



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

ESTUDIO DE LA INCIDENCIA DE LA CONTAMINACION
ATMOSFERICA EN LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUB
RRANEAS



MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA

31936

SUPER PROYECTO		AGUAS SUBTERRANEA		Nº	9005
PROYECTO AGREGADO				Nº	870320
TITULO PROYECTO PROYECTO PARA LA REALIZACION DE ESTUDIOS DE CONTAMINACION DE ACUIFEROS POR ACTIVIDADES AGRICOLAS, INDUSTRIALES Y URBANAS					
Nº PLANIFICACION			Nº DIVISION AGUAS, G.A.		
FECHA EJECUCION	INICIO	6 - 88	FINALIZACION	6 - 90	

INFORME (Titulo):		ESTUDIO DE LA INCIDENCIA DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA EN LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS			
CUENCA(S) HIDROGRAFICA(S)					
COMUNIDAD(S) AUTONOMAS					
PROVINCIAS		CASTELLON			

TOMO I. MEMORIA

Equipo de trabajo.

Dirección del Estudio.

María Gomez Martos. I.T.G.E.

Julio Tabernero Prieto. C.I.E.C.S.A.

Angel Santos García. C.I.E.C.S.A.

Agradecimientos: El equipo de trabajo desea expresar su agradecimiento a las personas y organizaciones que han colaborado en el desarrollo del estudio. Especialmente se desea hacer mención de: Vicente Fábregas. I.T.G.E.

Juan LLamas Borrajo. Cátedra de Química de la E.T.S.I.Minas.

Ignacio Morell Evangelista. Colegio Universitario de Castellón.

Rogelio Irangos Alarcón. Cámara Agrícola de Castellón.

Teófilo Sanfeliú Montoliú. Colegio Universitario de Castellón.

Ana Almela. Fomento Agrícola Castellonense, S.A.

Este trabajo ha sido realizado por
CONSULTING DE INGENIEROS Y ECONOMISTAS, S.A.
en régimen de contratación con el INSTITUTO
TECNOLOGICO GEOMINERO DE ESPAÑA.

INDICE.

1.- ANTECEDENTES . . . . .	.1
2.- OBJETIVOS DEL ESTUDIO. . . . .	.4
2.1. OBJETIVOS. . . . .	.5
2.2. DEFINICION DE LA ZONA. . . . .	.7
3.- PLANTEAMIENTO GENERAL DEL ESTUDIO. . . . .	.9
4.- PLAN DE TRABAJO.	13
5.- EL MEDIO FISICO.	22
5.1. GEOLOGIA Y LITOLOGIA.	23
5.2. CLIMATOLOGIA.	30
5.2.1. Precipitaciones.	30
5.2.2. Temperaturas	34
5.2.3. Régimen de vientos	34
5.2.3.1. Velocidad media	35
5.2.3.2. Direcciones	35
5.3.4. Aridez	40
5.3.5. Evapotranspiración	40
5.3.6. Clasificación climática.	41
5.3. MARCO HIDROGRAFICO E HIDROGEOLOGICO	45
5.3.1. Hidrografía.	45
5.3.2. Hidrogeología.	46
5.3.2.1. Subsistemas acuíferos	48
5.3.2.2. Calidad de las aguas.	56
5.4. FISIOGRAFIA	58
5.5. EDAFOLOGIA.	60
5.6. VEGETACION.	63
5.7. CULTIVOS Y APROVECHAMIENTOS	66
6.- FOCOS DE CONTAMINACION	69
6.1. LA INTRUSION MARINA	72
6.2. CONTAMINACION DE ORIGEN AGRICOLA.	76
6.3. CONTAMINACION DE ORIGEN NATURAL	80
6.4. CONTAMINACION DE ORIGEN URBANO.	82
6.5. CONTAMINACION DE ORIGEN INDUSTRIAL.	84
6.5.1. Industria de cerámica.	84
6.5.2. Industria de curtidos	86
6.5.3. Industria del petróleo	87
6.5.4. Generación de electricidad	88
7.- INCIDENCIA DE LA CONTAMINACION EN EL MEDIO	99
7.1. ELECCION DE INDICADORES . . . . .	.101
7.2. DISEÑO DE LAS REDES DE MUESTREO . . . . .	.102
7.2.1. Suelos . . . . .	.102
7.2.2. Vegetales. . . . .	.106
7.2.3. Aguas. . . . .	.106
7.2.3.1. Aguas subterráneas. . . . .	.107
7.2.3.2. Aguas de lluvia . . . . .	.108
7.3. CAMPAÑA DE TOMA DE MUESTRAS . . . . .	.110
7.3.1. Suelos . . . . .	.110
7.3.2. Vegetales. . . . .	.110
7.3.3. Aguas subterráneas . . . . .	.111
7.4. ANALISIS DE LAS MUESTRAS. . . . .	.112
7.5. RESULTADOS DE LOS ANALISIS	114

8.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES . . . . .	.120
8.1. CONCLUSIONES. . . . .	.121
8.2. RECOMENDACIONES . . . . .	.128
9.- METODOLOGIA PROPUESTA. . . . .	.129
10.- BIBLIOGRAFIA. . . . .	.125
.-ANEXO	

1.- ANTECEDENTES.

1.- ANTECEDENTES.

La degradación de las aguas subterráneas tiene numerosas causas que se derivan de la actividad del hombre en su quehacer diario. La actividad agrícola e industrial, junto con los residuos producidos en las aglomeraciones urbanas son las principales fuentes de contaminación de las aguas.

La salinización es un fenómeno natural que puede ser desencadenado o acelerado por el hombre al explotar los acuíferos costeros. La contaminación de origen agrícola es consecuencia de labores de fertilización y empleo de plagicidas.

La contaminación por vertidos industriales es una de las más importantes que puede presentarse bajo una gran variedad de formas.

Consciente de esta problemática, el Instituto Tecnológico y Geominero de España viene realizando una intensa labor en todo aquello que se refiere a la protección de la calidad de las aguas subterráneas.

Además de los estudios relativos a salinización, de enorme actualidad, debido a los problemas de este tipo que afectan a gran parte de los acuíferos situados en las proximidades del litoral, el ITGE viene realizando proyectos de investigación sobre las fuentes de contaminación de acuíferos originada por los residuos industriales, agrícolas y urbanos. Estos estudios, unidos al conocimiento profundo que se posee sobre la naturaleza de los acuíferos y sobre la geología y litología de las capas

.../...

superiores, permite el establecimiento del grado de vulnerabilidad de los acuíferos y la definición de perímetros de protección, así como el diseño de medidas para impedir que el deterioro de las aguas subterráneas progrese en las zonas en que se encuentren amenazadas.

La creciente degradación de las condiciones químicas de la atmósfera permiten pensar que los acuíferos puedan llegar a ser contaminados por los elementos nocivos que se encuentran en ella.

Merced a mecanismos tales como la lluvia ácida y la deposición seca y húmeda, los elementos contaminantes pueden pasar al suelo y a las aguas superficiales, incorporándose por último a las aguas subterráneas.

A fin de atacar este problema se planteó la necesidad de realizar un estudio que permitiese establecer una metodología para la determinación de la influencia de la contaminación atmosférica en las aguas subterráneas.

El Proyecto que se plantea, cuenta con la experiencia de partida de los numerosos estudios realizados por el ITGE en el campo de la contaminación de los acuíferos subterráneos, los cuales constituyen sus antecedentes inmediatos.

2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

2.1. OBJETIVOS

De acuerdo a los planteamientos recogidos en el apartado de antecedentes del Proyecto, el Objetivo Global que éste se propone es establecer una metodología capaz de determinar la influencia que sobre un acuífero puede tener la contaminación atmosférica causada por las industrias que vierten sustancias nocivas a la atmósfera.

Si bien a lo largo del estudio se ha tenido en cuenta el efecto del conjunto de focos de contaminación industriales y urbanos, el trabajo se ha centrado en el efecto de las centrales termoeléctricas.

Para el logro del objetivo global propuesto se han debido alcanzar los siguientes objetivos parciales:

- 1º Inventario y caracterización de los focos de contaminación en la zona del estudio, e identificación de las posibles sustancias contaminantes provenientes de la atmósfera.
- 2º Identificación e individualización de los elementos contaminantes procedentes de la central térmica y mecanismos de vertido al medio.
- 3º Trayectoria y evolución de dichas sustancias en su recorrido, una vez han sido emitidas.
- 4º Mecanismos de la contaminación, por medio de los cuales los elementos nocivos pueden pasar a las aguas subterráneas.

.../...

5º Determinación de la posible contaminación del acuífero derivada de la contaminación atmosférica.

2.2. DEFINICION DE LA ZONA

La zona de estudio se encuentra situada en la Comunidad Valenciana en un área que circunda a la Central Térmica de Hidrola, situada en el Grao de Castellón de la Plana. Fig 1.

Es un área de 825 km² de extensión aproximada, de los cuales unos 665 km² corresponden al sur de la provincia de Castellón de la Plana y el resto al norte de la provincia de Valencia.

La zona está comprendida, según coordenadas UTM, entre 725.000 y 765.000 de coordenada X y entre 4.385.000 y 4.440.000 de coordenada Y. Ocupa los planos nº 29-27, 29-26, 30-26, 29-25, 30-24 y 30-25 a escala 1:50.000 del Servicio Geográfico del Ejército. Vease Fig.1.

La zona de estudio se subdivide a su vez, en tres áreas bien diferenciadas: la Plana de Castellón, la Plana de Sagunto y una zona montañosa que separa ambas planas con cotas que alcanzan los 600 m.

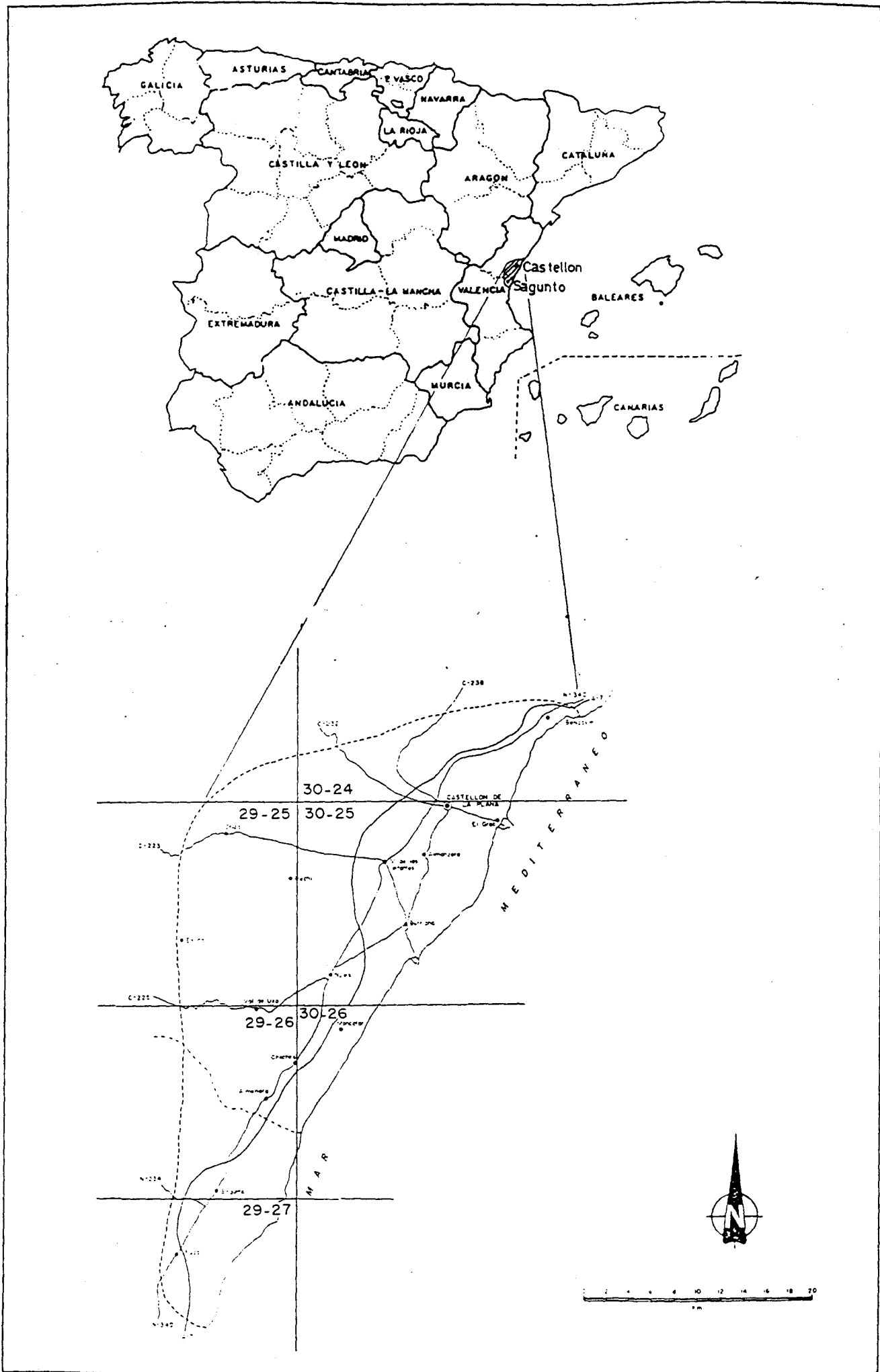


Fig. 1. Ubicación zona de Estudio y distribución de mapas que abarca.

