C-23	- 0,60	- 0,05	- 0,95	0,15	0,75	+
C-23*	- 1,10	- 0,25	- 1,30	0,20	0,80	+
C-24	- 1,65	- 0,65	- 1,85	0,20	1,00	+
C-25	- 1,75	- 0,70	- 2,00	0,25	1,05	+
C-25*	- 1,70	- 0,75	- 1,30	0,25	0,95	+
D-2	1,25	1,40	0,80	0,60	0,15	
D-3	1,20	1,40	1,00	0,20	0,20	
D-3*	1,00	1,05	0,95	0,05	0,05	
D-4	0,30	0,50	0,25	0,05	0,20	
D-4*	0,30	0,50	0,25	0,05	0,20	
D-5	0,30	0,50	0,25	0,05	0,20	
D-5*	0,30	0,55	0,25	0,05	0,25	
D-6	0,20	0,45	0,25	- 0,05	0,25	Sube el nivel de estiaje
D-7	- 0,15	0,25	- 0,25	0,10	0,40	+
D-8	- 1,50	- 0,05	- 2,20	0,70	1,45	+
D-8*	- 0,20	0,30	- 0,25	0,05	0,50	+
D-9	- 1,70	- 0,95	- 2,30	0,50	0,95	+
S-01	0,00	1,40	- 0,10	0,70	0,80	+
S-02	0,00	1,45	- 0,10	0,70	0,85	+
S-2	44,00	51,70	44,00	0,60	7,10	
S-15	7,00	7,60	7,00	0,00	0,60	
S-19	0,80	3,45	- 0,40	1,20	2,65	+
S-20	1,50	2,15	1,40	0,50	0,25	
S-25	0,95	1,60	0,10	0,85	0,65	
S-29	8,00	8,00	7,05	1,05	- 0,30	Baja durante todo el tiempo de observación
S-33	0,05	1,45	- 0,05	0,70	0,60	+

+ Indica se encuentra bajo el nivel del mar. Se han redondeado todas las cifras en 5 cm.

RESUMEN:

Piezómetros cuyo nivel de estiaje ha descendido (1967-1968) 81

Piezómetros cuyo nivel de estiaje ha subido (1967-1968) 4

Piezómetros cuyo nivel de estiaje no ha variado (1967-1968) 4

Descenso medio total 0,46 m

Descenso medio de piezómetros largos 0,53 m

Descenso medio de piezómetros cortos 0,34 m

Subida media de 60 piezómetros entre septiembre-octubre 1967 y febrero 1968 0,84

Subida media de 50 piezómetros largos entre septiembre-octubre 1967 y febrero 1968 0,95

Subida media de 32 piezómetros cortos entre septiembre-octubre 1967 y febrero 1968 0,64

Se comprueba que entre el estiaje de 1967 y un mes antes del estiaje de 1968, sólo cuatro piezómetros han subido ligeramente (máxima 0,15m) otros cuatro no han sufrido variación y los 81 restantes han descendido. Los largos, que controlan los niveles más profundos, acusan un descenso mayor, indicativo de la explotación actual de estos niveles acuíferos no superficiales.

Si consideramos una porosidad eficaz del 15 por 100, el descenso medio de los piezómetros cortos y multiplicamos por el área del Llano de Palma obtenemos un volumen de agua subterránea superior a 12 hm^3 , extraída en exceso respecto a su recarga.

La subida del nivel freático durante el período húmedo posterior al seco de 1967, muestra que existe piezómetros cuya recuperación es muy escasa o que, incluso, no se han recuperado. Si tomamos los mismos criterios que en el párrafo anterior, se concluye que el agua acumulada durante el último período húmedo fue de unos 24 hm^3 .

Un afine de estos cálculos, ahora realizado a modo de tanteo, está previsto efectuarlo utilizando los 233 pozos de control y los piezómetros, en septiembre de 1968.

Volviendo a la figura 12 y demostrada su realidad con el cuadro adjunto, en el que treinta y nueve piezómetros (44 por 100) ofrecen niveles de estiaje bajo el nivel del mar y 17 (19 por 100) niveles máximos de febrero de 1968 igualmente bajo el nivel del mar, se concluye que cualquiera que fuese la realimentación han de disminuirse de modo radical y urgentemente las extracciones en grandes áreas, actualmente en situación crítica.

En el plano 13 se ha intentado representar los 1886 pozos fichados en 1962. Con más detalle están situados en fotografías aéreas a escala 1:2.000, y posteriormente reducidas a escala aproximada 1:5.000 que se incluye en el anexo 3. Su observación nos indica que son precisamente las zonas con mayor número de pozos las que han de someterse a una restricción inmediata porque las consecuencias de este hundimiento del nivel piezométrico implican mayores consecuencias sociales que las que supondría una enérgica ley necesaria.

Con los niveles piezométricos de los 233 pozos seleccionados para control (plano 14), que se miden cada cinco semanas, es difícil conseguir planos de isopiezas, pues en las épocas más interesantes suelen estar bombeando agua, con lo que se falsean las conclusiones que pudieran obtenerse.

Hemos estudiado las medidas en ellos efectuadas y el resultado del estudio es igualmente desalentador: por encima del nivel del mar está extrayendo agua el 56 por 100 de los pozos; entre la cota 0 y -1 m el 17 por 100; entre -1 y -2 m el 16 por 100; y por debajo de -2 m el 11 por 100.

Si extrapolamos estos resultados a todo el Llano, lo que es factible da do que la densidad de los pozos de control se ha procurado sea cons tante, se puede afirmar que más del 40 por 100 de los pozos actuales, incluidos los de Pont d'Inca están sacando agua con nivel piezométrico bajo la cota cero (niveles estabilizados en estiaje). No es necesario realizar cálculos ni suposiciones ya que las consecuencias no son futu ras sino presentes y comprobadas como vemos en el apartado siguiente.

2. SALINIDAD

El cloruro sódico en el agua perjudica a las plantas en escala crecien te, que, según la "Guide des travaux de recherche sur la mise en va leur des régions arides" publicado por la UNESCO en 1957 es la si guiente:

Calificación	Cloruro sódico en g/l
Válida para todos los cultivos	0,5
Válida para la mayor parte de los cultivos	0,5 a 1,0
No pueden regarse cultivos sensibles sin tomar precauciones	1,0 a 1,5
No válida para cultivos sensibles	1,5 a 2,0
Utilizables con precauciones para cultivos	2,0 a 2,5
Sólo utilizables para ciertos cultivos	2,5 a 3,0
Prácticamente inutilizables	3,0 a 4,0
Inutilizables	más de 4,0

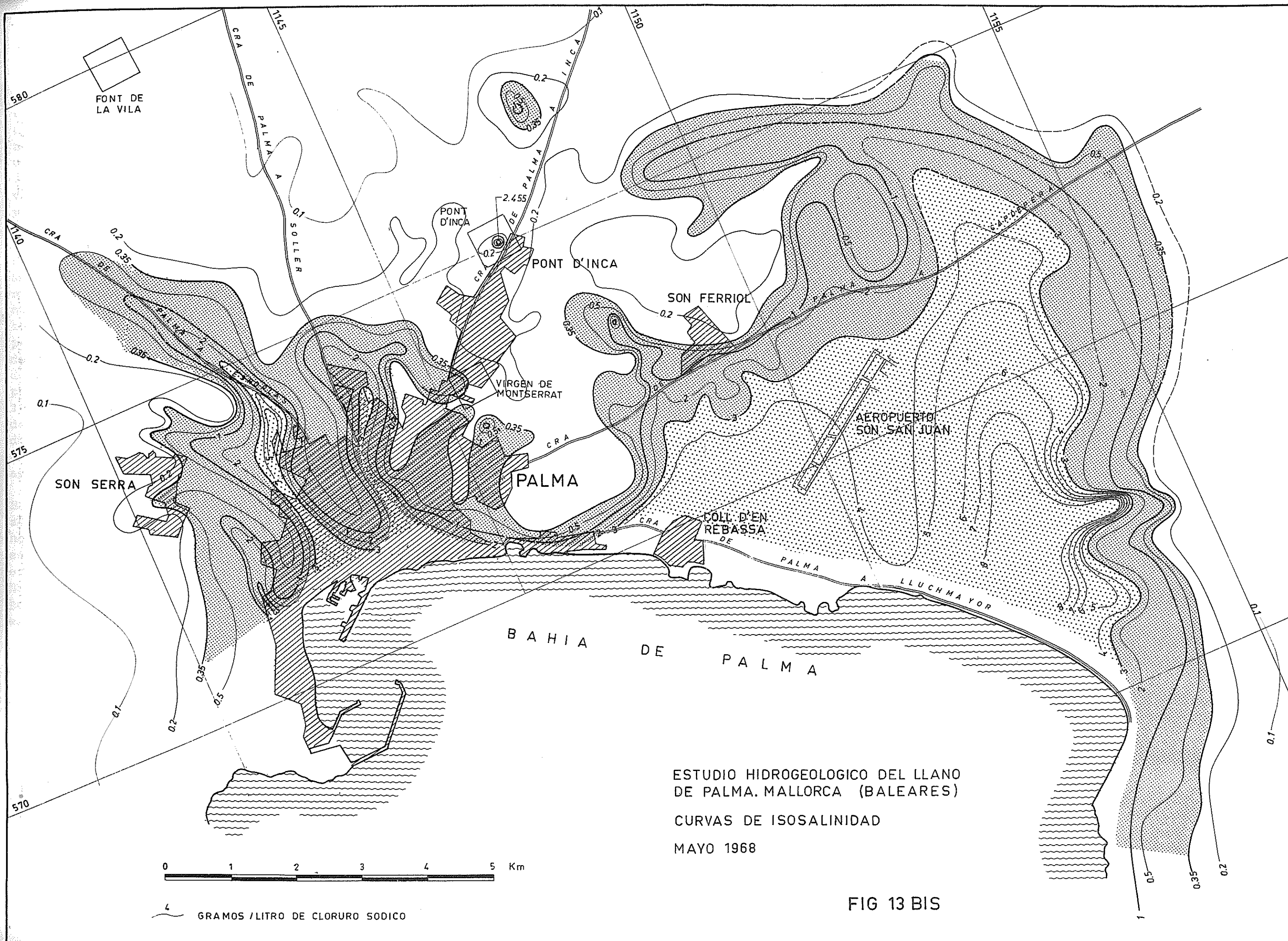
Aparte, es necesario conocer el contenido de otras sales, que empeo ran la calidad del agua al presentarse conjuntamente con el cloruro só dico.

Para el abastecimiento de poblaciones no es admisible según la legisla ción actual, agua con más de 0,35 g/l de cloruro sódico.

En 1962 se hizo el análisis químico completo de los 1886 pozos ficha dos. Con sus datos se construyeron las curvas de isosalinidad, que constan en las figuras 13 y que corresponden al contenido de cloruro sódico realmente presente en el agua explotada.

La curva de isosalinidad de 3 g/l de cloruro sódico, agua practicamen te inútil para los cultivos, alcanza y sobrepasa Sant Jordi limitando un área superior a 2.000 ha. Si observamos el mismo plano vemos que la curva de 0,5 g/l encierra un área superior a 75 km².

En el año 1965 se volvió a realizar el análisis químico de las aguas



ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL LLANO
DE PALMA. MALLORCA (BALEARES)
CURVAS DE ISOSALINIDAD
MAYO 1968

0 1 2 3 4 5 Km
GRAMOS / LITRO DE CLORURO SODICO

FIG 13 BIS

de unos 200 pozos, que coinciden con los actualmente seleccionados. El avance del agua salada ha sido impresionante en los tres años transcurridos, la curva de isosalinidad con 3 g/l de cloruro sódico ha penetrado otros 2 km hacia el norte de Sant Jordi. Igualmente ha penetrado bajo Cala Portixol casi 1 km. Bajo la ciudad de Palma 1,5 y 1,75 km en la lengua oeste. Más espectacular es el avance de la curva de 0,5 g/l, que se encuentra a 2 km de Pont d'Inca por el este y por el sur y que se acerca a Son Serra.

En el otoño de 1967 volvió a realizarse un nuevo análisis químico de las aguas extraídas en los pozos de control y construídas las curvas de isosalinidad. El resultado puede verse igualmente en la figura 13. Creemos que sobra todo comentario sobre el progreso y avance de la salinidad en los años 1962, 1965 y 1967. Cabe pensar en una recuperación o retroceso de la zona contaminada por el agua salada durante los períodos húmedos anuales, pero su menor importancia práctica queda demostrada con la figura 13 bis. Para construir sus líneas de isosalinidad se ha determinado el contenido de cloruro sódico de las aguas explotadas en los 233 pozos seleccionados durante el mes de mayo de 1968. Este mes puede considerarse como óptimo para la observación de una recuperación a estos efectos, pues en él aún no han comenzado las extracciones más importantes para los regadíos y abastecimiento, y ha transcurrido tiempo suficiente para incorporarse y actuar el agua infiltrada.

En la figura comentada se observa que la salinidad del agua de los pozos próximos a Pont d'Inca ha disminuído, fenómeno ligado a los menores caudales extraídos en esta instalación, aunque el retroceso no se acusa en el agua de Pont d'Inca. (Que no se ha incorporado en este gráfico). En la zona de los pozos de Virgen de Montserrat la salinidad ha aumentado, así como en el área de Son Serra. En el conjunto de la depresión de Sant Jordi, la zona salinizada también se ha extendido.

Puede concluirse de la observación de las figuras 13 y 13 bis, que el avance de la salinidad es contínuo y general, y que los retrocesos de la zona contaminada durante el período húmedo son locales y quedan superados por el avance general acelerado durante el período seco.

Los pozos seleccionados pueden representar la totalidad de los existentes aunque se haya procurado elegir los más profundos, dentro de los grupos de pozos próximos. Si estos pozos hubiesen extraído agua de niveles realmente independientes, no hubiera sido posible la construcción de las curvas de isosalinidad o se hubieran manifestado múltiples anomalías. En las curvas del año 1967 se observa un isleo de salinidad, junto a Sant Jordi, con más de 15 g/l, que podría explicarse por extracciones de niveles independientes si en esta zona existiesen los niveles 4 y 5, pero mejor se explica por el riego y la distribución geológica del subsuelo que comentaremos. El otro pequeño núcleo salado al norte de Son Ferriol también puede explicarse por diferentes cami

nos, sin que justifique una independencia absoluta del agua subterránea contenida en los niveles acuíferos.

En los pozos de Pont d'Inca, que fundamentalmente explotan los niveles más profundos (4 y 5), se han efectuado análisis químicos mensuales de la mezcla de agua obtenida en todos los pozos de esta instalación, y que se envía a Palma.