3. PLANTEAMIENTO GENERAL DEL ESTUDIO

3. PLANTEAMIENTO GENERAL DEL ESTUDIO

En la atmósfera se encuentran presentes multitud de elementos contaminantes, formando una gran variedad de compuestos complejos, que provienen de las emisiones realizadas por los escapes de industrias, núcleos urbanos y centros agrícolas.

Estos elementos pasan al suelo arrastrados por el agua de lluvia o se depositan por gravedad.

Los compuestos emitidos a la atmósfera a través de las chimeneas, como consecuencia de la combustión de combustibles fósiles o sus derivados, pueden ser arrastrados por el agua de lluvia, ya sea una vez depositados por gravedad en el suelo, o, antes de depositarse, cuando aún se hallan suspendidos en la atmósfera. En este último caso, se puede producir el fenómeno conocido como lluvia ácida.

Esta se define como la precipitación de agua con un pH inferior a 5,6. Este pH es el correspondiente al agua destilada en equilibrio con dióxido de carbono en condiciones normales. El fenómeno se produce cuando el agua en la atmósfera encuentra sustancias solubles capaces de rebajar su pH, como sucede cuando existen concentraciones apreciables de anhídrido sulfuroso.

El concepto de lluvia ácida se complementa con los de deposición húmeda y seca. La deposición húmeda es el resultado de la precipitación del agua atmosférica sólida o líquida sobre la superficie de rocas, suelo, vegetación o masas de agua llevando en disolución sustancias contaminantes que se encontraban en la at-

.../...

mósfera. La forma de precipitación es la de lluvia, granizo, niebla o nieve provocándose la contaminación de dos formas: por lluvia o por lavado de los poluctantes atmosféricos en gotas de nubes que, al crecer en tamaño, caen a la superficie de la tierra.

La deposición seca describe la agrupación y retención de componentes gaseosos o aerosoles por medio de variedad de procesos físicos en la vegetación, agua o suelo. Dichos procesos físicos se relacionan con la gravedad y demás fuerzas que pueden provocar un contacto directo entre poluctantes y componentes de la superficie terrestre. Los metales se transportan en la atmósfera fundamentalmente por medio de esta deposición.

Es importante matizar que los fenómenos que aquí se están describiendo quedan limitados a las capas bajas de la atmósfera, pudiéndose considerar que se dan entre los 0 y 500 m del nivel del suelo.

En la zona de estudio, además de una polución debida a diferentes industrias del sector de curtidos, cerámica y a la refinera de petróleo de Castellón, hay que añadir la contaminación debida a la aglomeración urbana de la cercana ciudad, y a la producida por la Central Térmica del Grao de Castellón.

La incorporación de los contaminantes a las aguas subterráneas se produce a través de procesos complejos dependientes de numerosos factores que es preciso estudiar a fin de tratar de ejercer un control sobre ellos, para evitar en la medida de lo

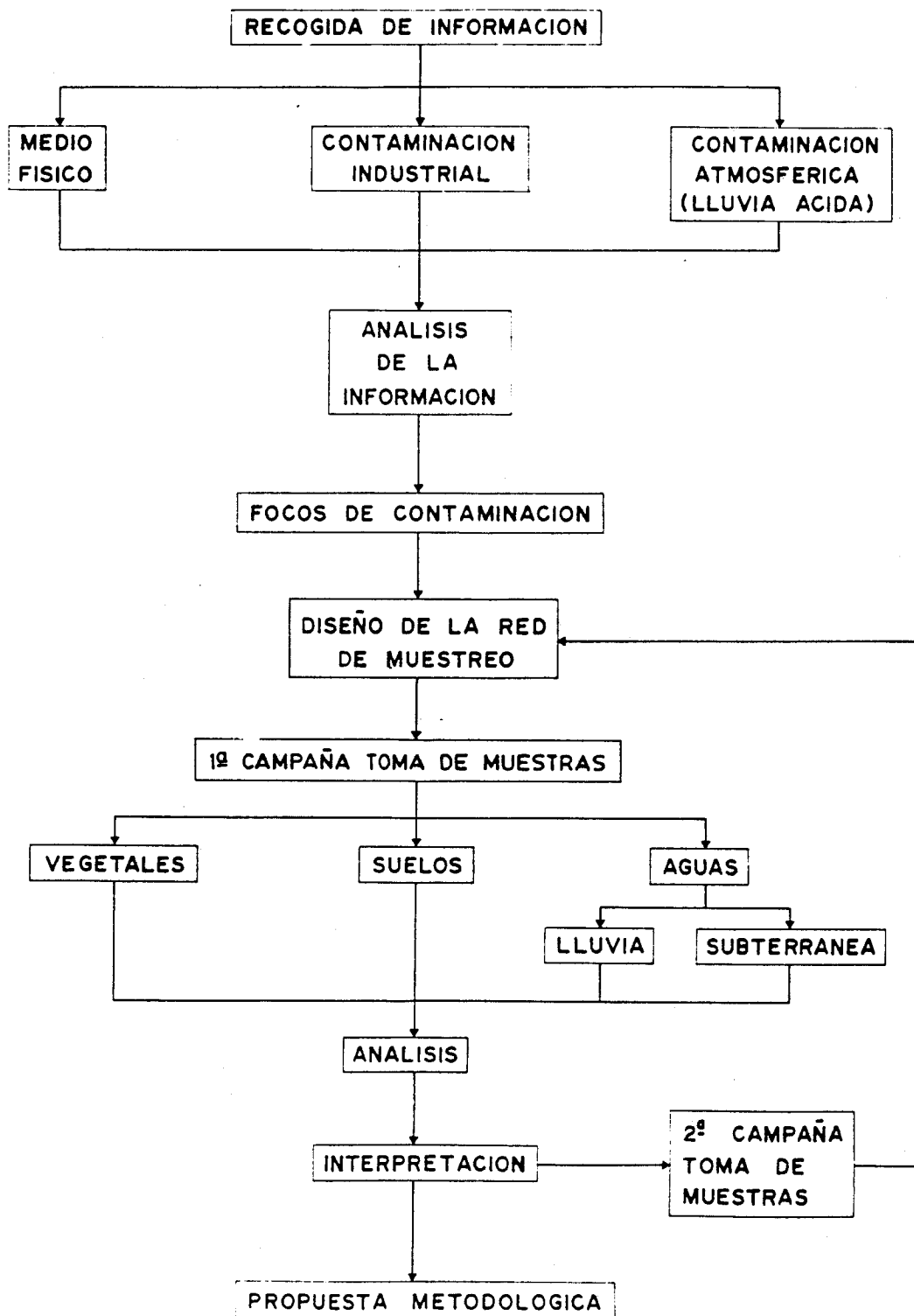
.../...

posible la pérdida de un recurso esencial para la vida como es el agua.

4. PLAN DE TRABAJO

4. PLAN DE TRABAJO

Para el logro de los objetivos propuestos se ha seguido el siguiente plan de trabajo que se muestra esquemáticamente en la Fig.2



1º Recogida de información:

En esta primera fase del trabajo se ha procedido a la recopilación de la información disponible relativa a los siguientes aspectos:

a) **medio físico.** Se han tenido en cuenta los siguientes puntos, recopilándose información sobre ellos a partir de bibliografía:

- Características hidrográficas. Es preciso el conocimiento de la red de escorrentía superficial y su régimen de funcionamiento para establecer las interrelaciones existentes entre esta y las aguas subterráneas.
- Características hidrogeológicas del acuífero. Se ha prestado una especial atención a las entradas y salidas del suelo, y a los parámetros que caracterizan la dinámica de flujo en el mismo (permeabilidad, transmisividad, direcciones de flujo, etc.).
- Edafología y geología de detalle. Es un aspecto de especial importancia, puesto que los materiales que forman el suelo y el subsuelo, por encima del acuífero, pueden hacer de filtro de determinados elementos traza, neutralizar los líquidos ácidos percolados, o contaminar el acuífero con nuevos elementos del propio terreno por medio de lixiviación. Por tanto se prestará especial atención a la composición de la matriz litológica del suelo y a la composición geoquímica

.../...

del terreno y del gas intersticial, así como al espesor de las formaciones de la zona no saturada.

- Climatología de la zona. En concreto se ha profundizado en los regímenes de lluvias y viento. El primero ejerce una acción de barrido, incorporando los contaminantes atmosféricos al suelo. De esta forma por infiltración podrían llegar a las aguas subterráneas. El segundo gobierna la evolución del penacho, condicionando su movilidad y en definitiva el área de influencia del foco contaminante.
- Características de la vegetación de la zona, ya que resulta ser un factor condicionante en el ciclo de algunos elementos.

b) **Inventario de puntos de agua de la zona.** En principio los puntos del inventario más interesantes son aquellos cuyo historial y evolución química han sido más estudiados, siendo éste el caso de los puntos de la red de calidad. En cualquier caso habrá zonas donde será imposible muestrear puntos de la red de calidad, debiéndose acudir a otros menos estudiados.

c) **Inventario de posibles focos contaminantes.** Se estudian los centros de la zona capaces de causar interferencia en el estudio, analizando para ello sus emisiones.

d) **Estudio de los focos contaminantes de la industria o complejo industrial sometido a estudio.** Análisis de sus emisiones. Es interesante contar con los diagramas siguientes:

- Diagramas de flujo de las operaciones de proceso

.../...

- Diagrama de balance de materiales y balances de materiales y energía.

e) Estudio de la contaminación de origen agrícola y urbano.

A fin de clarificar y distinguir sus repercusiones en relación a la de origen industrial.

2º Estudio previo.

En base al conocimiento obtenido a partir de la ejecución de la primera fase, ya reseñada, se pasa a definir los elementos traza y compuestos propios del complejo industrial estudiado. Se eliminan aquellos elementos y compuestos químicos comunes a otras industrias de la zona o los que puedan producir superposición de efectos con otros, dificultando el seguimiento.

Dichos elementos y compuestos son considerados como indicadores del impacto ambiental. Dichos indicadores proporcionan el conocimiento de la existencia del impacto en su aspecto cualitativo, pudiendo también proporcionar una información cuantitativa si previamente y con la experiencia se puede dar una función de valores.

3º Diseño de la red de muestreo.

Para el control de los indicadores definidos, se deben estudiar las zonas propicias para su deposición. En definitiva se debe conocer cual es el vehículo que los transporta. Si el transporte se realiza en las cenizas volantes, la zona de localización esperada estará próxima a las chimeneas, en un radio de unos cinco kilómetros, ampliable de acuerdo al régimen de vientos. En

.../...

cambio, si se buscan sustancias o efectos relacionados con la lluvia ácida producida por los gases de combustión, el área de trabajo debe ser incrementada hasta una superficie de más de cien kilómetros de radio. Esto estará en función de los regímenes de viento y lluvias y de la orografía que pueden favorecer su transporte a zonas lejanas.

Partiendo de lo expuesto se han definido los puntos de toma de muestras de aguas superficiales y subterráneas, de suelos y de vegetales a fin de detectar no sólo la existencia de contaminación, sino también su recorrido y mecanismos de incorporación al medio.

4ª Campaña de toma de muestras.

Es la fase más mecánica, pero a su vez la más delicada. Es necesario estudiar convenientemente el método de muestreo pues las muestras han de ser representativas, planificando desde la forma de la toma hasta el almacenamiento de la muestra.

En base a la red diseñada se planificó la toma de muestras en dos campañas, a fin de considerar dos estaciones del año diferentes, de forma que se obtuvieran datos sobre la influencia de la climatología reinante en los mecanismos de deposición de los elementos contaminantes. De igual modo se ha tratado de hacer coincidir la toma de muestras con los breves intervalos de encendido de la Central, principal foco potencial de contaminación de la zona de estudio.

.../...

A fin de compaginar ambos objetivos, se realizaron las campañas de toma de muestras con un intervalo de tiempo de dos meses, realizándose una en invierno (finales de febrero) y la segunda en primavera (primeros de mayo).

En el caso de las plantas el método de muestreo elegido es función del tipo de vegetal, de las determinaciones a realizar y de los objetivos principales perseguidos por el proyecto.

La obtención de una muestra representativa de suelo es más complicado de realizar. Los suelos son materiales muy variables y en un mismo suelo se pueden obtener diferentes resultados según las tomas se realicen en áreas soleadas, o sombrías el tipo de regadío y la distancia entre plantas si es suelo agrícola, la vegetación existente, etc. Por otro lado es muy importante tener presente el riesgo de contaminación con otras capas del suelo cuando de muestrea a profundidad.

Respecto a la toma de muestras de agua influyen diversos parámetros, tales como las características del pozo y del acuífero, la profundidad de recogida, el tiempo transcurrido desde el anterior bombeo, la época del año en que se realice la toma, etc, todo esto es debido a que el agua subterránea está sujeta a una importante dinámica, donde el caudal es función de la recarga y de la permeabilidad de los materiales que atraviesa.

Una garantía en cuanto a la fiabilidad de la toma de la muestra es el hecho de que el pozo de donde se recoge lleve bastante tiempo en funcionamiento. Esta circunstancia es difícil

.../...

que se dé y se adopta otro criterio que no es el más preciso pero sí el más práctico. Este criterio es el de la estabilización de la conductividad eléctrica del agua. Este hecho se puede considerar realizado a los veinte o treinta minutos desde que la bomba del pozo se pone en marcha.

5º Análisis de las muestras.

Una vez obtenidas las muestras, se debe elegir un método de análisis. Las tres etapas de que se componen los análisis en la gran mayoría de los materiales son:

- preparación de la muestra
- digestión o extracción de las sustancias a determinar
- determinación

En el caso de muestras de agua, la segunda fase no es necesaria pues los compuestos a determinar ya se hallan disueltos en ella. El método de análisis para las aguas depende del elemento a determinar y se expondrá en un apartado específico posterior.

Respecto a las plantas lo primero que se efectúa es su incineración, siendo el resto del proceso similar al de los suelos y sedimentos.

En las muestras de suelos la primera etapa incluye el secado, la disgregación y el tamizado. La siguiente etapa consiste en la liberación de elementos traza en disolución bien sea por extracción parcial o completa.

La determinación se puede realizar por colorimetría, espectrofotometría de absorción atómica o por espectroscopía de emisión de plasma. Alternativamente la muestra tamizada se podría analizar directamente por fluorescencia de rayos X o por espectroscopía de emisión.

6º Interpretación de los resultados. Propuesta de metodología.

En esta fase, en base a la información bibliográfica y a la obtenida en los centros de contaminación, y en particular en la Central Térmica, y a la vista de los resultados de los análisis y de su interpretación, se define la situación actual del acuífero, pudiéndose establecer una teoría sobre los mecanismos de contaminación de origen atmosférico, que sirva de base para el establecimiento de una metodología para el estudio de casos similares en otras zonas.

.../...

5.- EL MEDIO FISICO

5.- EL MEDIO FISICO

En el estudio del medio físico de la zona se han tenido en cuenta aquellos parámetros que a priori pueden participar o tener influencia en la problemática del estudio.

Así, en esta línea, se han considerado los siguientes aspectos:

- 1.- Geología y litología.
- 2.- Climatología.
- 3.- Hidrografía e hidrogeología.
- 4.- Fisiografía.
- 5.- Edafología.
- 6.- Vegetación, cultivos y aprovechamientos.

5.1. GEOLOGIA Y LITOLOGIA

Los materiales que aparecen en la zona de estudio, abarcan desde el Triásico hasta el Cuaternario más reciente, si bien la mayor parte de la superficie pertenece al Cuaternario, mientras que el resto de los materiales afloran en zonas restringidas. Fig. 3.

En las figuras 4 y 5 se muestran dos cortes esquemáticos con la disposición que presentan los materiales.

a) Triásico.

Pertencen a este periodo los afloramientos de las últimas estribaciones de la Sierra del Espadán y algunos otros que aparecen más al sur, ya en la provincia de Valencia.

Los materiales que afloran son principalmente arcillas y areniscas del Buntsandstein; calizas y dolomías del Muschelkalk, y margas, arcillas abigarradas y yesos del Keuper.

b) Jurásico.

Los afloramientos de este periodo son escasos y dispersos y están constituidos principalmente por calizas y margas.

c) Cretácico.

Los afloramientos cretácicos se sitúan en la parte noroeste, y están representados por calizas y margas del Aptense, si bien son también de escasa entidad.

d) Terciario

Los principales afloramientos terciarios se presentan a lo largo del Río Mijares. Tienen carácter detrítico y están cons-

.../...

tituidos por potentes conglomerados que alternan con capas delgadas y lentejones de areniscas y arcillas.

Los conglomerados son poligénicos constituidos por areniscas del Triásico, calizas y dolomías del Jurásico y Cretácico y cuarcitas. La matriz es arcillo-arenosa y su cemento calcáreo.

El color de toda la serie es rojo, variando entre ocre rojizo y rojo intenso.

e) Cuaternario

Los materiales cuaternarios son los más abundantes en la zona estudiada. Se pueden diferenciar tres unidades:

1.- Depósitos continentales

Los depósitos continentales presentes tienen las siguientes características:

- Mantos aluviales encostrados

Están formados por un conglomerado de cantos de caliza y arenisca. La matriz es arcillosa y el cemento calcáreo.

- Depósitos de pie de monte

Están constituidos por una brecha heterométrica y polimétrica cuyos cantos se encuentran inmersos en una matriz arcillosa o arenosa rojiza con cemento calcáreo. Parece constituir los sedimentos de pie de monte de cobertera detrítica de glacis antiguos que al encostrarse posteriormente, han sido preservados de la erosión.

- Mantos de arroyada

Los depósitos de tipo laminar suprayacentes de los mantos

.../...

aluviales. Son arcillas rojas con cantos de los mantos aluviales y de costras zonales.

- Abanicos aluviales

Adoptan una forma triangular. Están constituidos por arcillas arenosas rojas con cantos fluviales.

- Coluviones

Formados a partir del Mesozóico están constituidos por arcillas rojas con cantos mesozóicos sueltos.

- Terrazas fluviales

Se distinguen cinco terrazas correspondientes a cinco épocas distintas de excavación.

2.- Depósitos marinos

Los depósitos de carácter marino constituyen un cordón litoral fósil formado por un conglomerado marino fosilífero. Este cordón formó el cierre de las albuferas que actualmente se encuentran colmatadas. Dichas albuferas están rodeadas, por una orla de limos pardos consideradas como depósitos mixtos continentales-marinos.

3.- Depósitos mixtos continentales-marinos

Los depósitos mixtos de carácter continental y marino están constituidos por los deltas de los ríos Seco y Mijares que forman dos abanicos aluviales deltáicos sumergidos.