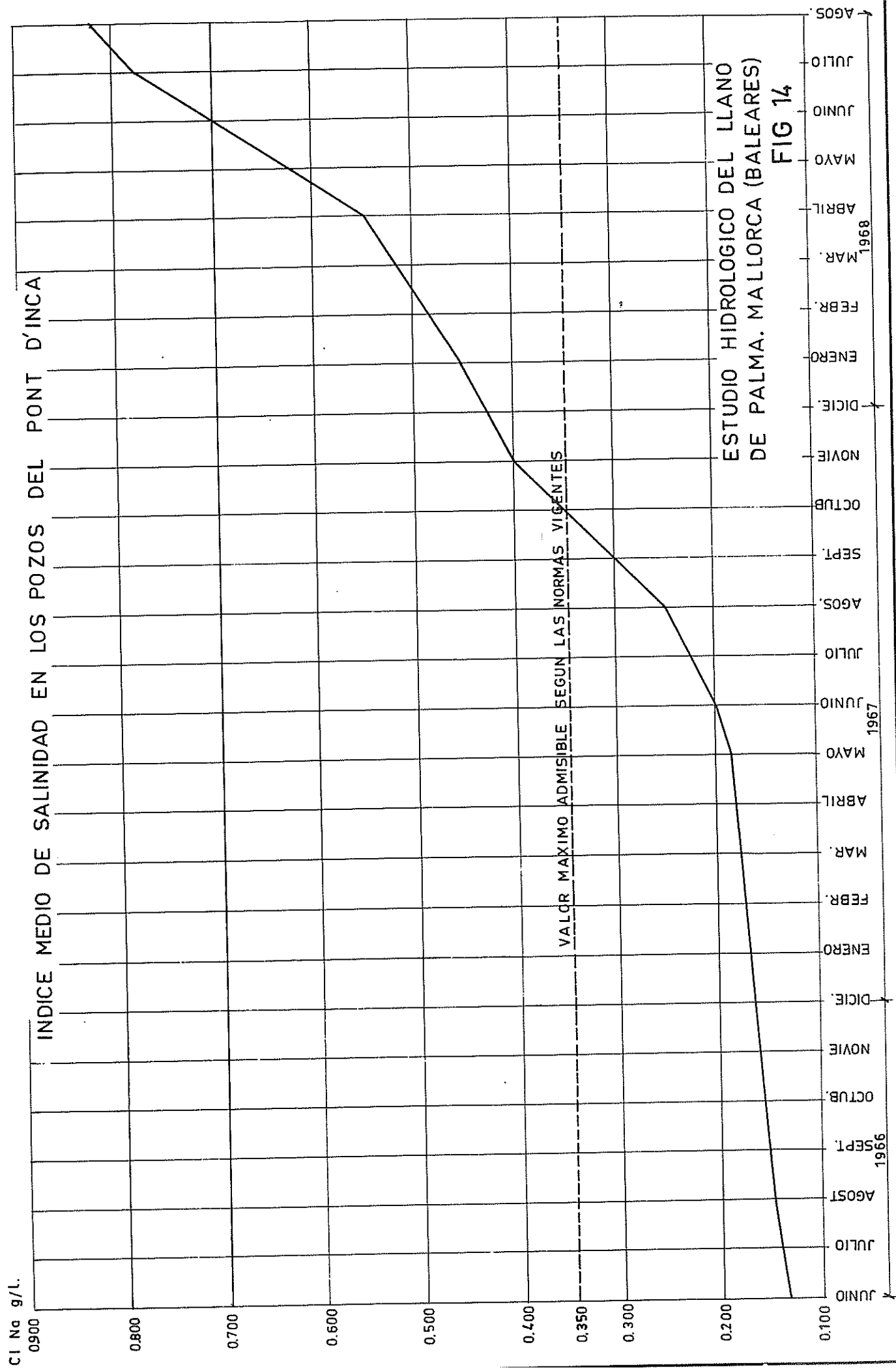
La evolución del contenido de cloruro sódico puede verse en la figura 14. En junio de 1966 presentaba 0,135 g/l. Un año después, en junio de 1967, 0,200 g/l. Es precisamente a partir de esta fecha cuando el contenido de sal aumenta de forma tal que en junio de 1968, es decir, un año después, era de 0,700 g/l. En agosto de 1968, último análisis efectuado, el contenido era de 0,820 g/l. Hacemos notar que el análisis químico efectuado del agua procedente de cada uno de los diferentes pozos que forman el conjunto de las instalaciones de Pont d'Inca, presenta grandes diferencias, propias de una circulación cárstica, habiéndose localizado agua con más de 2,7 g/l en el verano de este año, tal como se indica en el cuadro adjunto.

El agua procedente de la instalación de Virgen de Montserrat presenta el mismo proceso de salinización con valores medios del orden del 80 por 100 de los obtenidos en Pont d'Inca.

La observación simultánea de las figuras 14, 13 y 10, nos indica que el proceso acelerado de salinización radica en el incremento de las extracciones de Pont d'Inca a partir de la ampliación y profundización de sus pozos en 1962. No queremos decir que no existiese previamente el proceso, ni que los pozos de Pont d'Inca y Virgen de Montserrat sean los únicos responsables, ya que los nuevos pozos perforados también contribuyen a este fenómeno.

De estas figuras y curvas se podría concluir que en Pont d'Inca no debe obtenerse más de 8-10 hm³/año y que igualmente deben limitarse las extracciones en Virgen de Montserrat. Estas extracciones anuales futuras han de ir de acuerdo con la realimentación cuya eficacia controlan los niveles medidos en los piezómetros, que precisamente se proyectaron y realizaron para observar y proteger Pont d'Inca y Virgen de Montserrat.

En todos los piezómetros se mide cada tres meses (a lo largo de todo el taladro) el contenido de sales en el agua, expresados en g/l de cloruro sódico equivalente. En el estadillo incluido en la figura 15 se anotan los valores correspondientes a varias profundidades elegidas. De esta forma se observa el avance de la salinidad de modo más rápido y continuo, y se elimina el riesgo de la toma de muestras de agua, que pueden incluir las de diferentes profundidades. Para garantizar los resultados de estas medidas de resistividad y temperatura, aparte de los aforos previos en el laboratorio del Servicio Geológico, se han repeti-



CONTENIDO DE CLORURO SODICO EN mg/l DEL AGUA
DE LOS POZOS DE PONT D'INCA Y
VIRGEN DE MONTSERRAT (1968)

Pont D'Inca

Fecha análisis	Pozos										Agua mezclada
	S-I	S-II	P-9	S-III	S-IV	S-V	P-10	S-VI	S-VII	P-11	
17 enero	1.052	1.461	1.368	678	163	-	128	187	152	117	467
28 marzo	1.403	2.280	853	1.403	292	-	269	327	292	222	531
3 mayo	1.987	2.455	1.754	1.052	-	-	-	-	-	-	549
31 julio	1.695	2.484	2.426	818	281	380	292	315	339	146	701
30 agosto	2.046	2.718	2.660	964	315	397	292	366	374	163	818

Virgen de Montserrat

Fecha análisis	Pozos			Agua mezclada
	1	2	3	
28 marzo	596	280	257	-
3 mayo	602	-	-	467
31 julio	701	585	351	643
30 agosto	760	643	304	573

do varias veces en el campo con intervalos de media hora. Los ensayos verificados comprueban la bondad del método y equipo y eliminan las dudas que pudieran surgir en su interpretación.

Del estudio de los gráficos obtenidos en julio y octubre de 1967 se deduce que el aumento de salinidad se presenta en todos los niveles acuíferos. En la zona más próxima a la costa el crecimiento alcanza 1 g/l de cloruro sódico equivalente por mes y la salinidad es mayor en los piezómetros profundos. A distancias intermedias el incremento alcanza 0,5 g/l por mes; unas veces es más salada el agua de los niveles profundos y otras al contrario. En la zona más alejada de la costa el crecimiento es mucho menor, y, casi siempre, es más salada el agua superficial.

Estas cifras están de acuerdo con las curvas de isosalinidad de la figura 13, si aceptamos las pequeñas diferencias lógicas al corresponder las aguas extraídas a una mezcla de diferentes niveles, que en los piezómetros están aislados, y venir expresados en cloruro sódico, por lo que no incluyen la influencia de otras sales.

La salinización es general y afecta al Cuaternario, al nivel 2 (Tortonense superior) y a los niveles helvecienses (4 y 5). Muestran, una vez más, que existe una intercomunicación general entre ellos con independizaciones locales.

En la zona de Sant Jordi el agua salobre penetra fundamentalmente por las molasas tortonienses (nivel 2) y de una forma general desde Coll d'En Rebassa hasta El Arenal. En esta área predominan en el Cuaternario depósitos margo-arcillosos lacustres o de albufera (plano 3 y apartado 1.1.) ya que los niveles arenosos de mayor permeabilidad tienen poco desarrollo.

El cauce enterrado de Soller, que hemos ligado a la falla no comprobada del mismo nombre, y con la que aproximadamente debe coincidir, por sus características topográficas de fuertes pendientes en las laderas contendrá materiales más bastos y permeables. Es por tanto un camino favorable para la entrada y avance del agua salada bajo la ciudad de Palma. La penetración se había iniciado en el año 1962, se desarrolló bastante hasta 1965 y de un modo extraordinario entre 1965 y 1967 al disminuir la aportación de agua subterránea, extraída más al norte.

Las aportaciones del área occidental de la cuenca hubieran contenido el avance salobre hacia el oeste. Sin embargo, la falla de Establiments, que debe prolongarse al sur de la falla de Virgen de Montserrat, constituye un nuevo camino favorable para la penetración. Si a ello unimos las importantes y recientes extracciones en el campo de tiro, próximas al piezómetro C-2, que acusan grandes oscilaciones y niveles del agua inferiores a la cota -8 m y la pequeña extensión de su cuenca de ali-

mentación (Zona 1₂), se explica el ramal y penetración profunda hacia el noroeste de las curvas de isosalinidad en 1967, que muestran 1 g/l a 7 km de la costa y a unos 2 km de la Font de la Vila.

Las aguas situadas sobre el eje del cauce enterrado de Soller y falla de Soller, son llamadas hacia Pont d'Inca por la depresión creada y alimentan esta zona. Al norte penetran en los niveles 4 y 5, a través del nivel 1, por el frente de la falla de Son Sardina. Mermada la realimentación, se produce el avance del agua salada por su cauce. La falla Virgen de Montserrat ha favorecido la penetración del agua salada según su dirección, por las extracciones de Pont d'Inca, que superan las posibilidades de alimentación de este accidente favorable, que cruza y puede drenar las de Amatller, Burrel, Son Ferriol, Son Sardina y Santa María. Su zona de influencia alcanza hasta el sumidero del sondeo S-29. Por esta razón las extracciones de Sant Jordi influyen en las del abastecimiento y recíprocamente.

El agua salada penetró por el Cuaternario bajo la ciudad de Palma y alcanzó los niveles 4 y 5 (plano 12), posiblemente en 1966, según se deduce de los planos de isosalinidad. Por ello en el siguiente verano de 1967, época de máximas extracciones y lluvias escasas, se ha acelerado la salinización de Pont d'Inca, según muestra la figura 14.

La zona de Son Serra, de la que actualmente se extrae agua para reforzar el abastecimiento de la ciudad, queda protegida de la penetración salina por el muro impermeable burdigaliense que define las fallas de Génova. Sin embargo, la fuerte depresión creada junto a C-2 y el favorable camino a través de la falla de Establiments, unido a la pequeña cuenca hidrológica de Son Serra, harán que el agua salada contornee este muro por su flanco este y límite norte y penetre hacia el oeste, tal como ya insinúa el plano de curvas de salinidad del año 1967.

La situación de las fallas y esquemas de circulación comentados, con los que pueden perforarse nuevos pozos con grandes probabilidades de éxito, ya hace tiempo que los conocíamos. El no habérselos facilitado al Ayuntamiento o hecho públicos, es debido a: que no fueron solicitados, que las consecuencias de su conocimiento por los que manejan o contratan las ciento setenta y cinco sondas que trabajan en la isla, podían ser irremediables y, fundamentalmente, porque cualquier solución que se planease para el abastecimiento de la ciudad a base de nuevos pozos perforados en el Llano, tiene la vida muy limitada. En ellos también se produciría irremediablemente y a corto plazo la salinización. En el caso de una situación accidental es factible solucionar el problema inmediato de forma más o menos económica y en un corto período de tiempo, con pozos perforados en sitios ya previstos.

GEOLOGIA (y referencias bibliográficas)		
Mapa geológico: _____ escala: _____ Hoja: _____ N.º: _____ Coordenadas: _____		
<u>EJECUCION DE LA OBRA</u>		
Tipo de sondeo: _____		
Pozero o sondista: _____		
Empresario: _____		
Fecha: _____		
<u>OBSERVACIONES</u>		
<u>TESTIGOS Y MUESTRAS</u>		
Caja N.º: _____	Muestra N.º: _____	Depositada en: _____
Entregada por: _____		
Datos facilitados por: _____		
Fecha: _____		
Vistas: _____		
Datos recopilados por Don: _____		

LLANO DE PALMA

Piezómetro Coordenadas $\left\{ \begin{array}{l} x = \\ y = \end{array} \right.$
Cota

[illegible]

<u>INVESTIGACIÓN HIDROGEOLÓGICA</u>		<u>Plan Director 1:25 000</u>	
Ter Municipal: Paraje: Finca: Propietario:	N° de control: Hoja... N.º Sistema Lambert } x = y = <u>Fotograma aéreo</u> N.º: Escala: Cuota del terreno } D.P.D.: S.n.m.:		
<u>CAPTACIÓN</u>			
Prof. pozo: id. sondeo id. total Ø pozo: Ø sondeo:			
<u>Observaciones:</u> (galernas, diversidad de Ø en el sondeo, etc.)			
<u>HIDROLOGIA</u>			
<u>Estiaje</u> En reposo H: _____ h: _____ m: _____ Fecha: _____ Extracción H: _____ h: _____ m: _____ Fecha: _____ <u>Invierno</u> En reposo H: _____ h: _____ m: _____ Fecha: _____ Extracción H: _____ h: _____ m: _____ Fecha: _____			
<u>Caudal</u> Estiaje: m³ día Invierno: m³ día Q = litaseg	<u>Examen del agua</u> Dulce: _____ Salobre: _____ Salada: _____ Transparente: _____ Inodora: _____		
<u>Análisis</u>			
Cl: _____ SO ₄ : _____ Dt: _____ T: _____ Fecha: _____	Cl: _____ SO ₄ : _____ Dt: _____ T: _____ Fecha: _____		
Maquinaria extractora: (Motorbomba, molino, bomba pistón, etc)			
Motor: C.V (de explosión, eléctrico) _____			

IMPRESO-CARPETA DE INVENTARIO DE POZOS

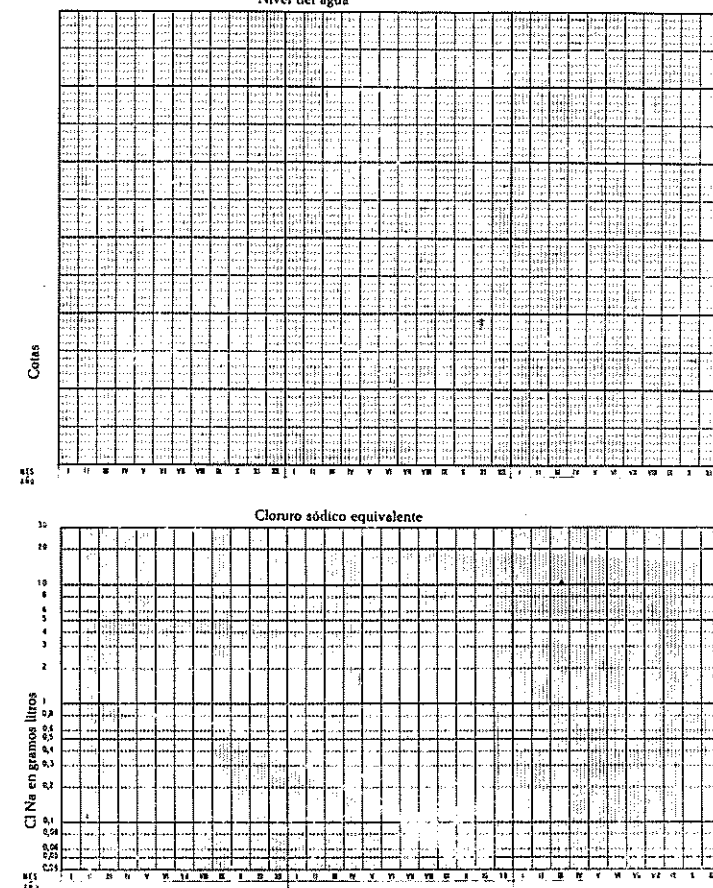
REGISTRO DE OBSERVACIONES EN LOS POZOS SELECCIONADOS,
SONDEOS Y PIEZOMETROS

(EL DORSO ESTA RESERVADO PARA ANALISIS QUIMICOS)

LLANO DE PALMA

Coordenadas $\left\{ \begin{array}{l} x, \\ y. \end{array} \right.$

Nivel del agua



IMPRESO-CONTROL GRAFICO DE NIVELES

CONTROL GRAFICO DEL NIVEL PIEZOMETRICO EN LOS POZOS
SELECCIONADOS, SONDEOS Y PIEZOMETROS.-CONTROL DEL
CI No A DIFERENTES ALTURAS
(LA CUADRICULA EN COLOR SIENA)

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL LLANO
DE PALMA. MALLORCA (BALEARES)

FICHAS E IMPRESOS UTILIZADOS EN
EL INVENTARIO Y CONTROL DE POZOS
Y PIEZOMETROS.

IX. RESUMEN

Aún tomando cifras optimistas para las infiltraciones probables en la cuenca hidrogeológica propia y admitiendo que toda el agua infiltrada en la cuenca recarga el Llano de Palma y que, incluso, acuden a ella porcentajes importantes de dos cuencas hidrológicas geológicamente independientes, el balance hidráulico y el descenso de niveles piezométricos muestra que las extracciones y aprovechamientos superan en más de 13 hm^3 a las aportaciones.

Esta diferencia se extrae del agua almacenada en los materiales porosos del subsuelo, que superará a los 200 hm^3 . El error ha consistido en creer que es posible explotar estas reservas sin preocuparse del futuro y olvidar dos premisas importantes:

1º. Es necesario conocer cuál es la recarga, que nos indicará los máximos volúmenes medios que podemos extraer anualmente. La reserva puede cubrir los años secos y necesidades temporales, pero no respaldan el futuro, pues sus aguas son siempre en cantidad limitada.

2º. Los usuarios han olvidado las consecuencias de una irracional explotación. El descenso del nivel piezométrico, que obliga a desembolsos constantes para profundizar los pozos y aumentar las potencias de los motores, es conocido y soportado por los propietarios, al no existir en nuestra Ley de Aguas medios factibles que la impidan. El hundimiento del nivel piezométrico puede aumentar solamente el coste de la explotación si la reserva se encuentra sobre el nivel del mar, pero cuando existen materiales salinos o nos encontramos junto al mar, sus consecuencias pueden ser irremediables, ya que, al invertirse el gradiente natural, el agua del mar avanza subterráneamente y puede salinizar e inutilizar las reservas, propiedad de la colectividad y no propiedad feudal de una minoría.