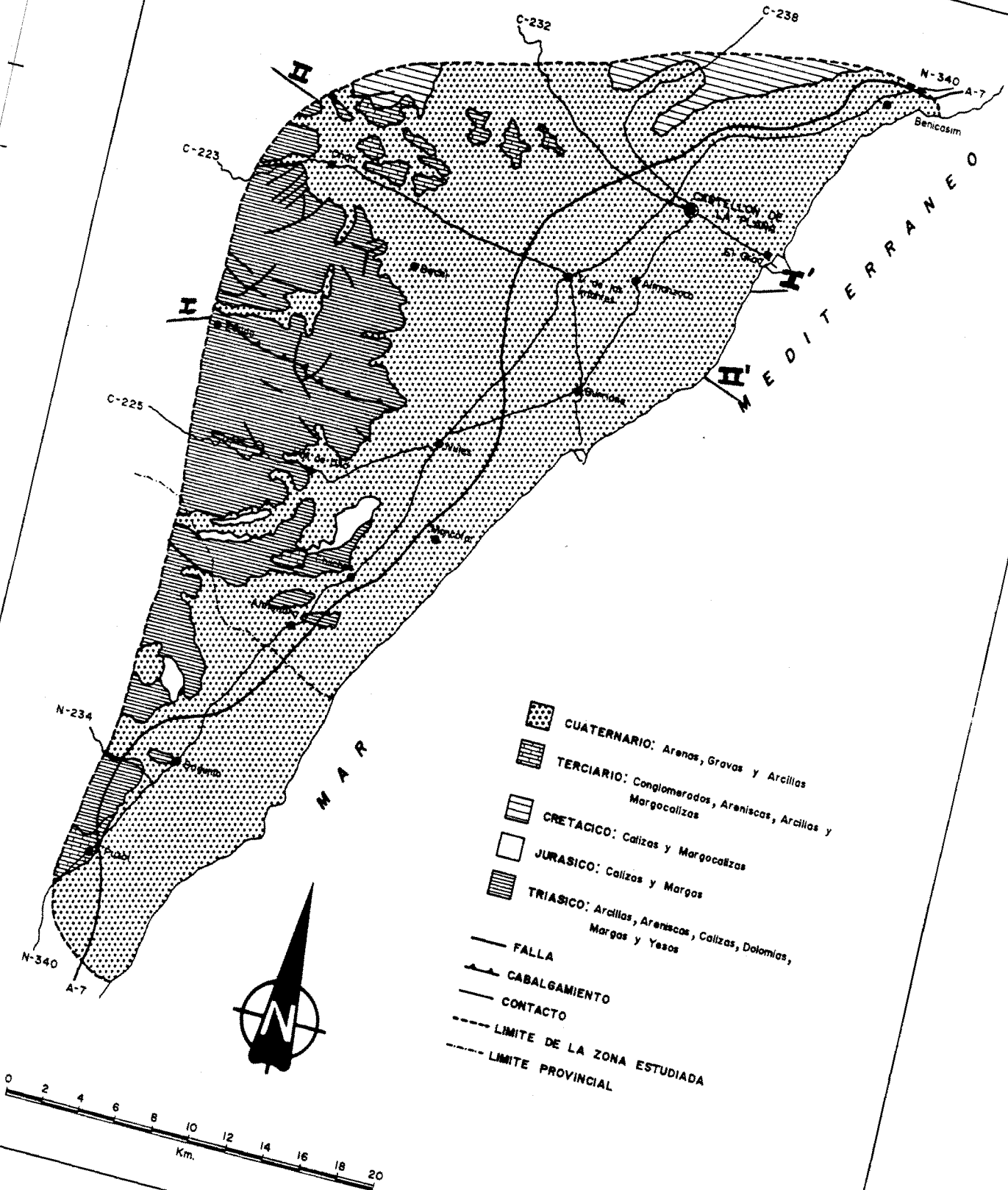


Fig. 3. Geología y Litología de la zona de estudio.
Fuente: IGME

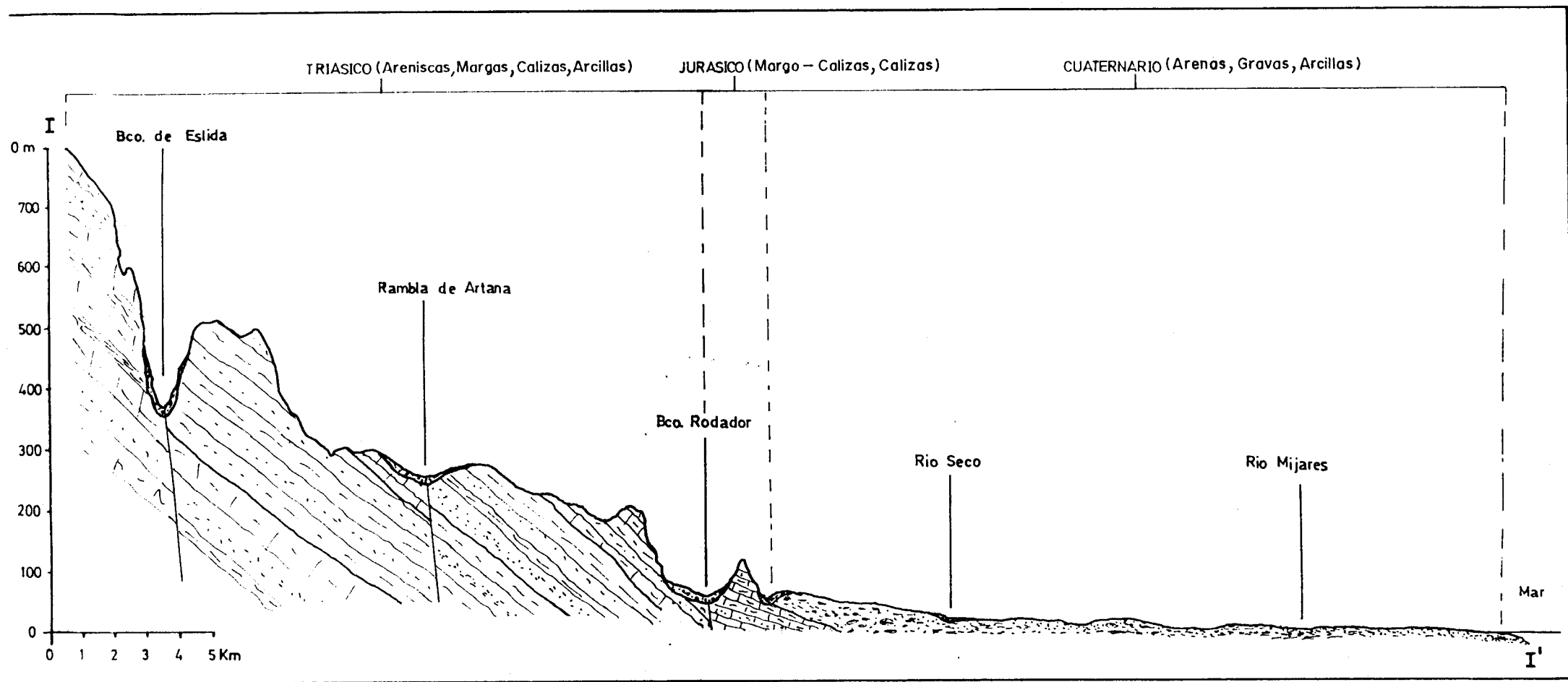


Fig. 4. Corte litológico NE-SO de la Zona. (en la fig.3 I-I')

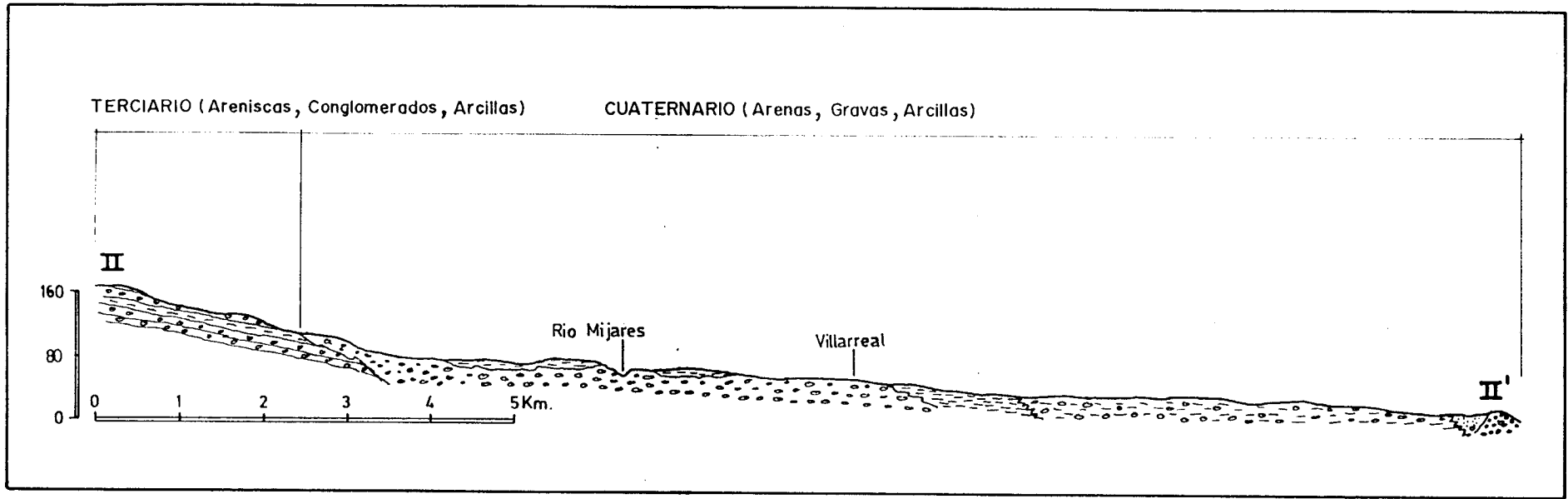


Fig. 5. Corte litológico de la zona de La Plana. (en la fig.3 II-II')

5.2. CLIMATOLOGIA

Debido a su situación, la zona meridional de la provincia de Castellón de la Plana, en el límite de la cuenca occidental del Mediterráneo, tiene un clima mediterráneo típico pero con características peculiares.

El estudio climatológico se ha basado, fundamentalmente, en el análisis de las precipitaciones y temperaturas, (cuadro 1) habiéndose tenido en cuenta también el régimen de vientos, que son los responsables del movimiento y traslado de los gases de combustión procedentes de la central que nos ocupa.

En función de los datos termopluviométricos se ha calculado la evapotranspiración potencial y real, así como una serie de índices climáticos que permiten relacionar los distintos parámetros que definen el clima.

Los datos utilizados se han obtenido del trabajo "El Clima de la Provincia de Castellón (1986)", del Atlas Agroclimático Nacional de España, de fichas del Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias y de fichas del Instituto Nacional de Meteorología.

Las características de la red de estaciones utilizadas en el estudio de las variables climatológicas se presentan en el cuadro 2. Su localización puede verse en la fig.6.

5.2.1. Precipitaciones

La pluviometría de la zona se caracteriza por dos rasgos muy acusados. En primer lugar, la escasez de precipitaciones a lo

.../...

ESTACION	PRECIPITACION (mm)	TEMPERATURA (° C)
Bechi	562	17,4
Burriana	420	15,6
Castellón	440	17,2
Eslida	636	16,2
Onda	538	16,6
Sagunto	456	17,9
Vall de Uxó	500	16,2

Cuadro 1 Precipitaciones y Temperaturas en diversas estaciones de la zona de estudio.

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología

ESTACION	Nº AÑOS		PERIODO		COORDENADAS		
	T	P	T	P	Lat.	Long.	Alt.
Bechí	23	27	1957-80	1952-80	39-56	3-29E	102
Burriana	12	19	1961-72	1931-72	39-53	3-36E	12
Castellón de la Plana	50	50	1931-80	1931-80	39-59	3-39E	27
Onda "El Carmen"	16	19	1954-69	1946-69	39-57	3-25E	226
Vall de Uxó	18	27	1961-79	1950-79	39-49	3-27E	118
Sagunto	7	38	1961-78	1943-80	39-41	3-25E	46

Cuadro 2. Características de la red de estaciones.

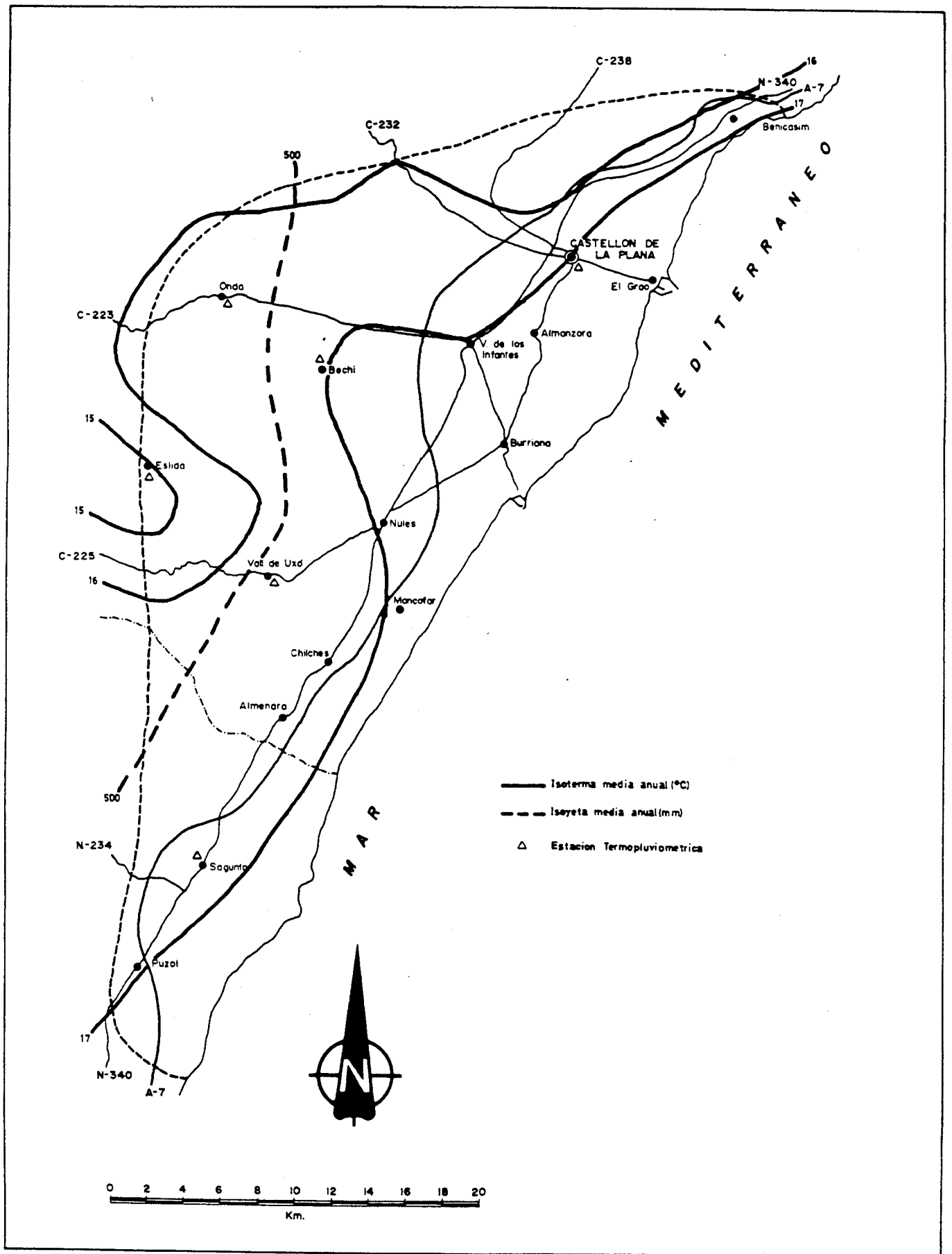


Fig. 6. Plano de isoyetas, isotermas y situación de estaciones termopluviométricas.

largo del año, y en segundo lugar, el caracter torrencial de las mismas, que se localizan fundamentalmente en los equinocios.