En 1967-1968 el hundimiento general del nivel piezométrico ha sido de $0,40 \text{ m}$, valor alarmante, pues supone que en 1969 más de la mitad del Llano estará bajo el nivel del mar.

Como no existe una barrera natural que impida el paso del mar, ni ser económicamente factible realizarla, antes bien está favorecido este avance por las fallas y fracturas, que aumentan la permeabilidad de los materia

les permeables, la casi totalidad de los pozos actualmente en explotación serán salinizados en un próximo inmediato.

Las curvas de salinidad obtenidas, los niveles piezométricos observados, la geología y los cálculos efectuados están de acuerdo y justifican la prohibición de perforar nuevos pozos en el Llano y en toda la isla, no sólo durante seis meses sino mientras no cambien las condiciones actuales. Nuestros estudios de la zona de La Puebla, próximos a terminar, así como los previos de toda la isla nos señalan los mismos fenómenos que hemos encontrado en Palma y la necesidad de hacer un alto inmediato en la alocada carrera emprendida y meditar seriamente.

No es necesario rebatir a quienes confían en misteriosos ríos subterráneos que proceden de los Pirineos y de los Alpes y alimentan la Isla de Mallorca, pero sí conviene hacer ver que la postura práctica de muchos hace pensar que consciente o inconscientemente creen en este milagro, cerrando los ojos a la realidad que diariamente les muestra lo contrario.

X. SOLUCIONES PARA EL PRESENTE Y FUTURO

Aún cuando este informe se refiere al Llano de Palma y su cuenca hidrológica, mucho nos tememos que sus conclusiones valen para todo el archipiélago Balear. Haciendo abstracción de este problema más general, del que no hemos prescindido desde el comienzo de nuestros trabajos, la actuación necesaria inmediata y futura exige la unificación de los esfuerzos por parte del Ministerio de Agricultura y de Obras Públicas, la coordinación de los regadíos y de los abastecimientos y la consideración eficaz de que todas las aguas constituyen una unidad indivisible en su control, legislación y explotación.

A efectos del abastecimiento de la ciudad de Palma y núcleo del Llano la única solución viable y segura radica en la construcción y puesta en servicio urgente del plan general para el abastecimiento de agua, ya en proceso de construcción o de información pública. El aprovechamiento de las escorrentías superficiales, que por el régimen de avenidas vierten al mar en su mayor parte y el trasvase de agua de la vertiente occidental de la isla, es obra que a todos beneficia. Con este plan queda suficientemente abastecido el núcleo de población más importante de la isla durante los próximos 15 años y pueden reducirse las extracciones actuales para el abastecimiento a 6 hm^3 , más los 3 hm^3 que aporta el manantial de la Font de la Vila.

Simultáneamente no puede permitirse la construcción de ningún nuevo pozo, profundización de los existentes, ni cualquier tipo de obras que pueda incrementar los caudales beneficiados. Respecto a los regadíos compete al Ministerio de Agricultura habilitar medios para luchar contra la salinización y mejorar el sistema (canalizaciones, riegos por aspersión...).

Cuando los embalses permitan dejar de extraer más de 15 hm^3 para el abastecimiento de la ciudad de Palma, esperamos que el fenómeno se contenga y finalmente retroceda, pero ello no es suficiente si se quiere explotar al máximo el agua subterránea del Llano. Consciente de nuestra postura idealista y de las dificultades que encierra su ejecución, proponemos para conseguir la máxima explotación de las aguas subterráneas de esta zona que sean cedidos a la Administración u organismo que fuere, todas las instalaciones actuales de bombeo, y que ésta realice la construcción de una red de acequias y canales, que partiendo de unas instalaciones de bombeo racionalmente elegidas distribuya el

agua a todos los interesados. De esta forma podrían realizarse en el futuro las máximas extracciones posibles de acuerdo con la recarga anual y situación del agua salobre y con los controles piezométricos adecuados, distribuidos en una amplia red, a la que se incorporarían los construidos por el Ministerio de Obras Públicas.

Este proyecto puede realizarse a base de los planos y datos que nos han servido para la confección de este informe. Un ensayo analógico sería muy conveniente para la fijación óptima de los puntos de bombeo. En principio y aunque no hemos realizado el tanteo económico, creemos que este sistema de explotación propuesto es más económico que el actual y beneficiaría la extracción.

Controladas las aguas subterráneas y sometidas a una explotación racional es la ocasión de construir los dos embalses permeables estudiados junto a Establiments y Valldemosa, ya que sus efectos beneficiarían a la colectividad y no solamente a un número reducido de propietarios afortunados que, amparándose en nuestra ya venerable Ley de Aguas, se beneficiarían particularmente de unas obras construidas para beneficio general.

También hay que conseguir que las aguas residuales se depuren y se restituyan al terreno. Pozos filtrantes debidamente situados, que inyecten las aguas depuradas de la ciudad de Palma, conseguirán que la penetración de agua salada en esta zona se detenga y retroceda, aumentando junto con las procedentes de otros núcleos urbanos las posibilidades de extracción en el Llano.

Este proyecto, ejecutado de acuerdo con un plan no difícil de realizar, permitirá obtener un incremento de las aguas extraídas a un precio inferior a la siempre presente potabilización del agua del mar.

Mucho antes de tener que recurrir a este procedimiento se habrán concluido los estudios hidrogeológicos, que el Ministerio de Obras Públicas realiza en la Isla de Mallorca, localizando zonas no deficitarias y recursos ahora no íntegramente explotados, de forma que alcance el mar sólo la proporción de agua dulce cuyo aprovechamiento es anti-económico o humanamente inabordable.

Por último creemos que pudieran revisarse y continuarse los estudios sobre lluvia artificial en la isla, que comenzó hace años G.E.S.A., por si sus conclusiones animaran a realizar estas experiencias.

XI. CONCLUSIONES

- 1a. La situación de las aguas subterráneas del Llano de Palma es crítica, hasta el punto que las soluciones legales y remedios que se preconizan han de ser aplicados de forma inmediata.
- 2a. Las extracciones realizadas en 1967 en toda la cuenca hidrológica del Llano superan en más del 25 % a las máximas permisibles. Sus valores absolutos están aumentando en 1968.
- 3a. La causa de la salinización progresiva del agua subterránea en todo el Llano se debe a:
 - a) Falta de un plan racional de explotación.
 - b) Ausencia práctica de un organismo que controle y vigile los trabajos de alumbramiento, pues ni siquiera en los pocos pozos autorizados o legalizados se tienen en cuenta los mínimos principios lógicos de la búsqueda y explotación de aguas subterráneas.
 - c) Especulación del agua y anarquía en las extracciones, que desde hace más de tres años superan a las máximas permisibles.
 - d) Extracciones abusivas en zonas contaminadas que aceleran el proceso de salinización al mezclar el agua dulce y salada.
- 4a. Sin una nueva ley, moderna y eficaz, que tenga en cuenta la unidad de las aguas y el bien común que representan, serán inútiles los estudios o medidas que se decidan, no sólo en el Llano de Palma sino en todas las islas Baleares. El cumplimiento de esta ley debe responsabilizarse en un organismo bien dotado de medios técnicos y coercitivos, en el que estén representados los usuarios del agua.
- 5a. La única solución viable válida para los próximos quince años radica en la construcción y puesta en servicio urgente del Plan General de Abastecimiento a la Isla de Mallorca, confeccionado por el Ministerio de Obras Públicas.

- 6a. Los caudales que aporte esta solución a los abastecimientos urbanos permitirán disminuir las extracciones de agua subterránea y aliviar y frenar la progresiva entrada de agua salada.
- 7a. Deben acelerarse los estudios hidrogeológicos de toda la Isla de Mallorca, iniciados ya hace tiempo por el Ministerio de Obras Públicas.
- 8a. Puestos en funcionamiento los embalses y cualquiera que fueren los recursos hidráulicos localizados es necesario replantear la explotación del agua subterránea en el Llano de Palma mediante:
- a) Ensayo analógico
 - b) Perforación de nuevos pozos en los puntos óptimos deducidos en el ensayo anterior y abandono de la mayor parte de los actuales.
 - c) Reutilización para el riego de las aguas residuales en la cuantía económicamente posible.
 - d) Control continuo del agua extraída, de los niveles piezométricos y de la situación del agua salobre, lo que permitirá definir cada año los caudales máximos a extraer y su razonable distribución.
 - e) Construcción de los embalses permeables de Valldemosa y Establiments.
 - f) Mejora del sistema de riego y lucha contra la salinización producida por el uso de agua salobre en las zonas de cultivo.
- 9a. Deben continuarse los estudios sobre potabilización de agua del mar a la que en un futuro no lejano habrá de recurrirse, pese al coste del m³ de agua obtenida.
- 10a. Es conveniente reactualizar los estudios sobre lluvia artificial, por si conviniera continuarlos con el objetivo de incrementar las precipitaciones en determinadas zonas de escorrentía o infiltración elevada y con posibilidades de control por embalses o recarga del agua subterránea.
- 11a. No se puede confiar en la existencia de un nivel acuífero profundo, independiente de los tres niveles acuíferos localizados, que a todos los efectos prácticos están intercomunicados y sometidos a los mismos fenómenos de salinización. No obstante pudieran realizarse estudios a profundidades superiores a los 500 m, sin olvidar su incertidumbre en lo que se refiere a la eficacia de su explotación a medio y corto plazo.

- 12a. Las extracciones de aguas en la zona de la cordillera y dentro de la cuenca hidrológica del Llano han de planearse con gran cautela y sopesando seriamente sus consecuencias, pues en muchos casos restarían agua que alimenta la zona del Llano.
- 13a. Las dificultades y plazo que requieren las obras y estudios recomendados, subordinados en gran parte a la puesta en vigor de una nueva ley de aguas, que conceptúe a las aguas subterráneas al igual que a las superficiales, como un bien común sujeta a concesiones, reglamentación y vigilancia, obligan a tomar entretanto las siguientes medidas:
- a) Prohibición de nuevas perforaciones de pozos o incremento y mejora de los existentes en toda la cuenca del Llano de Palma. Las obligadas excepciones con objeto de atender necesidades ineludibles o urgentes, habrán de ser autorizadas y controladas por el Servicio Hidráulico de Baleares, que asistido por el Servicio Geológico y de acuerdo con los estudios realizados y observaciones en curso sopesarán los nuevos daños, que puedan producirse.
 - b) Clausura en el plazo más breve posible de los pozos situados en una zona costera de tres km de anchura y que obtenga agua con más de 2 g/l de sal, a no ser que se demuestre que sus extracciones no aceleran la mezcla de agua dulce y salada. En la zona de Sant Jordi deben coordinar sus esfuerzos los Ministerios de Agricultura y Obras Públicas.
 - c) Otros pozos no alcanzados por estas condiciones pero causantes de grandes penetraciones de agua salada, habrán de reducir progresivamente sus extracciones hasta la cuantía necesaria para no perjudicar el resto de la zona.
 - d) Construcción de nuevos pozos para el abastecimiento de agua a la ciudad de Palma hasta que entren en funcionamiento los embalses, sabiendo que se trata de una solución de urgencia y de vida limitada y que las extracciones de los dos próximos años incrementarán la actual inutilización de las aguas subterráneas, si se sitúan en la cuenca del Llano.
 - e) Urgente restitución al terreno de las aguas residuales debidamente depuradas.
 - f) Disposiciones restrictivas en el consumo de agua para usos domésticos, tales como prohibición del uso de agua dulce en las piscinas, tarifas crecientes etc.
 - g) Modificación del sistema de extracción de agua salada para la refrigeración de la central térmica, con objeto de eliminar

la depresión piezométrica en ella existente.

- 14a. La utilización de aguas subterráneas obtenidas en zonas no pertenecientes a la cuenca hidrológica del Llano de Palma, que puede ser solución transitoria, exige tener en cuenta la cuantía y forma en la que serán perjudicadas las explotaciones existentes en esas zonas.

Madrid, septiembre de 1968

El Ingeniero Encargado



Firmado:

Angel García Yagüe

Examinado

El Director



Firmado:

Manuel Gómez de Pablos

BIBLIOGRAFIA

- 1 Enrique Hermite: "¿Es posible obtener aguas ascendentes en Mallorca?" Establecimiento tipográfico de Pedro José Gelabert . 1879. Palma.
- 2 Enrique Hermite: "Los pozos artesianos en Mallorca . Rectificación a la obra de Mr. Alfonso Richard titulada "Los pozos artesianos en España" en la parte referente a Mallorca . Año 1879. Establecimiento tipográfico de Pedro José Gelabert. Palma.
- 3 Enrique Hermite: "Etudes Geologiques sur les Illes Balears. Première Partie. Majorque et Minorque". París 1879.
- 4 E. Estada: "Contribución al estudio del Abastecimiento de aguas potables de la ciudad de Palma". 1912.
- 5 P. Fallot: "Etude geologique de la Sierra de Mallorca". 1922.
- 6 P. Fallot: "Esquisse morfologique des îles Balears". 1923.
- 7 José Zaforteza y Musoles: Conferencia que acerca del "Abastecimiento de Agua potable de Palma de Mallorca" leyó en el Salón de Sesiones del Excmo. Ayuntamiento, el 10 de marzo de 1925.
- 8 Bartolomé Darder Pericás: Conferencia sobre "Las Aguas subterráneas aprovechables para el abastecimiento de la ciudad de Palma", pronunciada en el Excmo. Ayuntamiento el día 10 de febrero 1925.

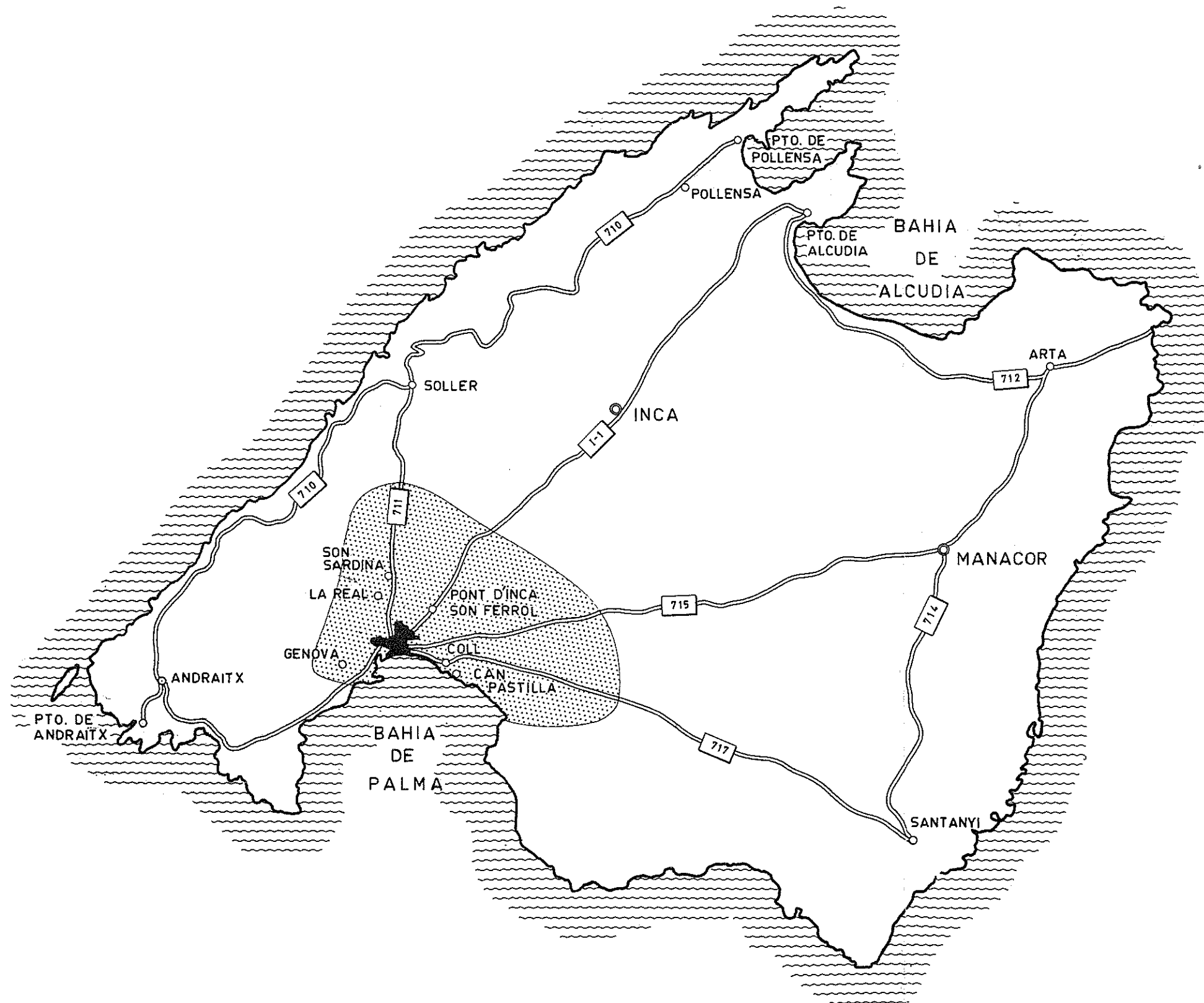
- 9 P. Fallot y B. Darder: "Observaciones geológicas en la re
gión central de Mallorca". 1925.
- 10 B. Darder y P. Fallot: "Isla de Mallorca". 1926.
- 11 O. Mengel: "Mouvements Quaternaires dans
l'Ille de Majorque". Compt. Ren-
du. Somm., Soc., Geol., Franc.
nº 6, 1934. p. 84086. Año 1934.
- 12 Aytº de Palma: "El Servicio Municipal de Aguas.
Notas descriptivas de las obras pre
liminaries del proyecto de abasteci-
miento de agua a presión a la ciu
dad, inauguradas en marzo de
1934."
- 13 José Zaforteza Musoles: "El abastecimiento de agua de Pal-
ma . Estado actual. Sus causas.
Medios que se proponen para resol
ver el problema. La labor del Ayun-
tamiento". Año 1945.
- 14 A. Chavan: "Tableau de correlation des forma-
tions pliocenes et quaternaires ouest
mediterranneennes, europeennes, at
lantiques et nordiques". Bull. Soc.
Geol. France 5a ser. T. vingtième,
fasc. 7.8.9, 1950. París.
- 15 G. Colom: "Más allá de la Prehistoria, una geo-
logía elemental de las Baleares" .
1950.
- 16 Francisco Valdés Guzmán: "Hidrología subterránea de la Isla de
Mallorca". Publicado en la "Revista
de Geofísica", núm. 38 Madrid. Ta-
lleres del Instituto Geográfico y Ca-
trastal. Año 1951.
- 17 José Mª Jansá Guardiola: "Hidrología superficial de la Isla de
Mallorca". Rev. Geofísica. nº 38.
Madrid. 1951.
- 18 A. Muntaner: "Los aluviones del Llano de Palma"
1954.
- 19 G. Colom: "Biogeografía de las Baleares". 1957
- 20 A. Muntaner: "Las formaciones cuaternarias de la
Bahía de Palma". 1957.