Las precipitaciones medias anuales a nivel provincial oscilan entre los 400 mm del área costera y los 800 mm de las montañas occidentales, mientras que la zona de estudio según se puede apreciar en la fig. 6. queda comprendida en la isoyeta de 500 mm anuales. Como rasgo característico es de destacar que en la costa se contabilizan más días de lluvia al año que en el interior.

Esto se debe tanto a la incidencia de la contaminación, si es zona urbana, como a la participación de los núcleos higroscópicos salinos marinos que provocan finísimas precipitaciones.

La escasez pluviométrica se ve agravada por la irregularidad interanual de las precipitaciones. Generalmente, las lluvias otoñales son muy intensas, mientras que el invierno y verano son las estaciones más secas.

Otra característica importante de la pluviometría son los súbitos aguaceros que consisten en la caída, durante escasas horas, de grandes cantidades de agua, lo que ocasiona o puede derivar en inundaciones. Estas trombas de agua llegan a proporcionar hasta un 35 % del total de las precipitaciones anuales, siendo octubre el mes más afectado.

Esta tendencia a la inestabilidad atmosférica está propiciada por dos circunstancias. La primera de ellas es la existencia de un muro orográfico, entre 700 y 1800 m, a sólo 39 km de la

.../...

costa, formado por la sierra del Espadán. Por otro lado se tiene una causa de carácter estacional, basada en la diferencia de temperatura mar-tierra que alcanza su máximo en el mes de octubre, en el que en tierra hay 18,2 °C de media y en el mar 24,2 °C. Si a esto se le une un máximo de humedad relativa del 72 %, se comprende que en dicho mes se produzcan más del 20 % de las precipitaciones anuales.

5.2.2. Temperaturas.

El régimen térmico presenta características propias de las zonas con influencia marítima, que va desapareciendo a medida que se avanza hacia el interior, con el consiguiente descenso de la temperatura.

Así en esta zona los veranos son calurosos con temperaturas medias por encima de los 25° C, mientras los inviernos son templados con temperaturas medias que en raras ocasiones descienden por debajo de los 10° C. En la fig. 6 se muestran las isoyetas, las cuales definen el régimen de temperaturas de la zona estudiada.

5.2.3. Régimen de vientos.

El régimen de vientos tiene una gran importancia ya que determina el comportamiento del penacho de humo de la central térmica y por tanto condiciona en gran medida, las características y límites del área que puede verse afectada por las deposiciones seca, húmeda y lluvia ácida.

Una prueba del reconocimiento de la influencia de los vien-

.../...

tos en la contaminación de la zona es que en las ocasiones en que se produce el encendido de la central térmica, el momento del soplado de la caldera se realiza cuando la dirección y el sentido del viento es de tierra a mar, a fin de disminuir los efectos nocivos en la zona circundante.

Existe escasa información sobre las características de los vientos en la zona. Los únicos datos publicados que interesan al desarrollo de este proyecto por su cercanía geográfica respecto a la central térmica, son los obtenidos en el período de 1967 a 1974 sobre la isleta de recepción de crudos distante 2,5 km frente a la Refinería de Petromed. Cuadro 3.

5.2.3.1. Velocidad media.

La velocidad media de los vientos en una zona determinada se expresa en km/h en las dieciséis direcciones de una rosa de los vientos. En el Cuadro 3 se observa que la máxima velocidad media de los vientos se produce en las direcciones NNE, y en la SSW, Es decir, hay una destacada preferencia por una dirección de la rosa de los vientos, en sus dos sentidos. Las velocidades mínimas se encuentran en la dirección W.

En verano se puede observar que es superior la velocidad de los cuadrantes orientales, calmándose los vientos del N y W. En otoño e invierno en cambio, éstos se fortalecen al retirarse el anticiclón de las Azores.

5.2.3.2. Direcciones

En el Cuadro 4 se reflejan las direcciones de los vientos en

.../...

PERIODO 1967-74		ISLETA DE RECEPCION DE CRUDOS 2,5 KM FRENTE A REFINERIA						
MES	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE
Enero	11,0	14,4	12,5	9,0	12,0	--	7,2	13,6
Febrero	11,4	19,2	15,1	14,3	9,0	10,2	14,3	6,0
Marzo	10,7	25,0	18,4	14,4	10,2	12,5	9,0	9,0
Abril	16,8	15,2	12,8	9,6	7,7	7,8	10,2	8,4
Mayo	12,0	18,4	12,5	10,8	7,8	9,6	9,0	10,5
Junio	9,6	20,0	12,0	10,0	7,2	9,0	8,4	23,0
Julio	7,6	20,0	10,2	9,0	8,4	8,4	8,4	16,2
Agosto	10,2	16,0	14,4	9,0	14,4	7,8	9,6	--
Septiembre	7,2	17,5	16,8	10,7	9,6	7,8	9,6	8,4
Octubre	13,6	38,3	16,0	10,8	8,4	10,2	7,2	7,2
Noviembre	20,0	22,4	18,4	12,5	7,7	--	14,3	--
Diciembre	15,2	16,0	16,1	12,2	9,6	--	12,0	--
AÑO	12,1	20,0	14,6	11,0	8,9	9,9	9,1	11,1

Cuadro 3. Velocidad según direcciones de los Vientos.
Fuente: La Provincia de Castellón de la Plana.
Tierras y Gentes.

MES	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
Enero	8,4	35,6	15,2	14,4	8,4	10,2	10,2	13,8
Febrero	12,0	17,5	10,8	8,4	9,0	9,7	16,0	13,0
Marzo	19,0	12,8	11,4	9,6	7,2	12,0	14,4	12,0
Abril	12,0	20,0	13,6	7,1	7,8	10,1	9,6	12,0
Mayo	14,4	18,4	13,6	6,0	9,0	18,4	15,0	12,0
Junio	11,4	13,6	9,0	9,0	6,0	12,0	13,0	--
Julio	10,2	--	9,0	7,8	5,5	7,2	7,6	6,0
Agosto	10,8	12,8	6,0	12,0	6,0	--	6,0	6,0
Septiembre	11,4	--	7,8	9,0	7,2	6,6	6,0	--
Octubre	7,3	16,0	9,6	6,0	6,7	9,0	8,5	16,0
Noviembre	10,9	19,8	14,4	9,5	7,8	6,0	10,8	25,0
Diciembre	12,7	12,0	11,7	12,3	9,0	9,5	12,3	14,4
AÑO	11,7	17,8	11,0	9,2	7,4	10,0	10,7	13,0

Cuadro 3. (Continuación)

la misma isleta de recepción de crudos de Petromed. Los valores numéricos son las frecuencias de las direcciones según los meses.

Se observa que el 25% del total anual de frecuencias corresponde a los vientos del NE. y E. o banda del "Llevant", pero sus velocidades medias no son muy altas al tener una elevada contribución en dicho porcentaje la brisa estival. Esta dirección provoca una nubosidad marina cuyas lluvias son duraderas y con fuerte aparato eléctrico.

Como ejemplo de esta distribución de frecuencias se incluyen los gráficos mensuales obtenidos en el Instituto Francisco Ribalta (1960-1983) (Fig. 7).

Otros vientos de importancia son el "gregal", un viento frío, de dirección NNE, que procede del Golfo de Génova; el "xaloc", del cual provienen también determinadas brisas estivales, y el "llebeig" o "garbi" que, dentro de las direcciones SW y SSW, es poco importante en esta zona, pero que al norte de Castellón supone más del 25 % de las frecuencias anuales. Está ligado a lluvias y por tanto resulta más peligroso.

Entre los de menor frecuencia se encuentran el "ponent", de mayor fuerza en los meses invernales; el "migjorn", de dirección S, que apenas se deja notar en el interior; la "tramontana" o "amburgas", sólo frecuente en otoño e invierno y proveniente del N, y el "mestral" o "cerc" (cierzo) del extremo septentrional, que es el menos frecuente y típicamente invernal.

.../...

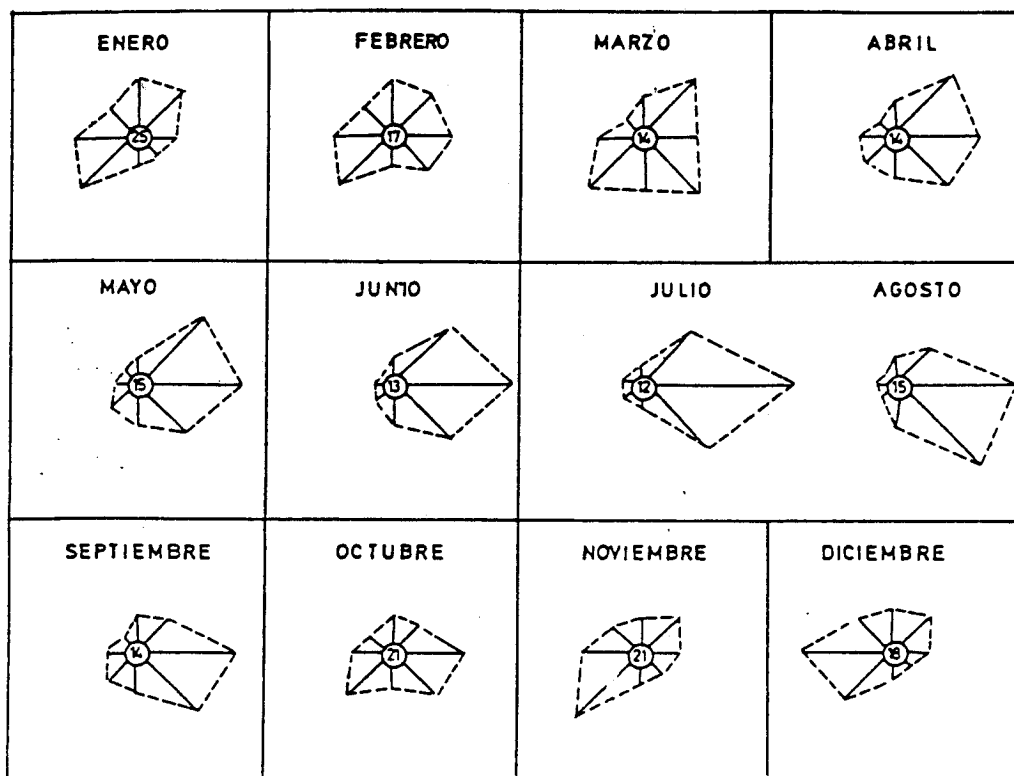


Fig. 7. Diagramas de frecuencias de vientos en el Instituto Francisco Ribalta de Castellón (1960-83)
Fuente: Atlas de Castellón de la Plana.