- 21 A. Muntaner: "Formaciones no citadas del Trias, Jurásico, Cretácico, Oligoceno y Burdigaliense en la región de Sta. María-Marratxi". 1959.
- 22 Vicente Rosselló Verger: "La Huerta de Levante en Palmade Mallorca". Instituto Juan Sebastián Elcano. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid. 1959.
- 23 J. Oliveros, B. Escandell y G. Colom: "Estudio sobre la formación de los depósitos lacustres con lignitos del Ludiense-Estampiense inferior en Mallorca. 1960.
- 24 J. Oliveros, B. Escandell G. Colom: "Estudio de los terrenos postburdigalienses en el Llano Central de la Isla de Mallorca". 1960.
- 25 Luis Solé Sabarís: "Oscilaciones del Mediterráneo español durante el cuaternario". Discurso leído en la Sala de Actos de la Delegación en Barcelona del Consejo Superior de Investigaciones Científicas el día 14 de abril en la sesión solemne dedicada a San Isidro. Año 1961
- 26 Solé Sabarís: "Le quaternaire marin des Balears et ses rapports avec les côtes méditerranéennes de la Péninsule Ibérique". Rev. Quaternaria. VI Roma, 1962.
- 27 S.M.A.Y.A.: "Memorias 1958, 1959 1967."
- 28 K.W. Butzer: "Coastal geomorphology of Majorca" Annales of the Association of American, Geographers. Jun, 1962.
- 29 UNESCO: "L'Hidrologie de la zone aride" 1952.
- 30 UNESCO: "Guide des travaux de recherche sur la mise en valeur des régions arides". 1957.

- 31 V. Vidal, F. Reig,
M.R. Llamas, A. Muntaner: "Informe geológico acerca de las disponibilidades hidráulicas de todo género en la Isla de Mallorca". Servicio Geológico de Obras Públicas. Asesoría Geológica. 1962.
- 32 I.G.M.E.: "Hojas geológicas escala 1/50.000 de la Isla de Mallorca publicadas hasta 1968."
- 33 Ven te Chow: "Handboock of applied hydrology". Mc. Graw-Hill. 1964.
- 34 Mº de Agricultura: "Evapotranspiraciones potenciales y balances de agua en España". 1965.
- 35 R.J.M. de Wiest: "Geohydrology" 1965
- 36 S.N. Davis:
R.J. M. de Wiest: "Hidrogeology" 1966
- 37 G. Castany: "Traité pratique des eaux souterraines". Dunod. París 1967.

INDICE DE PLANOS

- Hoja
1. Plano de situación general
 2. Plano de situación de sondeos mecánicos geofísicos y piezómetros
 3. Plano geológico
 4. Plano geológico de la zona oeste de Palma
 - 5.1. Situación de perfiles
 - 5.2. Cortes geológicos IV, I, II, V y III
 - 5.3. Cortes geológicos IV, I, II, V y III (continuación)
 - 5.4. Cortes geológicos IV, I, II y III (continuación)
 - 5.5. Cortes geológicos transversales I, II, III, IV y V
 - 5.6. Cortes geológicos transversales I, II, III, IV y V (continuación)
 - 5.7. Cortes geológicos transversales VI, VII, VIII, IX y X
 6. Plano topográfico del Plio-cuaternario
 7. Curvas topográficas del techo de nivel 2
 8. Curvas topográficas del techo de nivel 3
 9. Curvas topográficas del techo de nivel 4
 10. Curvas topográficas del techo de nivel 5
 11. Curvas topográficas del techo de nivel 6
 12. Plano geológico bajo el Cuaternario-Plioceno
 13. Situación de pozos
 14. Situación de los 233 pozos de control





273m
534-5
536-4
211m

3150

SIGNOS CONVENCIONALES

- SONDEO MECANICO
- PIEZOMETRO
- PERFIL GEOELECTRICO

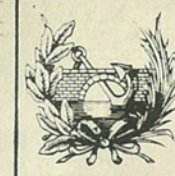


SERVICIO GEOLOGICO
DE OBRAS PUBLICAS

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL LLANO DE PALMA
ISLA DE MALLORCA (BALEARES)

PLANO DE SITUACION DE SONDEOS
MECANICOS GEOFISICOS Y PIEZOMETROS

FECHA: SEPT 58	EXAMINADO EL DIRECTOR	EL INGENIERO ENCARGADO	HOJA Nº
ESCALA: 1:50,000	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>	2



SERVICIO GEOLOGICO
DE OBRAS PUBLICAS

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL LLANO DE PALMA
ISLA DE MALLORCA (BALEARES)

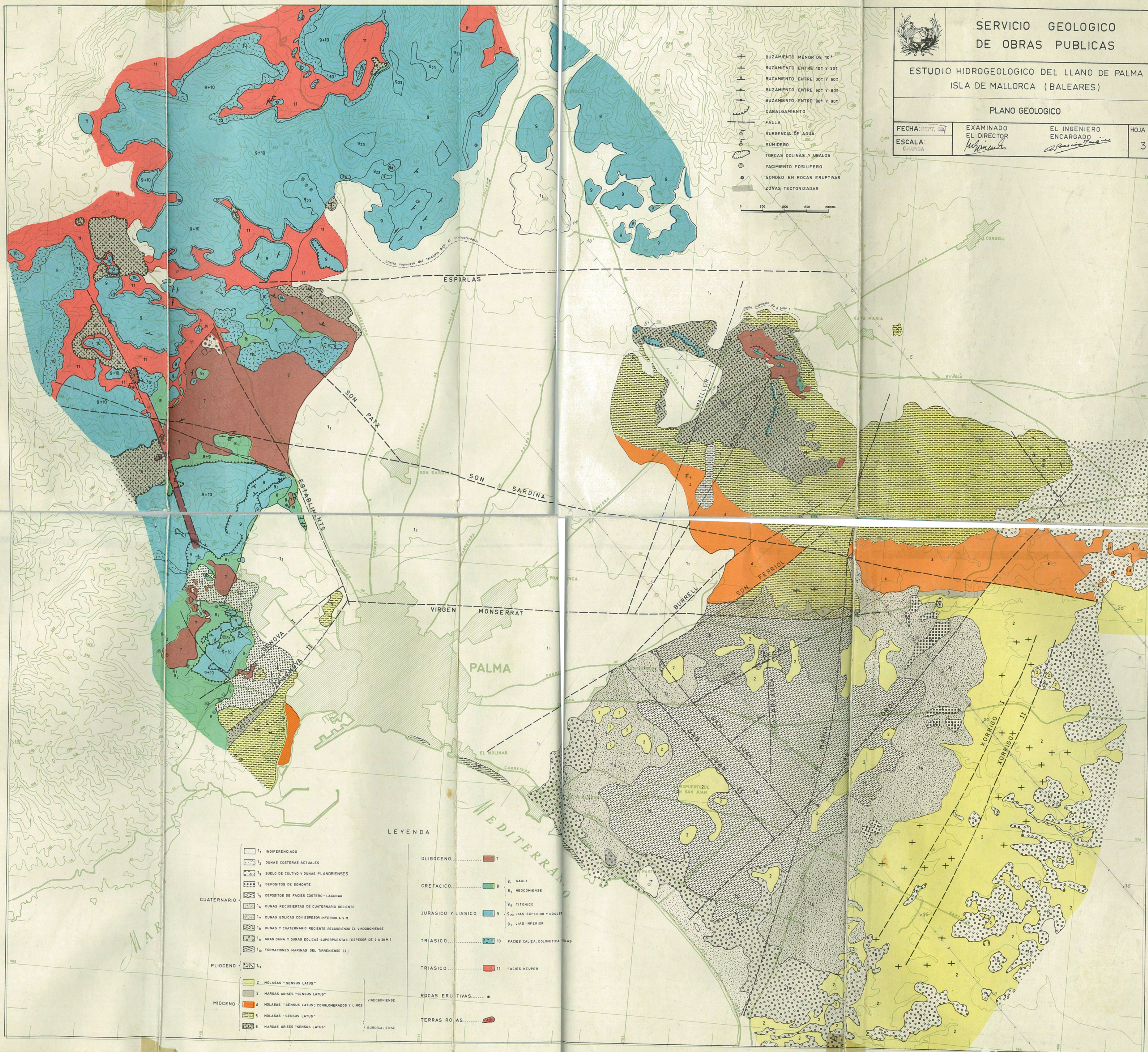
PLANO GEOLOGICO

FECHA: 1977, 04
ESCALA: 1:50,000

EXAMINADO
EL DIRECTOR
[Signature]

EL INGENIERO
ENCARGADO
[Signature]

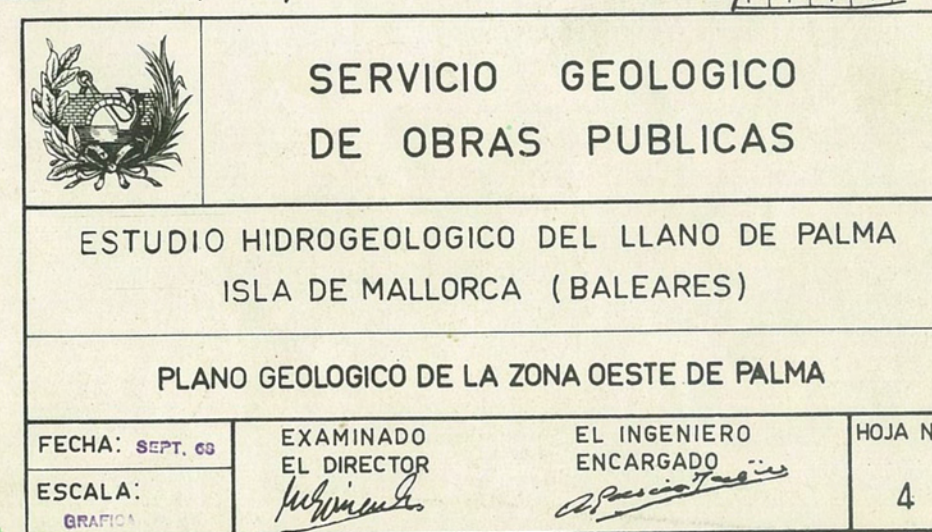
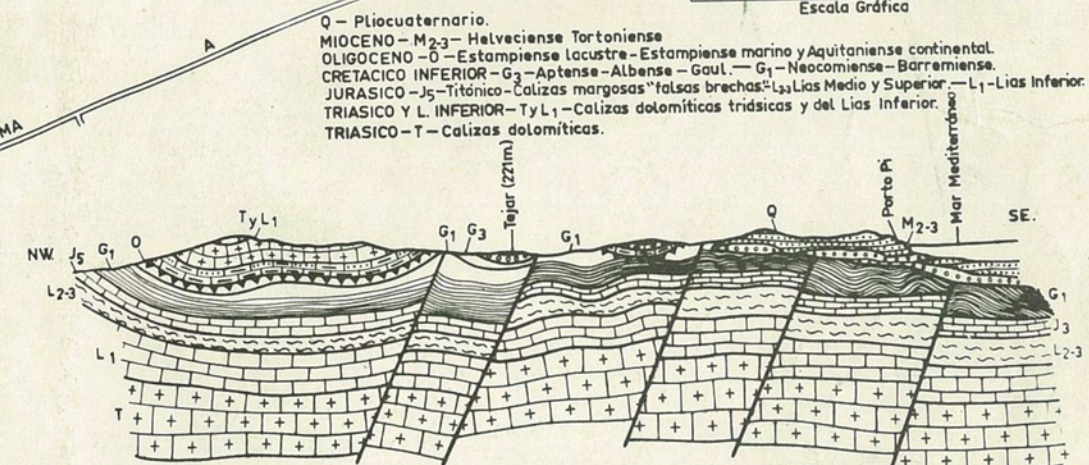
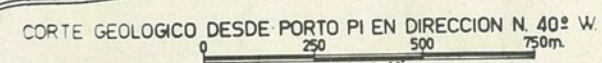
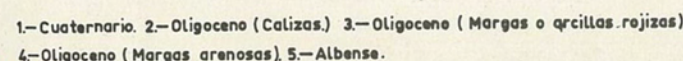
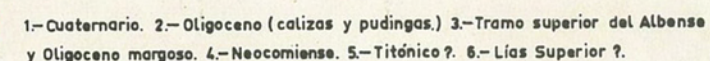
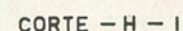
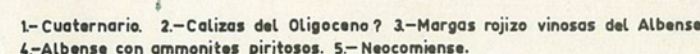
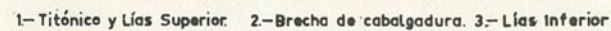
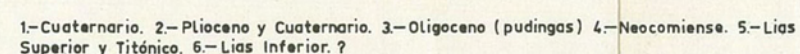
HOJA Nº
3

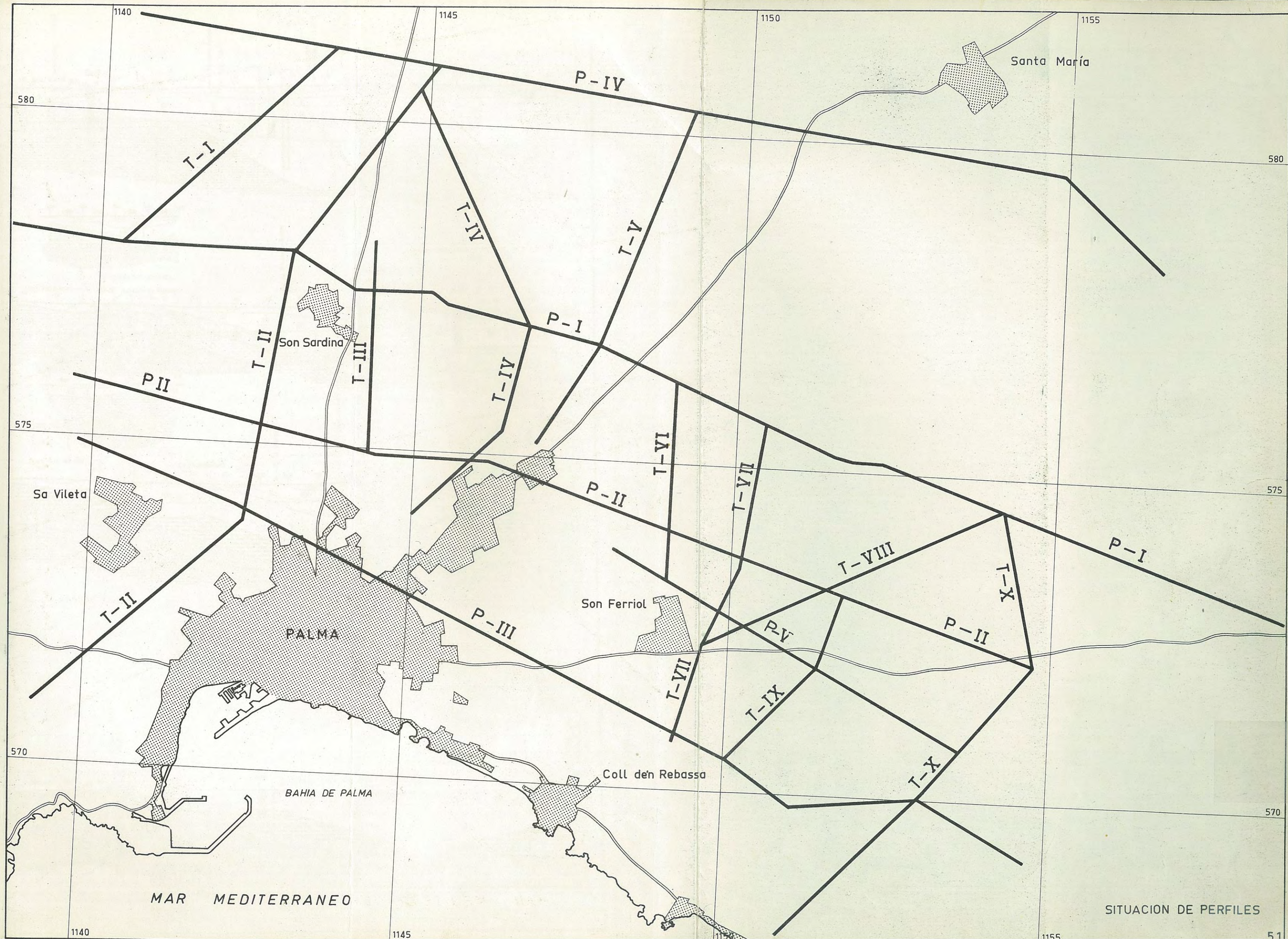


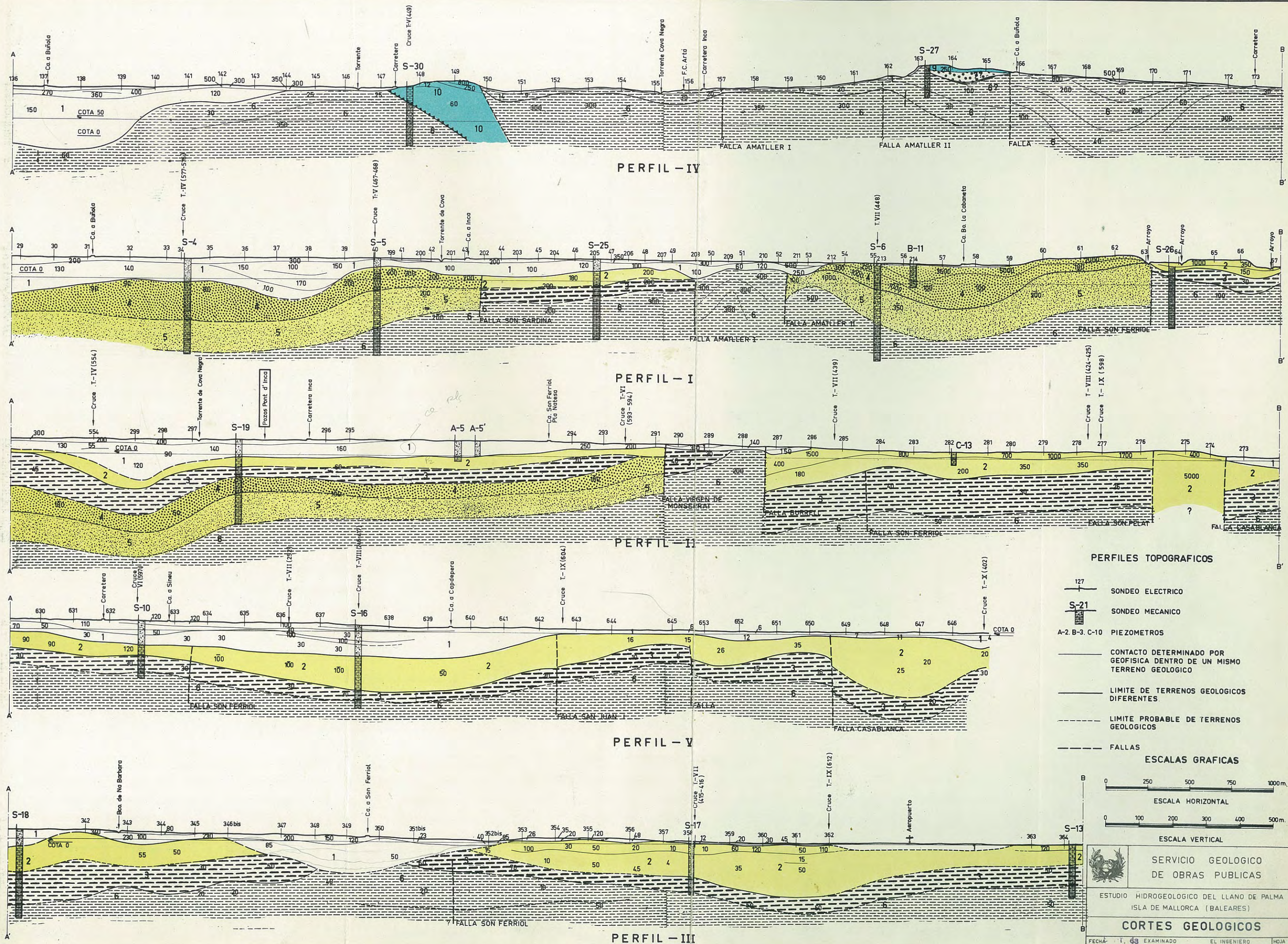
LEYENDA

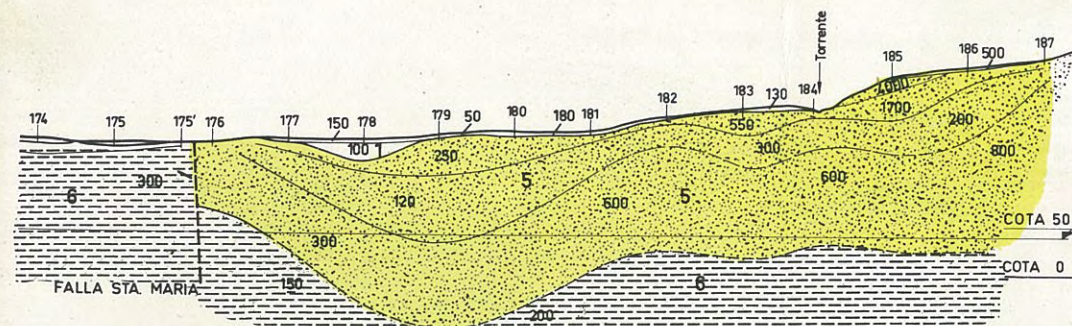
- CUATERNARIO
- 1. INDIFERENCIADO
 - 2. DUNAS COSTERAS ACTUALES
 - 3. SUELO DE CULTIVO Y DUNAS FLANDRIENSES
 - 4. DEPOSITOS DE SOMONTE
 - 5. DEPOSITOS DE FACIES COSTERO-LAGUNAR
 - 6. DUNAS RECUBIERTAS DE CUATERNARIO RECIENTE
 - 7. DUNAS EOLICAS CON ESPESOR INFERIOR A 5 M.
 - 8. DUNAS Y CUATERNARIO RECIENTE RECUBRIENDO EL VINDOBONIENSE
 - 9. GRAN DUNA Y DUNAS EOLICAS SUPERPUESTAS (ESPESOR DE 6 A 20 M.)
 - 10. FORMACIONES MARINAS DEL TIRRENENSE 11
- PLIOCENO
- 1. MOLASAS "SENSUS LATUS"
 - 2. MARGAS GRISAS "SENSUS LATUS"
- MIOCENO
- 3. MOLASAS "SENSUS LATUS" CONGLOMERADOS Y LIMOS
 - 4. MOLASAS "SENSUS LATUS"
 - 5. MARGAS GRISAS "SENSUS LATUS"

- OLIGOCENO
- 7
- CRETACICO
- 8
 - 8. GAULT
 - 8. NEOCOMIENSE
- JURASICO Y LIASICO
- 9
 - 9. LIAS SUPERIOR Y DOGGER
 - 9. LIAS INFERIOR
- TRIASICO
- 10
 - 10. FACIES CALIZA DOLOMITICA 11
- TRIASICO
- 11
 - 11. FACIES KEUPER
- ROCAS ERUPTIVAS
- *
- TERRAS ROJAS
- *

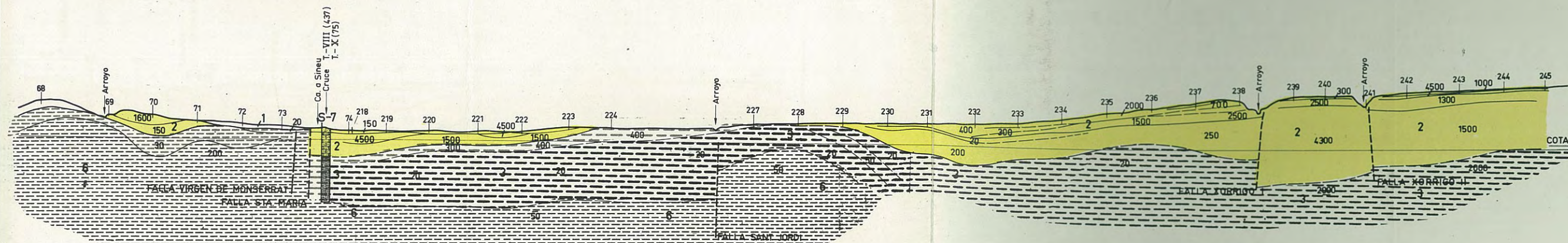




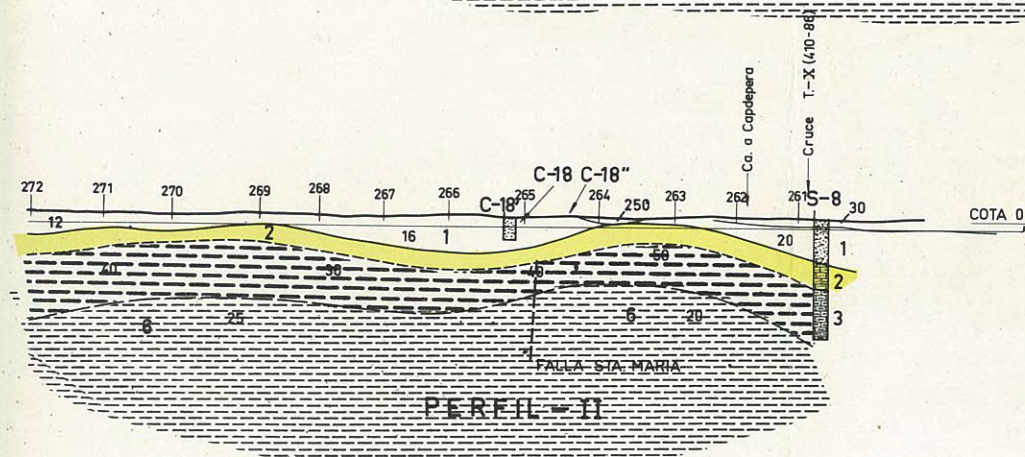




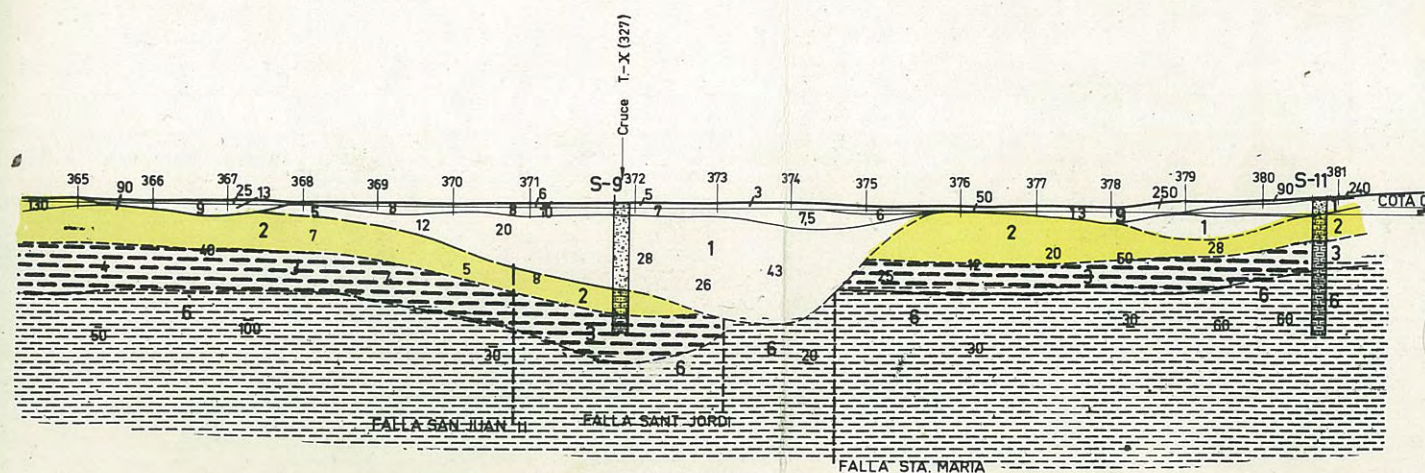
PERFIL - IV



PERFIL - I



PERFIL - II

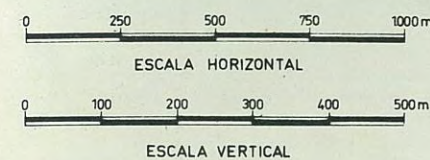


PERFIL - III

PERFILES TOPOGRAFICOS

- 127 SONDEO ELECTRICO
- S-21 SONDEO MECANICO
- A-2, B-3, C-10 PIEZOMETROS
- CONTACTO DETERMINADO POR GEOFISICA DENTRO DE UN MISMO TERRENO GEOLOGICO
- LIMITE DE TERRENOS GEOLOGICOS DIFERENTES
- LIMITE PROBABLE DE TERRENOS GEOLOGICOS
- FALLAS

ESCALAS GRAFICAS



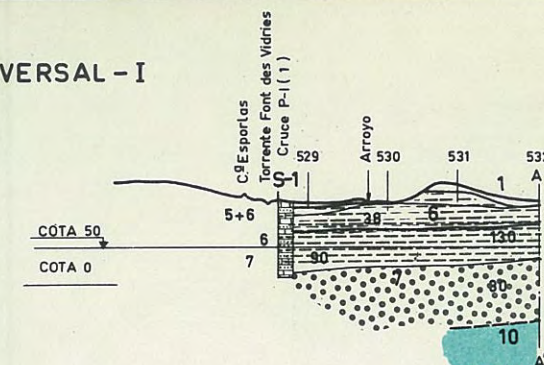
SERVICIO GEOLOGICO
DE OBRAS PUBLICAS

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL LLANO DE PALMA
ISLA DE MALLORCA (BALEARES)