PERIODO 1967-74		ISLETA DE RECEPCION DE CRUDOS 2,5 KM FRENTE REFINERIA							
MES	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S
Enero	5,3	3,3	5,0	1,3	0,3	0	1,7	1,7	5,3
Febrero	4,9	2,4	6,9	2,8	3,1	1,4	1,7	2,1	4,9
Marzo	8,0	4,8	17,1	6,1	4,8	1,6	6,7	3,2	6,1
Abril	5,1	3,9	17,9	7,2	6,9	6,3	5,7	1,8	1,2
Mayo	4,2	1,5	9,7	7,9	5,5	4,8	12,8	4,8	8,8
Junio	2,3	2,4	11,3	8,6	16,5	6,6	8,6	1,7	13,2
Julio	2,6	2,3	15,2	10,5	9,6	8,2	11,4	2,3	4,1
Agosto	2,0	0,5	13,0	13,0	9,8	6,2	7,3	3,1	4,1
Septiembre	1,4	3,7	12,4	13,6	7,8	4,9	3,7	4,0	10,5
Octubre	5,4	3,0	13,5	4,6	7,7	4,2	8,8	1,9	7,7
Noviembre	5,2	3,1	7,5	11,7	5,2	--	1,0	--	4,2
Diciembre	8,9	1,7	9,8	4,0	3,1	--	3,4	--	4,3
AÑO	4,6	2,7	11,6	7,6	6,6	3,6	6,0	2,2	7,0

MES	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	CALMA
Enero	1,0	8,7	6,0	21,4	10,0	5,6	2,0	20,8
Febrero	3,8	10,8	4,9	23,7	5,5	8,7	1,0	12,5
Marzo	2,5	3,2	4,2	9,3	3,5	4,2	0,6	14,1
Abril	1,5	4,5	2,4	6,9	3,0	3,0	0,3	12,5
Mayo	2,4	5,5	1,8	6,1	1,2	3,6	0,2	19,2
Junio	1,6	3,4	0,8	1,8	0,3	1,8	---	19,1
Julio	--	1,7	0,8	1,6	1,3	1,5	0,3	26,6
Agosto	1,0	1,0	0,6	5,2	--	0,6	0,6	32,9
Septiembre	--	4,9	1,4	4,0	3,7	1,8	--	22,2
Octubre	0,4	4,2	0,4	10,4	4,0	5,7	0,7	17,4
Noviembre	1,5	4,9	3,7	20,2	4,0	5,0	1,0	21,8
Diciembre	0,3	4,6	2,6	19,7	8,4	8,4	2,0	18,8
AÑO	1,3	4,7	2,4	10,8	3,7	4,1	0,7	19,8

Cuadro 4. Dirección y Frecuencia de los vientos en %.

5.2.4. Aridez

La aridez es un índice fitoclimático de gran importancia en las áreas mediterráneas, que proporciona una relación entre las precipitaciones y temperaturas medias.

Toda la zona está incluida en el sector en el que se registran tres meses de aridez, que coinciden con el periodo más seco, es decir los meses de Junio, Julio y Agosto, dándose un índice de aridez mayor de 65, valor frecuente en numerosas zonas costeras mediterráneas.

5.2.5. Evapotranspiración

La evapotranspiración es un factor de gran importancia en el estudio del medio físico, por ser básico en el cálculo de las necesidades hídricas de una zona.

La evapotranspiración potencial (ETP) alcanza los valores más elevados en la zona costera, (868 mm en Castellón) donde las temperaturas son más elevadas. A medida que se avanza hacia el interior la ETP desciende al mismo tiempo que decrecen las temperaturas invernales (Eslida 833 mm). Cuadro 5.

En la figura 8 se representan los balances hídricos de tres estaciones que pueden considerarse representativas en función, sobre todo, de su distribución geográfica. Son Castellón, Onda y Eslida. De su estudio se deduce que las diferencias entre la evapotranspiración potencial y la evapotranspiración real (ETR), son menores de E a W por lo que las necesidades son satisfechas en mayor grado en la zona occidental que en la costa.

.../...

El período en el que las precipitaciones superan la ETP y por lo tanto ésta coincide con la ETR, es corto en la costa y más extenso en el interior. El período con la ETP satisfecha es mayor en el área más occidental, generalmente de octubre a mayo.

En los meses en que la precipitación no alcanza los valores que señala la ETP, el agua acumulada en el suelo satisface, en parte, el déficit, siendo septiembre el mes que da la cifra más elevada de déficit acumulado: Castellón 576 mm, Eslida 398 mm. (los datos referentes a evapotranspiración son los del "Atlas de la Provincia de Castellón de la Plana (1982)").

5.2.6. Clasificación climática

Para clasificar el clima de la zona se ha seguido la nomenclatura de Köppen junto con la de González Vázquez, que caracteriza el clima en relación a comarcas naturales de determinada vegetación.

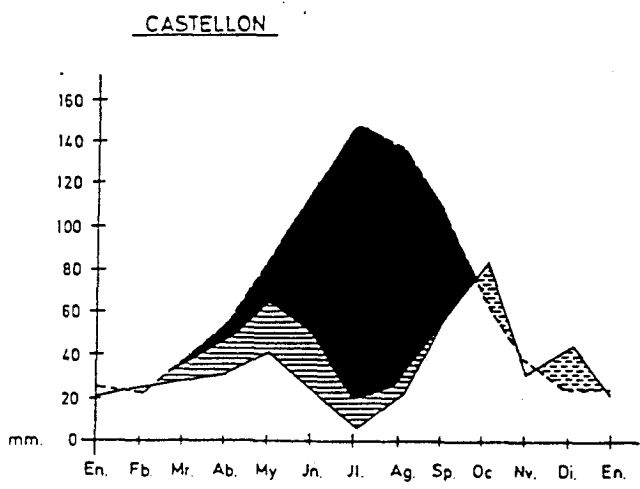
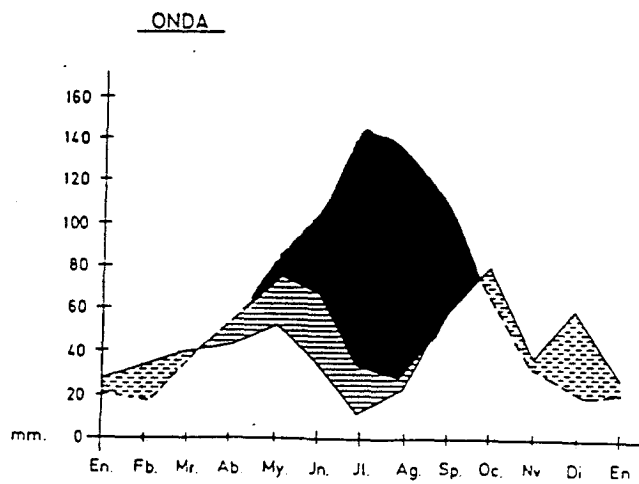
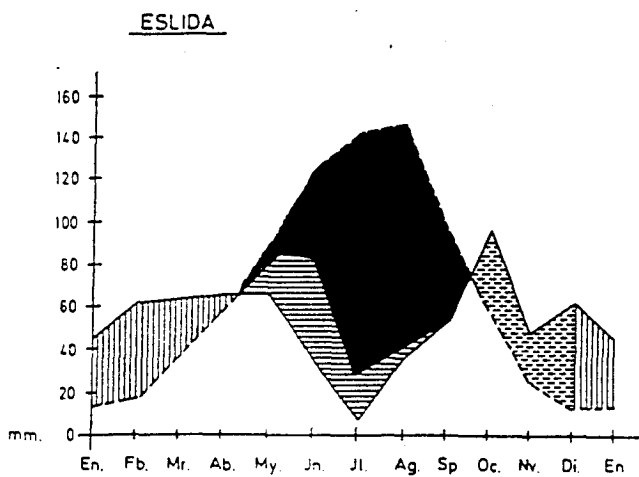
En el Cuadro 6 figuran los resultados obtenidos para el conjunto de estaciones termopluviométricas de la zona estudiada.

Como puede observarse, el clima imperante en toda la zona es del tipo Mediterráneo.

El clima Mediterráneo se caracteriza por los inviernos templados y húmedos y los veranos secos y soleados. Otras peculiaridades de este clima son:

- las temperaturas medias o máximas en el verano son, en general elevadas, favoreciendo la maduración y calidad de los frutos. Así, en la provincia de Castellón, la temperatu

.../...



- DEFICIT DE AGUA
- AGUA SUPERFLUA
- AGUA ACUMULADA EN EL SUELO
- UTILIZACION DEL AGUA DEL SUELO
- PRECIPITACION
- EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL
- EVAPOTRANSPIRACION REAL

Fig. 8. Diagramas de balances hídricos.

ESTACION	ETP (mm)	ETR (mm)		
		reserva suelo 75 mm	reserva suelo 100 mm	reserva suelo 150 mm
Bechí	900	519	537	537
Burriana	803	465	465	465
Castellón	867	435	435	435
Eslida	838	501	526	576
Onda	858	510	521	521
Sagunto	833	486	511	518
Vall de Uxó	838	460	460	464

Cuadro 5. Evapotranspiración potencial y real
Fuente: Instituto Nacional de Meteorología.

ESTACION	CLIMA
Bechí	Mediterráneo, subseco, cálido-templado
Burriana	Mediterráneo, perseco, templado-cálido
Castellón	Mediterráneo, subseco, cálido-templado
Eslida	Mediterráneo, subseco, templado-cálido
Onda	Mediterráneo, subseco, templado-cálido
Sagunto	Mediterráneo, subseco, templado-cálido
Vall de Uxó	Mediterráneo, seco, templado-cálido

Cuadro 6. Tipos de clima según Köppen y Gonzalez Vázquez.
Fuente: Atlas Agroclimático Nacional de España.

ra media del mes más cálido está siempre por encima de los 21°C.

- las precipitaciones son irregulares en distribución y cuantía, con máximos situados generalmente en primavera y otoño.
- la evapotranspiración del conjunto suelo-planta y la insolación son muy elevadas en los meses de verano.
- los contrastes productivos entre la vegetación de secano y de regadío son bastante grandes.

5.3. MARCO HIDROGRAFICO E HIDROGEOLOGICO

5.3.1. Hidrografía

La zona sometida a estudio corresponde en su totalidad a la cuenca del río Júcar.

La red fluvial de dicha zona drena parte de las estribaciones orientales del Sistema Ibérico y vierte sus aguas al Mediterráneo, bien directamente o mediante diversas afluencias. El funcionamiento de dicha red permite establecer dos grandes tipos de corrientes hídricas: las de circulación permanente y las de flujo discontinuo (en general, diferenciadas toponímicamente como ríos y ramblas). Los ríos que desembocan en la zona del estudio son los siguientes: (Fig. 9)

a) **Río Mijares.** Es el río más importante, pues es el único curso de agua verdadero de la comarca. Discurre a lo largo de 175 km, naciendo en los riscos de Gúdar en Alcalá de la Selva, Teruel, y recoge su caudal gracias a las precipitaciones de la Sierra de Gúdar, Javalambre y Maestrazgo. La cuenca del río Mijares ocupa una extensión de 4.018 km², afluyéndole caudales a través de ella de los ríos Albentosa, Villahermosa, Montan y la Rambla de la Viuda. Desemboca en Almazora.

Al quedar su cauce por encima, del nivel piezométrico del acuífero miocuaternario, en todo su recorrido, este se recarga del río fundamentalmente entre la entrada de La Plana y las acequias de Villareal, Burriana y Castellón-Almazora.

El río Mijares tiene dos épocas de crecidas: junio y

.../...

septiembre. La primera es característica de los ríos ibéricos y septiembre y octubre de los mediterráneos.

b) Río Palancia. Sus 85 km de longitud se desarrollan íntegramente sobre el sistema acuífero Sierra de Espadán-Plana de Castellón-Sagunto y su cuenca tiene una superficie de 911 km². Nace a más de 1.100 m de altura en las estribaciones de la Sierra del Toro y Andilla, Castellón. Penetra en Valencia por Algar de Palancia, desviándose al sur hacia Estivella donde se orienta de nuevo al NO-SE para pasar por Petres y Sagunto y desembocar en el Mediterráneo con un amplio delta a la altura de Canet de Berenguer. Con un pobre caudal de 2 m³/s en el valle medio, sufre dos crecidas en marzo y en octubre que alternan con las sequías de invierno y de verano.

c) Rambla de la Viuda. Aún siendo afluente del Mijares, merece individualizarse por su gran longitud, 90 km, extensión de cuenca, 1.500 km², y gran transcendencia paisajística.

d) Las corrientes de La Plana, Entre ellas se encuentran los ríos Seco y Belcaire a excepción del Mijares, nacen en los relieves próximos al mar, con escasas precipitaciones en su cabecera, de curso corto, rápida pendiente, caudal escaso y extrema irregularidad. Estos ríos, debido al riego que los agota, reciben en los tramos inferiores el nombre de ríos secos.