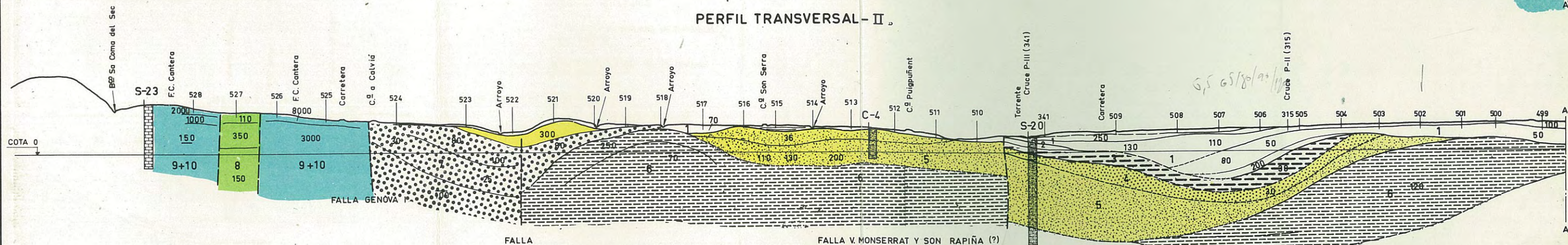
CORTES GEOLOGICOS

FECHA: SEPT. 1961 EXAMINADO: EL DIRECTOR ENCARGADO: EL INGENIERO ENCARGADO: HOJA Nº 5-4

PERFIL TRANSVERSAL - I



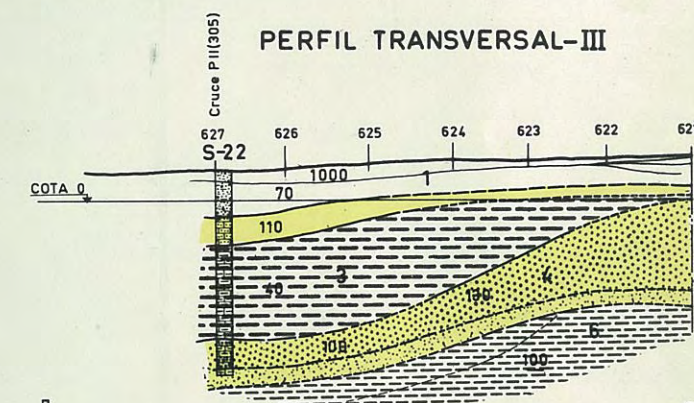
PERFIL TRANSVERSAL - II



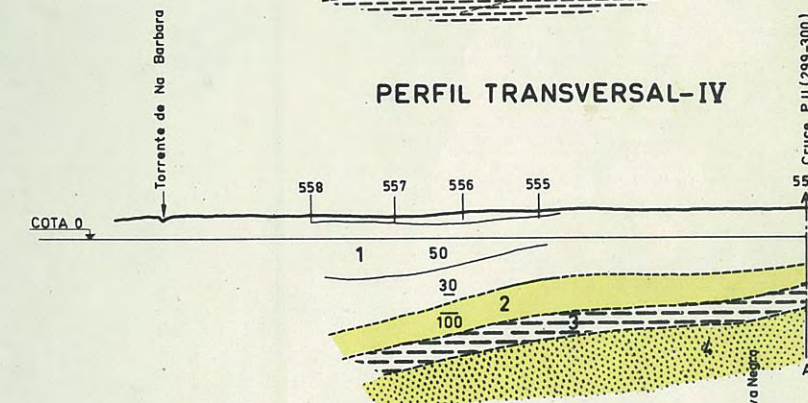
PERFILES TOPOGRAFICOS

- 127 SONDEO ELECTRICO
- S-21 SONDEO MECANICO
- A-2, B-3, C-10 PIEZOMETROS
- CONTACTO DETERMINADO POR GEOFISICA DENTRO DE UN MISMO TERRENO GEOLOGICO
- LIMITE DE TERRENOS GEOLOGICOS DIFERENTES
- LIMITE PROBABLE DE TERRENOS GEOLOGICOS
- FALLAS

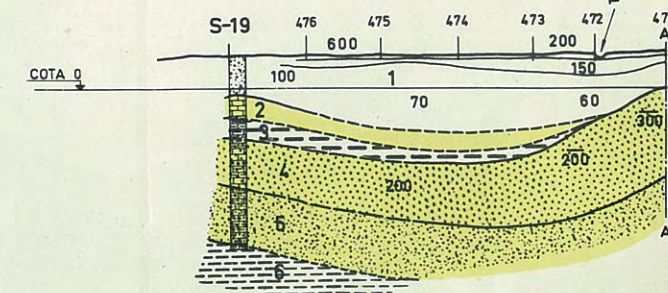
PERFIL TRANSVERSAL - III



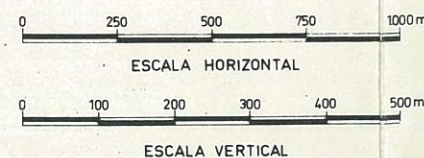
PERFIL TRANSVERSAL - IV



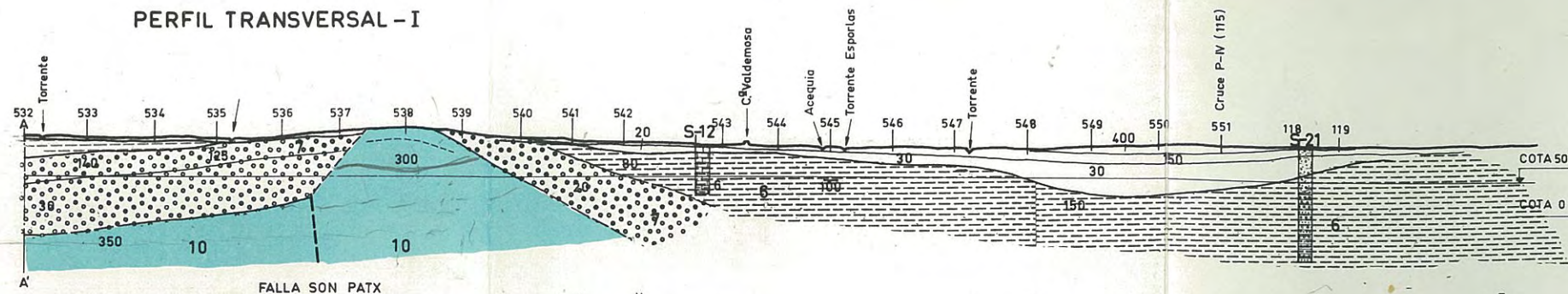
PERFIL TRANSVERSAL - V



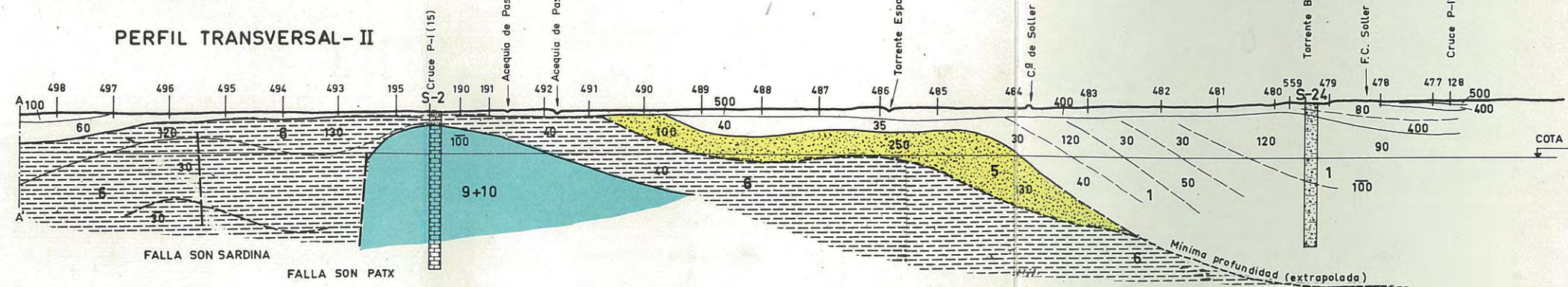
ESCALAS GRAFICAS



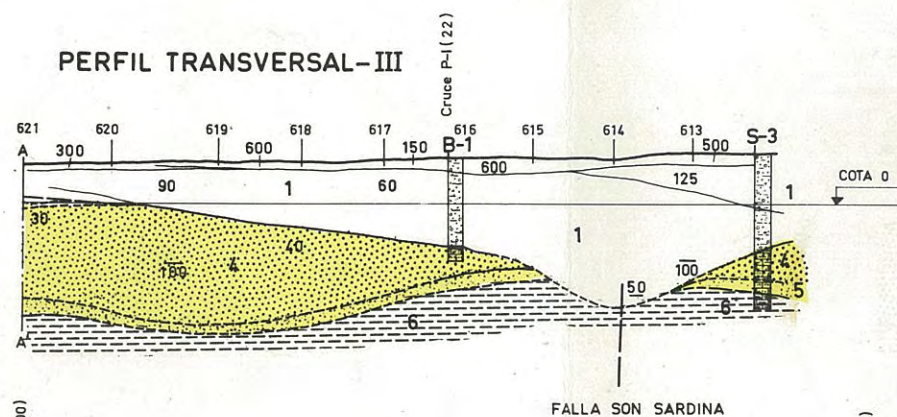
PERFIL TRANSVERSAL - I



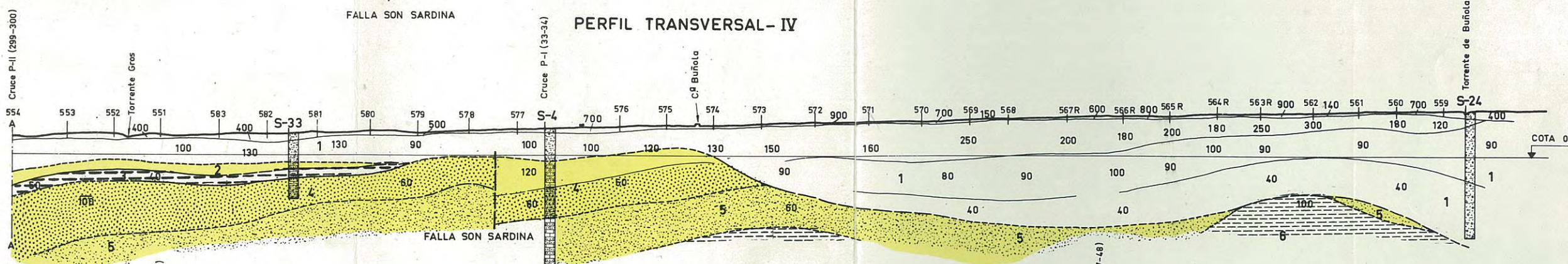
PERFIL TRANSVERSAL - II



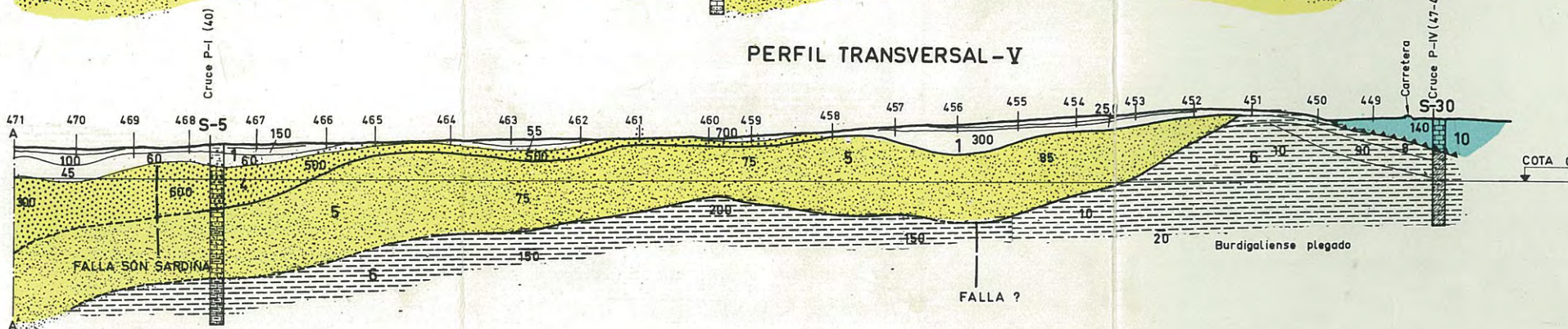
PERFIL TRANSVERSAL - III



PERFIL TRANSVERSAL - IV



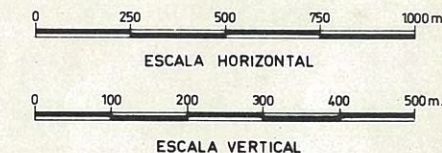
PERFIL TRANSVERSAL - V



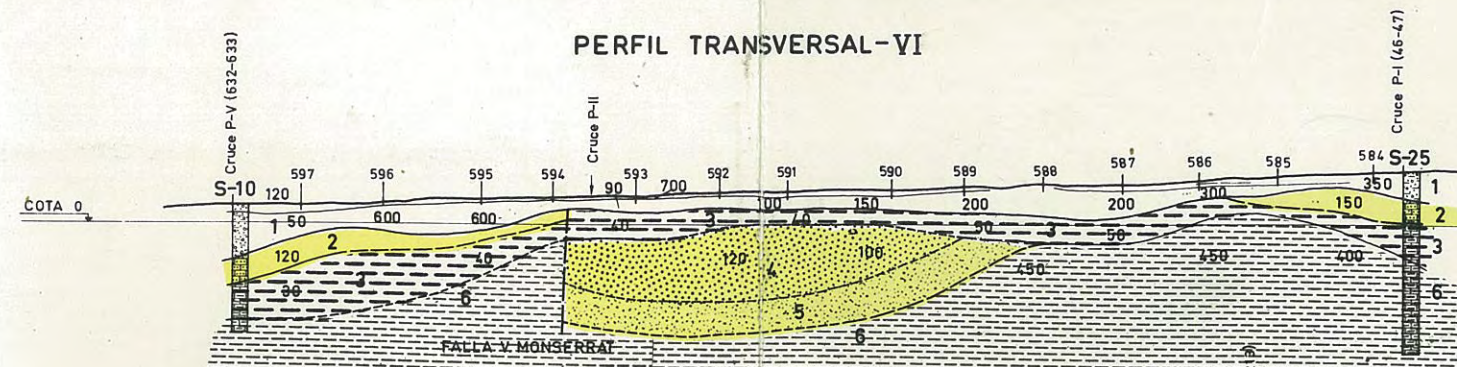
PERFILES TOPOGRAFICOS

- 127 SONDEO ELECTRICO
- S-21 SONDEO MECANICO
- A-2, B-3, C-10 PIEZOMETROS
- CONTACTO DETERMINADO POR GEOFISICA DENTRO DE UN MISMO TERRENO GEOLOGICO
- LIMITE DE TERRENOS GEOLOGICOS DIFERENTES
- LIMITE PROBABLE DE TERRENOS GEOLOGICOS
- FALLAS

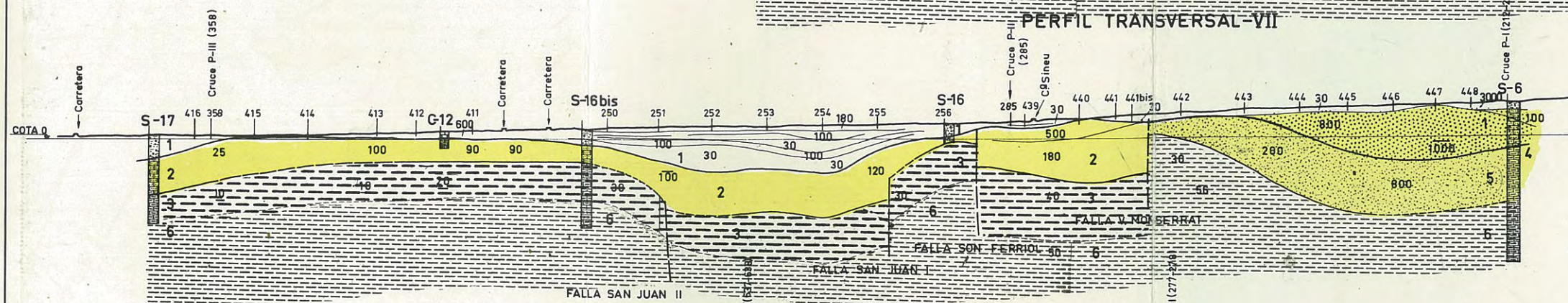
ESCALAS GRAFICAS



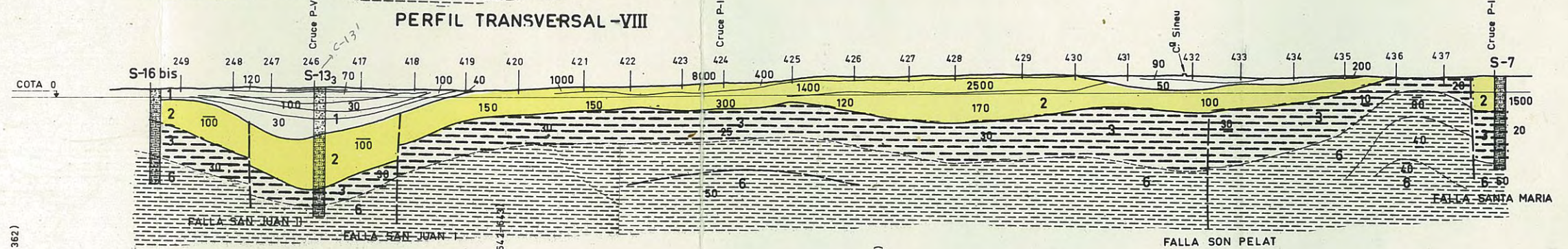
PERFIL TRANSVERSAL-VI



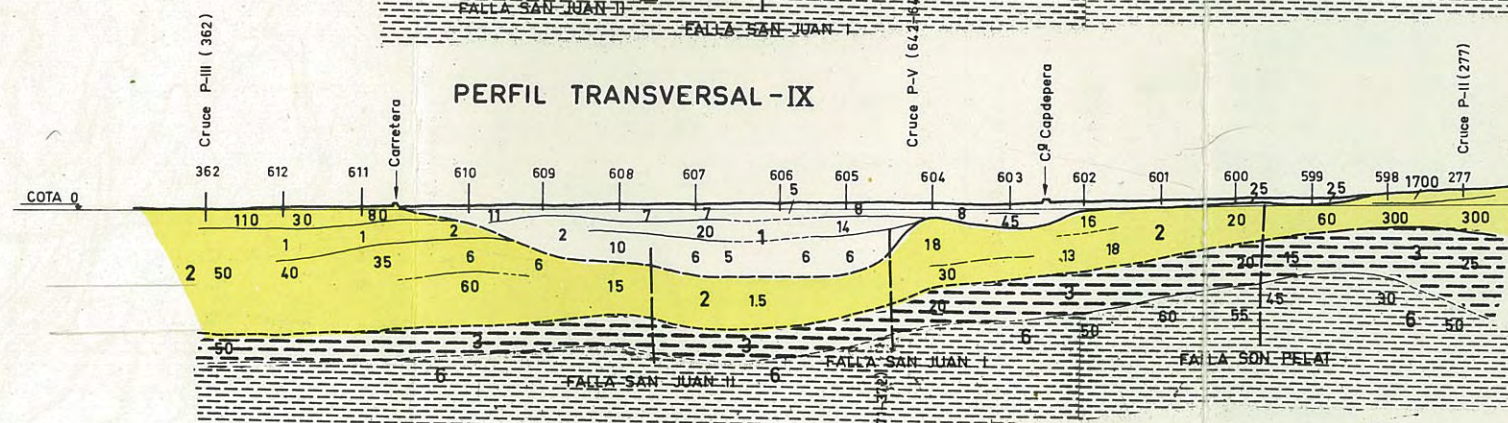
PERFIL TRANSVERSAL-VII



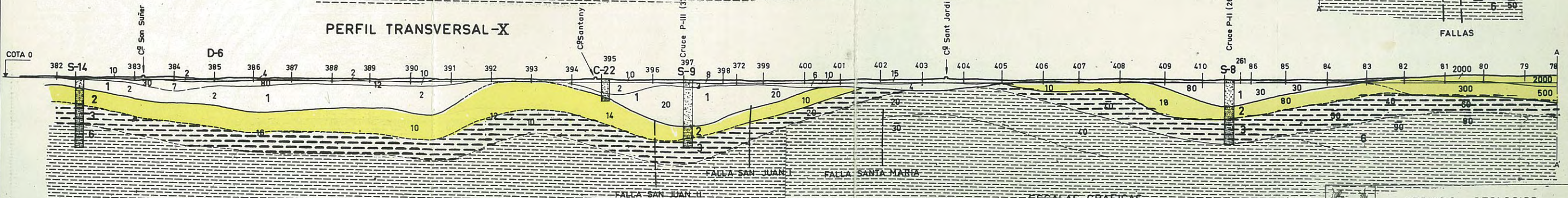
PERFIL TRANSVERSAL-VIII



PERFIL TRANSVERSAL-IX

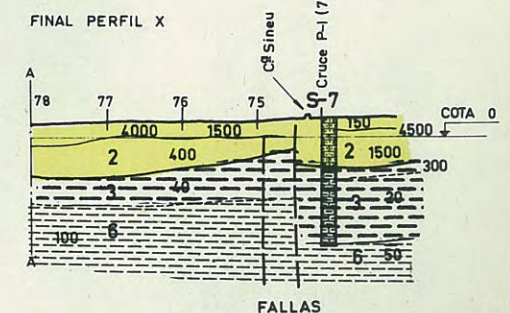


PERFIL TRANSVERSAL-X

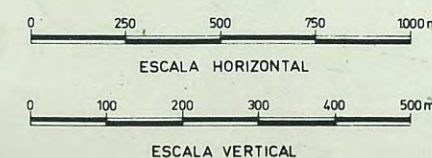


PERFILES TOPOGRAFICOS

- 127 SONDEO ELECTRICO
- S-21 SONDEO MECANICO
- A-2 B-3 C-10 PIEZOMETROS
- CONTACTO DETERMINADO POR GEOFISICA DENTRO DE UN MISMO TERRENO GEOLOGICO
- LIMITE DE TERRENOS GEOLOGICOS DIFERENTES
- LIMITE PROBABLE DE TERRENOS GEOLOGICOS
- FALLAS



ESCALAS GRAFICAS



SERVICIO GEOLOGICO
DE OBRAS PUBLICAS

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL LLANO DE PALMA
ISLA DE MALLORCA (BALEARES)

CORTES GEOLOGICOS

FECHA: 1957.07.01
EXAMINADO: EL DIRECTOR
EL INGENIERO ENCARGADO: [Signature]
ESCALA: GRAFICA
HOJA 5-7



LEYENDA

- CURVAS TOPOGRAFICAS DE SUPERFICIE
- CURVAS TOPOGRAFICAS DEL PLIO-CUATERNARIO
- ... LIMITES DE AFLORAMIENTO SUPERFICIALES
- - - FALLA

1.3.1.
Xeros: SGOP G. Yague

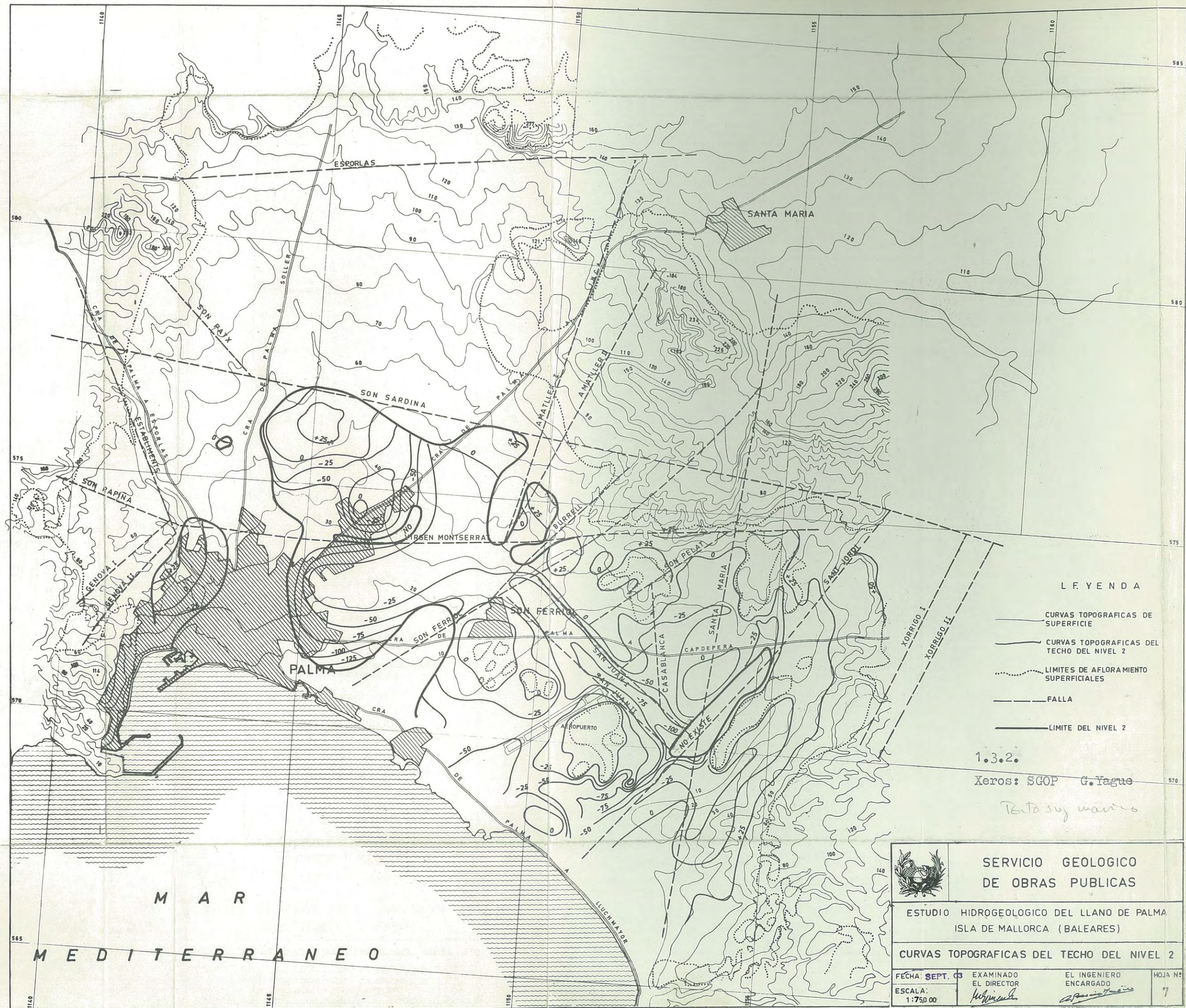


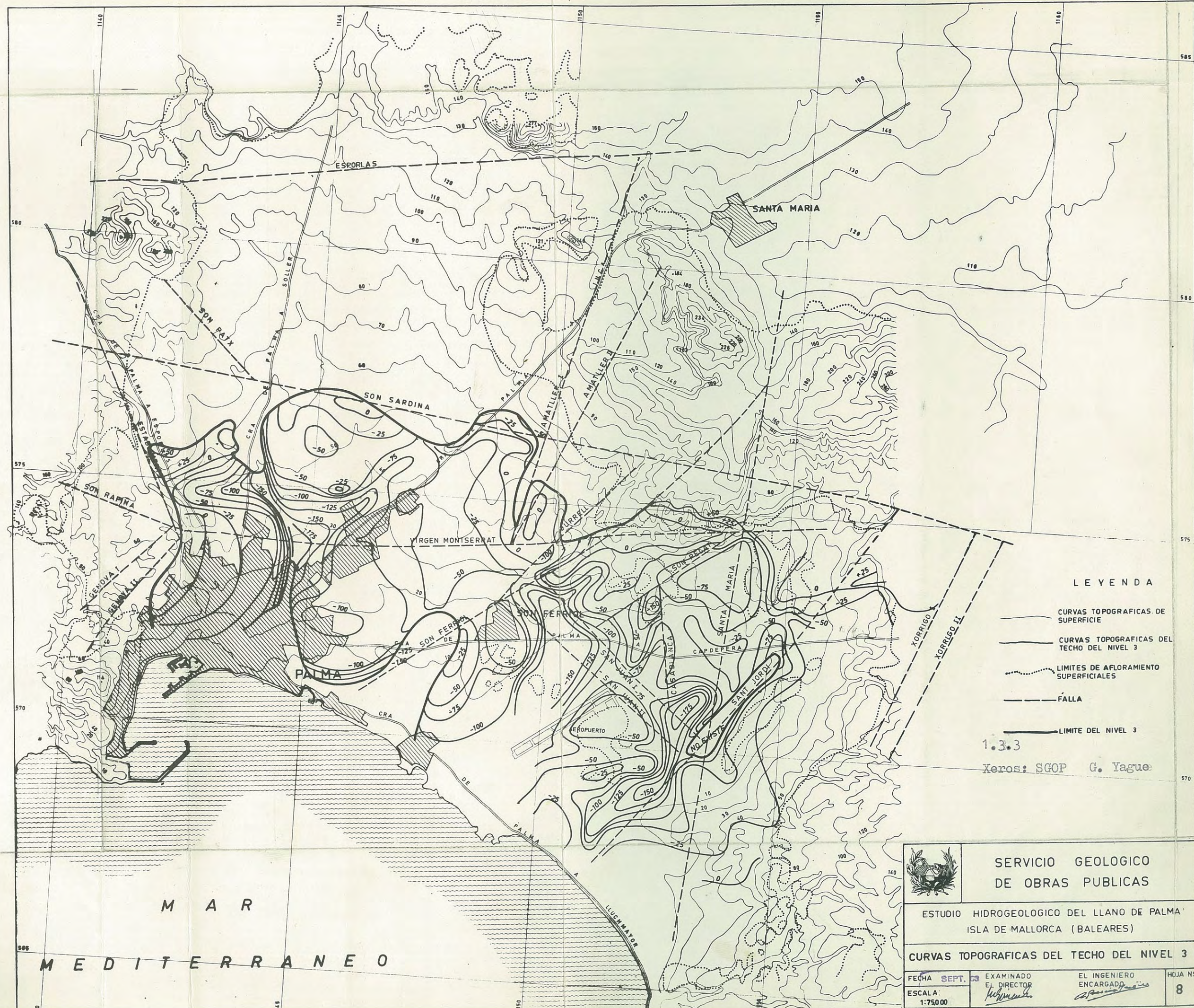
SERVICIO GEOLOGICO
DE OBRAS PUBLICAS

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL LLANO DE PALMA
ISLA DE MALLORCA (BALEARES)

PLANO TOGRAFICO DEL FONDO DEL PLIO-CUATERNARIO

FECHA: SEPT. 1958	EXAMINADO EL DIRECTOR <i>[Signature]</i>	EL INGENIERO ENCARGADO <i>[Signature]</i>	HOJA Nº 6
ESCALA: 1:750.00			







LEYENDA

- CURVAS TOPOGRAFICAS DE SUPERFICIE
- CURVAS TOPOGRAFICAS DEL TECHO DEL NIVEL 4
- LIMITES DE AFLORAMIENTO SUPERFICIALES
- FALLA
- LIMITE DEL NIVEL 4

1.3.4

Xeros: SGOP G. Yague



SERVICIO GEOLOGICO
DE OBRAS PUBLICAS

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL LLANO DE PALMA
ISLA DE MALLORCA (BALEARES)

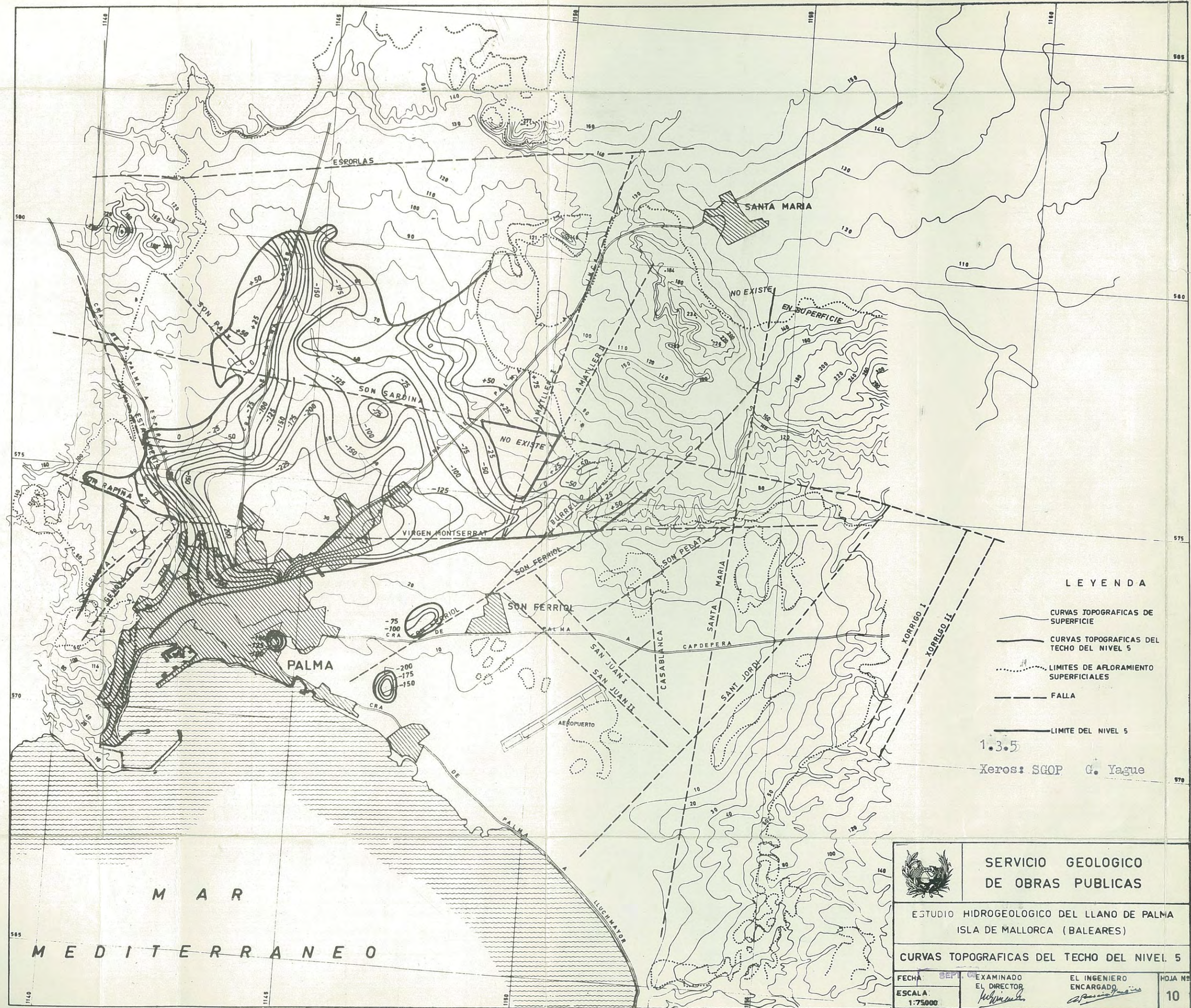
CURVAS TOPOGRAFICAS DEL TECHO DEL NIVEL 4