5.3.2. Hidrogeología

La zona estudiada se enclava en su totalidad en el sistema acuífero Sierra de Espadán-Planas de Castellón y Sagunto.

.../...

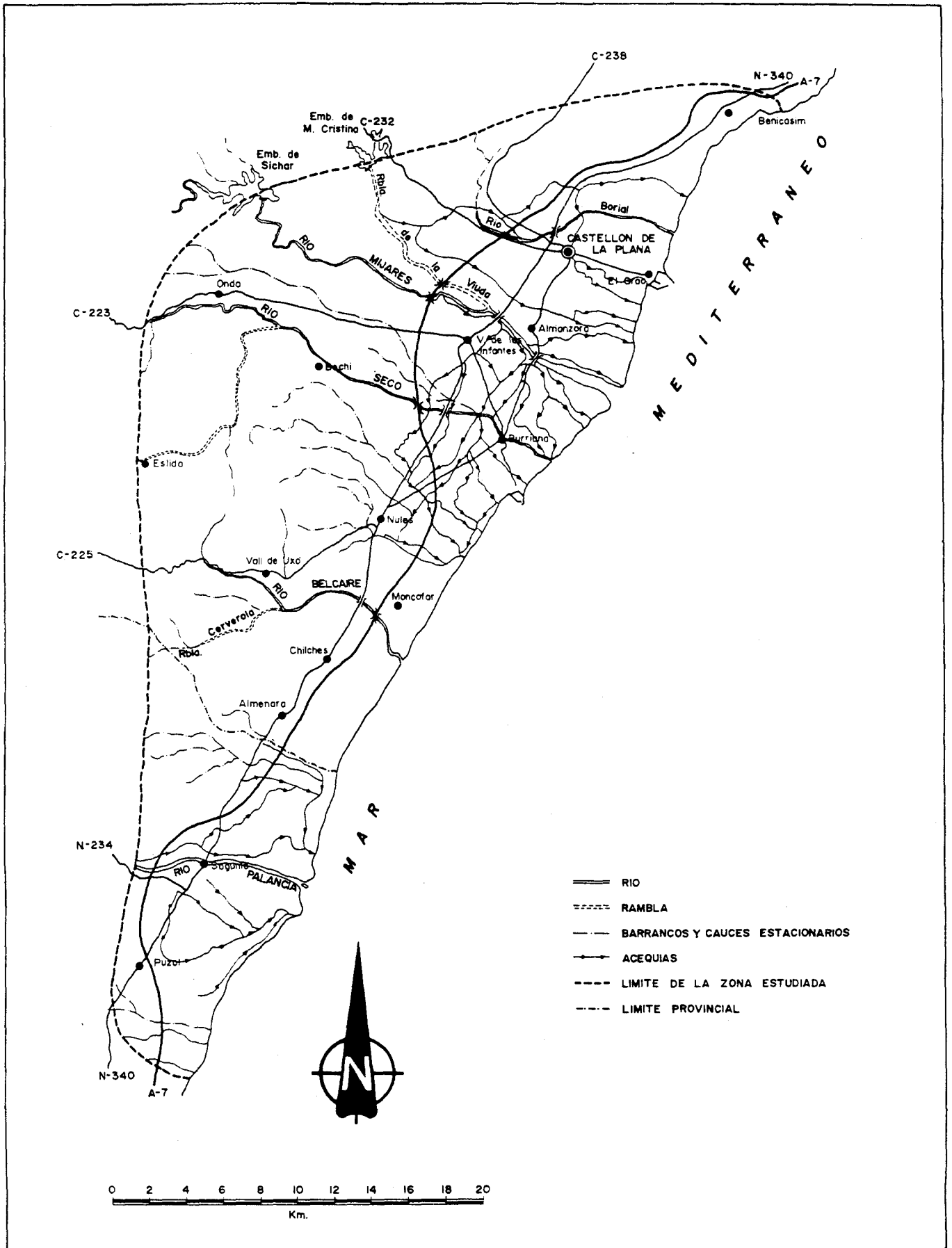


Fig. 9. Red hidrológica de la zona estudiada.

Ocupa una superficie total de 3.250 km² que incluye una serie de subsistemas, total o parcialmente dentro de la zona: Plana de Castellón, Plana de Sagunto, Onda, Medio Palancia, Náquera-Puzol y Sierra de Espadán. Fig. 10.

En el sistema se pueden diferenciar los dominios sedimentarios con indudables implicaciones hidrogeológicas como son la Plana de Castellón-Sagunto, que está constituido por niveles acuíferos pliocuaternarios de la llanura costera, extendiéndose entre Benicasim y Puzol y el segundo dominio de acuíferos mesozóicos del interior, individualizados en función de estructuras con significado hidrogeológico.

En la Fig. 11 se recoge esquemáticamente el balance general del sistema acuífero, según datos del ITGE (1.981) en donde puede apreciarse la existencia de un déficit del orden de 14 hm³/año

La precipitación anual media en la superficie que ocupa el sistema varia entre los 480 mm en el litoral y los 700 mm del interior.

La red de drenaje está constituida por los ríos Turia, Mijares y Palancia, desembocando los dos últimos en la zona estudiada. Otros de menor entidad, como el Seco, Becaire generalmente llegan secos a su desembocadura.

5.3.2.1. Subsistemas acuíferos.

- Subsistema Plana de Castellón

La Plana de Castellón ocupa una franja costera de aproximadamente 464 km² de extensión, siendo su cota máxima de 130 m.

.../...

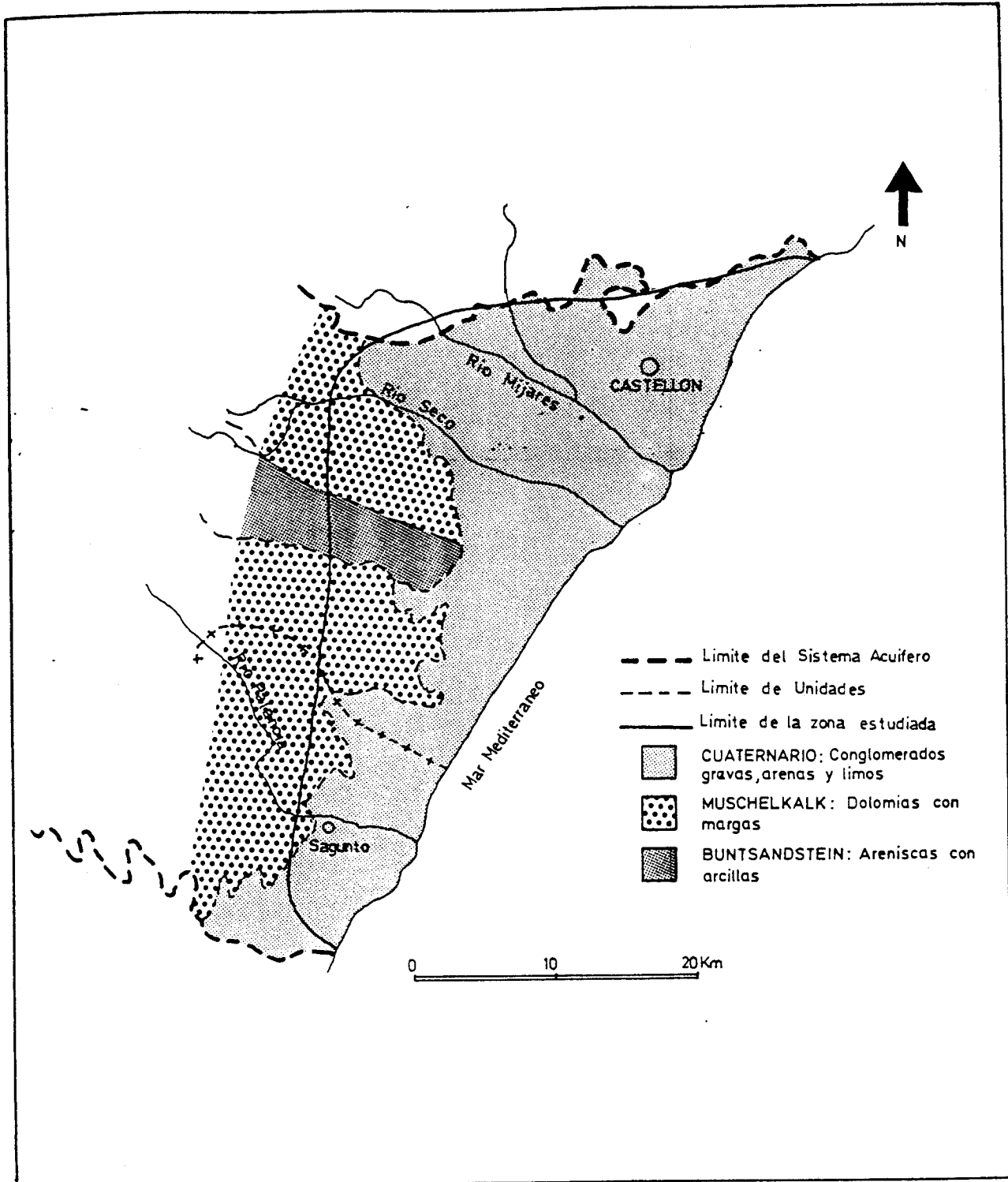


Fig. 10 Situación de la zona en relación con el sistema acuífero y las distintas unidades.

Fuente: IGME.

La formación acuífera está constituida por sedimentos pliocuaternarios de arenas, gravas y conglomerados en una formación arcilloso-limosa, que se apoyan según áreas en un segundo acuífero sobre materiales mesozóicos.

El espesor varía entre 50 y 200 metros, localizándose el máximo en las inmediaciones del río Mijares con 270 m. Las características hidráulicas son variables presentando transmisividades entre 1500 y 6000 m²/día en su gran mayoría, un coeficiente de almacenamiento entre el 5 y 15 % y permeabilidades entre 30 y 120 m/día, estando los valores usuales comprendidos entre 50 y 100 m/día. El funcionamiento hidráulico se asocia al de un acuífero multicapa en el que la superficie piezométrica varía entre 10 m.s.m.m. y el nivel del mar, aunque según se avanza hacia el interior la piezometría gana en altura, hasta los 90 m.s.m.m. en Onda.

La circulación del agua subterránea se realiza según una dirección aproximada ONO-ESE, es decir, del interior hacia el mar, excepto en zonas puntuales deprimidas, en donde las captaciones son de tal magnitud que provocan una inversión del gradiente hidráulico, lo que incrementa el riesgo de intrusión marina.

El balance entradas/salidas (Cuadro 7) es claramente negativo, con un déficit de 16 hm³/año lo que se traduce en consecuencias negativas para la calidad del agua, fundamentalmente en sectores como Moncofor o Chilches.

.../...

ENTRADAS		SALIDAS	
Entradas laterales.....	79.4	Bombesos.....	201.5
Infiltración del río Mijares..	36.0	Salidas al mar.....	15.9
Infiltración de regadíos....	100.7	Drenajes de marjalerías	19.8
Infiltración agua de lluvia..	3.2	Emergencia de la Fuente	
Infiltración agua de mar.....	9.8	del Molino.....	7.8
TOTAL.....	229.1	TOTAL.....	245
ENTRADAS - SALIDAS = - 15.9 hm ³ /año			

Cuadro 7. Subsistema Plana de Castellón. Balance hídrico.

- Subsistema Plana de Sagunto

La Plana de Sagunto ocupa una extensión de 125 km² en el límite de las provincias de Valencia y Castellón, con dos sectores paralelos a la costa, el primero hasta una cota de 20 y el interior hasta la cota 90 m.s.m.m.