FECHA
SEPT. 63
ESCALA
1:75000

EXAMINADO
EL DIRECTOR
[Signature]

EL INGENIERO
ENCARGADO
[Signature]

HOJA Nº
9



LEYENDA

- CURVAS TOPOGRAFICAS DE SUPERFICIE
- CURVAS TOPOGRAFICAS DEL TECHO DEL NIVEL 5
- LIMITES DE AFLORAMIENTO SUPERFICIALES
- FALLA
- LIMITE DEL NIVEL 5

1.3.5

Xeros: SGOP G. Yague

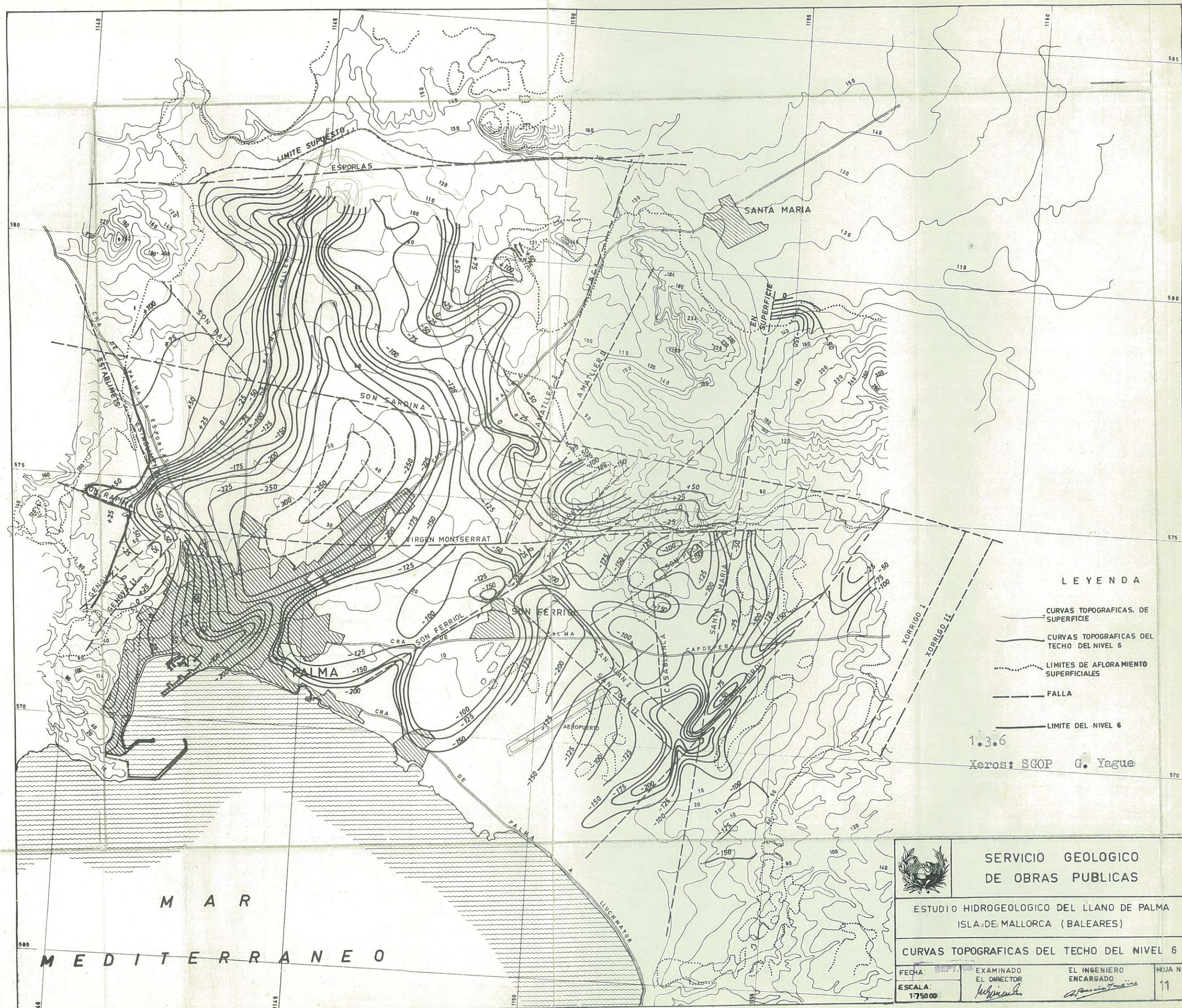


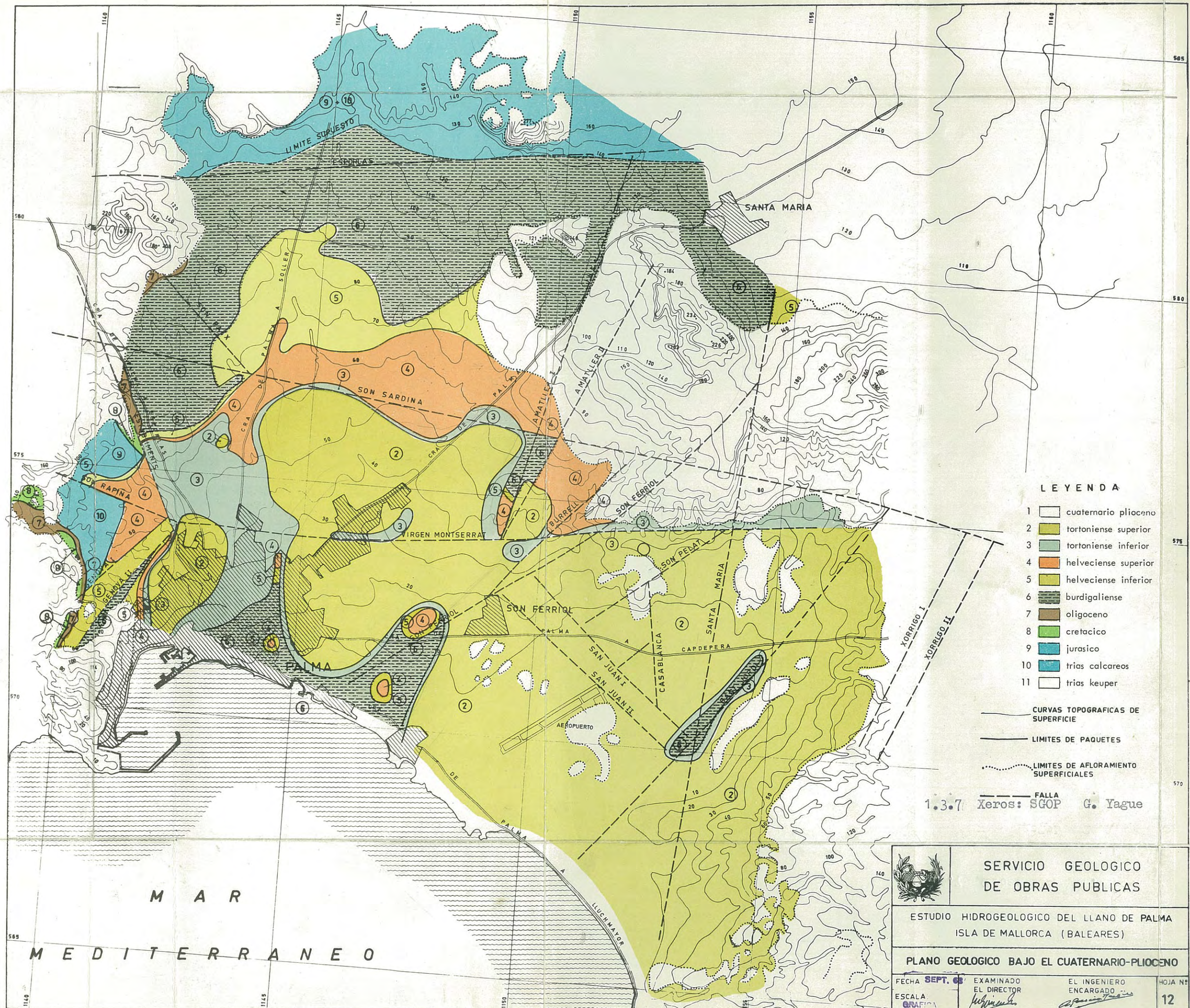
SERVICIO GEOLOGICO
DE OBRAS PUBLICAS

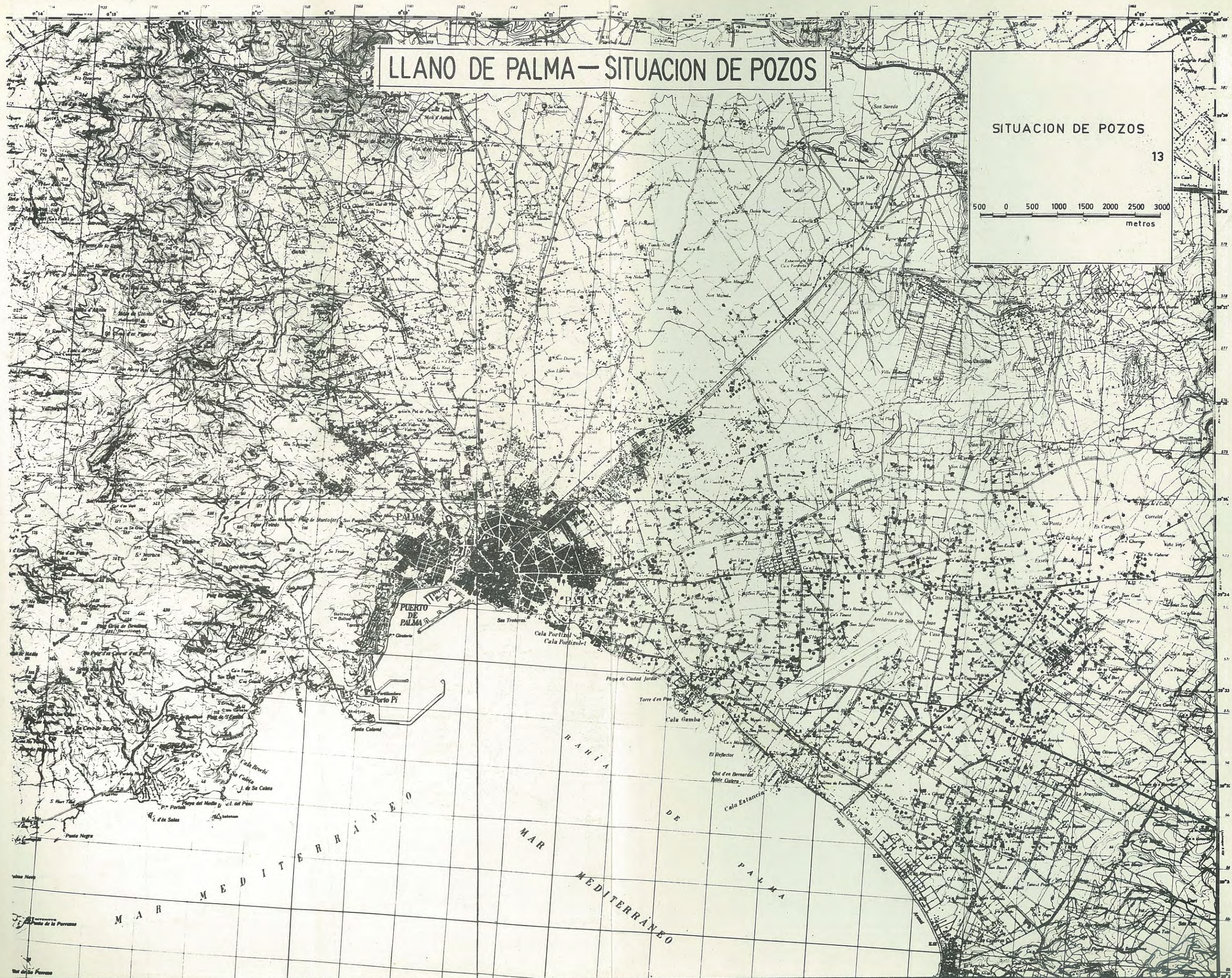
ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL LLANO DE PALMA
ISLA DE MALLORCA (BALEARES)

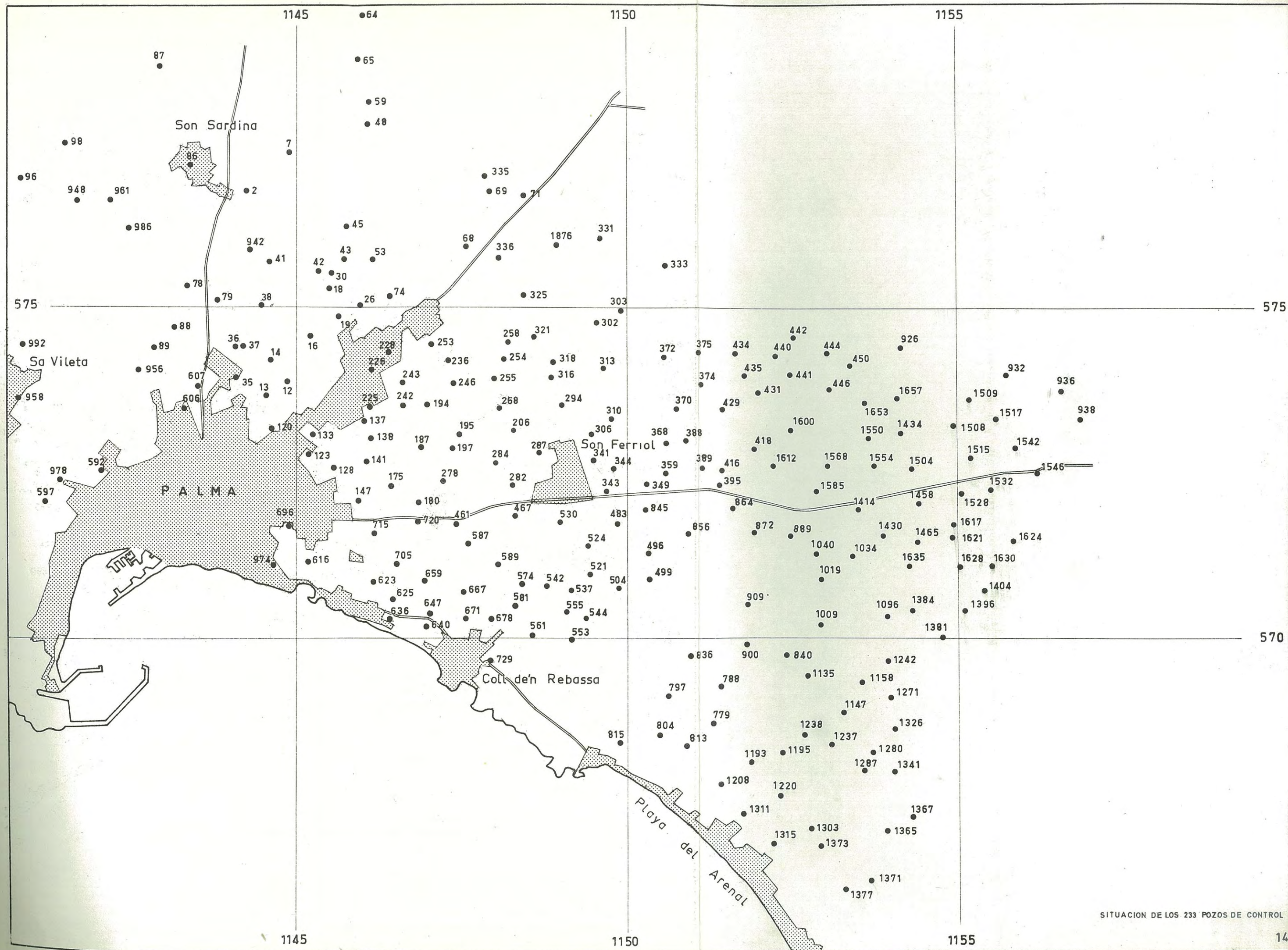
CURVAS TOPOGRAFICAS DEL TECHO DEL NIVEL 5

FECHA: SEPT. 1950	EXAMINADO: EL DIRECTOR <i>[Signature]</i>	EL INGENIERO ENCARGADO <i>[Signature]</i>	HOJA Nº 10
-------------------	---	---	---------------











CICERO S.L.
Presentación de
Informes y Proyectos Técnicos
Teléf. 215-30-46

Ejemplar número