La formación acuífera es pliocuaternaria con alternancia de gravas, arenas y conglomerados, apoyada sobre una serie arcillosa impermeable que la separa de las formaciones calcáreas del Muschelkalk subyacente.

Las características hidráulicas son buenas con una transmisividad que alcanza valores superiores a 7000 m²/día y un coeficiente de almacenamiento entre 10 y 12 %.

Hidrogeológicamente se comporta como un sistema multicapa de potencial creciente en profundidad, en el que la morfología de la superficie piezométrica pone de manifiesto la existencia de dos áreas diferenciadas. La primera presenta un flujo de dirección NE-SE con una superficie piezométrica que oscila entre los 40-45 m.s.m.m. en el sector occidental y de 2-3 m.s.m.m. al Este

.../...

de Faura y Benavites. La segunda zona es de gran amplitud y su superficie piezométrica no supera los 2 m.s.m.m.

El balance de entradas/salidas es negativo (Cuadro 8), estimándose en $3.5 \text{ hm}^3/\text{año}$ el déficit, lo que lleva consigo el que el nivel piezométrico se sitúe por debajo del nivel del mar dando lugar a problemas de intrusión marina y disminución de la calidad del agua.

ENTRADAS		SALIDAS	
Infiltración de lluvia.....	2.1	Bombes.....	82.9
Infiltración de regadíos...	47.4	Salida al mar.....	7.3
Entradas laterales.....	40.4	Drenaje marjalería Chil--	
Infiltración agua de mar...	2.6	ches-Almenara.....	5.8
TOTAL.....	92.5	TOTAL.....	96
ENTRADAS - SALIDAS = - $3.5 \text{ hm}^3/\text{año}$			

Cuadro 8. Subsistema Plana de Sagunto. Balance hídrico.

- Subsistema de Onda

Se sitúa al Oeste de la Plana de Castellón y ocupa una superficie de 230 km^2 , de los que sólo una pequeña parte se incluyen en la zona del estudio.

Los materiales que lo constituyen son calizas y dolomías del Muschelkalk, presentando dos tramos de 100 m para el inferior y 50-60 m. para el superior separados por argilitas del Bundsantein.

.../...

El funcionamiento hidráulico es bastante complejo, debido a la elevada compartimentación, lo que origina como consecuencia que la piezometría presente un gradiente hidráulico de aproximadamente el 1 % y una transmisividad entre 200-400 m² /día que llega a 2000 m²/día en las zonas de descarga.

La superficie piezométrica se sitúa entre los 10-100 m.s.n.m. en el límite con la Plana y en 500 m.s.n.m. en el interior. El balance hidráulico (Cuadro 9) se mantiene en equilibrio o ligeramente excedentario.

ENTRADAS	hm ³ /año	SALIDAS	hm ³ /año
Infiltración lluvia.....	30	Emergencias.....	8
		Salidas al río Mijares..	17
		Transferencias laterales	2
		Bombeo.....	3
		TOTAL.....	30

Cuadro 9. Subsistema de Onda. Balance hídrico.

- Subsistema del Medio Palancia

Se sitúa al Noroeste de la provincia de Valencia y Suroeste de la de Castellón en el sector interior de la comarca del Campo de Morvedre, ocupando una superficie de 478 km², prácticamente en el límite de la zona de estudio.

Está constituido por los dos tramos carbonatados del Muschelkalk de 100 y 80 m aproximadamente.

.../...

El nivel piezométrico oscila entre los 10-40 m.s.n.m. en el límite con la Plana y los 320 m.s.n.m. de la zona septentrional. El balance hidráulico (Cuadro 10) se mantiene aproximadamente en equilibrio.

- Subsistema Náquera-Puzol

Es un pequeño subsistema de unos 30 km², que prácticamente no incide en la zona de estudio. Está constituido por dolomías del Muschelkalk y su alimentación se efectúa por infiltración directa

ENTRADAS	hm ³ /año	SALIDAS	hm ³ /año
Infiltración río Palancia...	10	Emergencias.....	23
Infiltración lluvia.....	44	Bombeo.....	29
Entradas laterales.....	29	Salidas laterales.	31
TOTAL.....	83	TOTAL.....	83

Cuadro 10. Subsistema del medio Palancia. Balance hidrico.

del agua de lluvia, mientras la descarga se produce de forma subterránea por traslado lateral a las Planas de Sagunto y Valencia y mediante bombeos.

El balance hidráulico se considera en equilibrio cifrándose en 9.4 hm³/año las salidas/entradas.

- Subsistema Sierra de Espadán

Está constituido por una alineación montañosa de unos 22 km

.../...

de longitud y 5 km de anchura, que constituye la divisoria hidrológica entre las cuencas de los ríos Mijares y Palancia.

Los materiales acuíferos son areniscas del Buntsandsteinn separadas de las calizas y dolomías del Muschelkalk de las unidades de Onda y Medio Palancia, por un nivel arcilloso impermeable.

La superficie piezométrica varía entre 10 y 600 m.s.n.m., aunque existen puntos muy deprimidos en que los niveles piezométricos se encuentran hasta 100 metros bajo el nivel del mar debido a la sobreexplotación.

El balance hídrico de entradas/salidas arroja un déficit importante cifrado en torno a los 12 hm³/año.

Entradas	hm ³ /año	Salidas	hm ³ /año.
Infiltración lluvia	17	Emergencias	2,0
		Laterales	15,5
		Bombeos	11,5
	DEFICIT	12 hm ³ /año	

5.3.2.2. Calidad de las aguas.

El cultivo intensivo de cítricos característico de la región, junto con la existencia de zonas turísticas, en las que la población sufre grandes incrementos estacionales, hace que la demanda de agua sea elevada. Las disponibilidades se reducen al aporte del río Mijares y a las aguas subterráneas, ambos inferiores a las cantidades necesarias. Ello conduce a una proliferación de las captaciones por bombeo que dan lugar a una sobreex-

.../...

plotación del acuífero.

Como se ha señalado en el apartado anterior, existen numerosas zonas en las que el nivel piezométrico se encuentra fuertemente deprimido, situándose por debajo del nivel del mar provocándose una fuerte intrusión marina que en ciertos puntos alcanza valores de 3.000 mg/l de Cl^- , aunque los valores medios en la zona sur de la plana son de 1.000 y 2.000 mg/l. La zona norte se halla menos contaminada y los valores se encuentran comprendidos entre 600 y 700 mg/l de Cl^- .

La explotación agrícola lleva consigo un fuerte aporte de productos químicos fertilizantes y plagicidas que se traduce en el aumento de la concentración de nitratos. El ión nitrato tiene un origen casi exclusivamente agrícola y su contaminación se superpone frecuentemente a la salina, sobre todo en acuíferos no carbonatados como los que ocupan la zona del estudio. Actualmente el grado de contaminación por este concepto sobrepasa ampliamente las 50 p.p.m. establecidas por la REGLAMENTACION TECNICO-SANITARIA (Real Decreto 1423/1.982 de 18 de junio).

.../...

5.4. FISIOGRAFIA

La zona estudiada se enclava en el sector costero meridional de Castellón y una parte, de características similares, del sector costero septentrional de Valencia.

En esencia constituye una amplia formación aluvial que al corresponder al relleno de una cubeta tectónica participa de las características geomorfológicas del dominio prelitoral y de los paisajes marítimos. En la Fig. 12 se presenta un corte esquemático del área de la Plana y de la Sierra del Espadán.

De este modo la denominación de La Plana alude a la vasta llanura que en forma de anfiteatro se extiende desde el cabo de la Torre Calamera al Norte hasta los cerros de Almenara al Sur. Desde los contrafuertes interiores, últimas estribaciones de la Sierra de Espadán, se extiende un extenso piedemonte cuaternario por medio de un sistema de glacis que, desde los 100-500m de cota, se sumerge en el mar.

La zona viene a abrirse en un amplio frente marino en cuya configuración destaca el extenso delta del río Mijares que ha enmascarado su apariencia triangular con su intenso aluvionamiento.

La no existencia de playas cuaternarias elevadas, parece demostrar la condición de costa de sumersión, reciente, en cuya evolución tiene un importante papel la aportación fluvial.

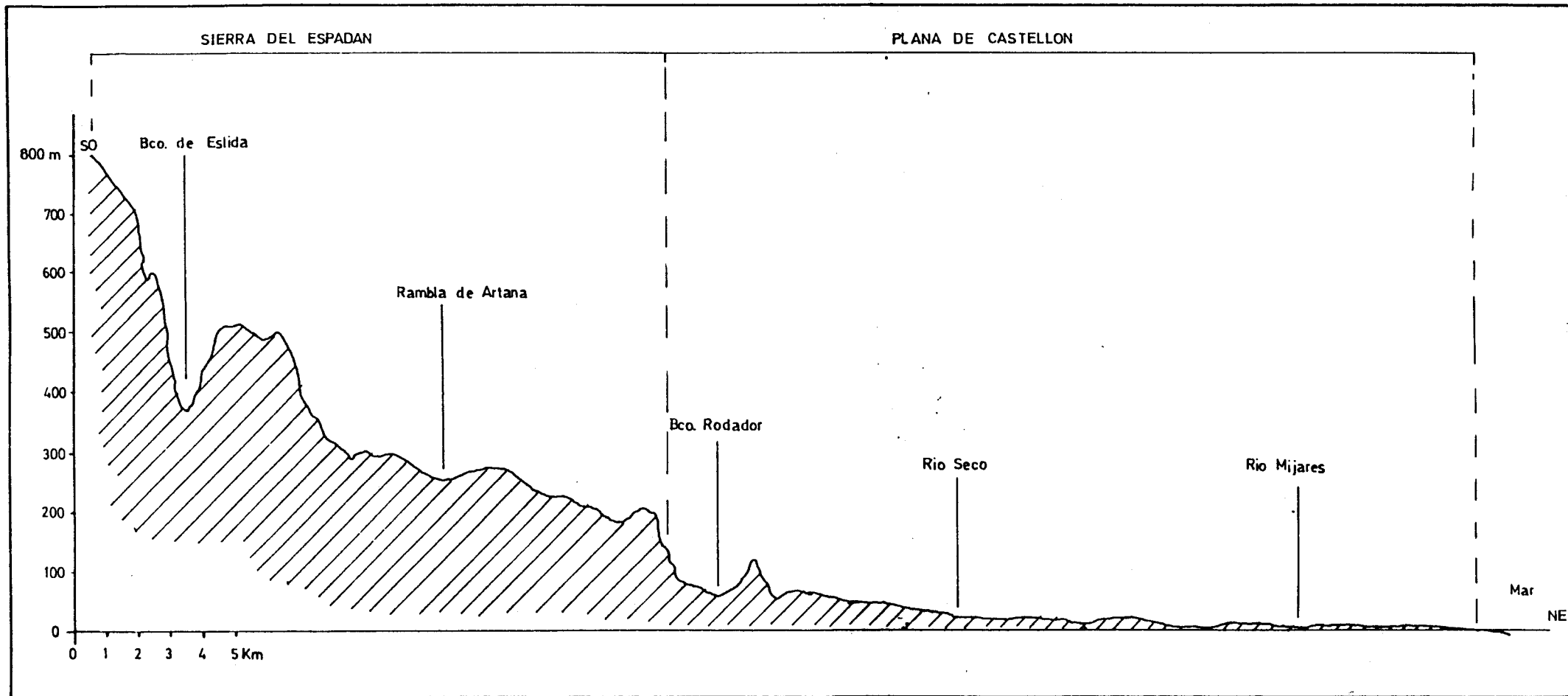


Fig. 12. Corte topográfico de la zona de estudio.

5.6. EDAFOLOGIA

Varios son los tipos de suelos que aparecen en la zona de estudio, pero los que mayor representación alcanzan son los típicos de La Plana, que se encuentran en una fase avanzada de antropización al estar sometidos a riegos más o menos intermitentes. Se trata de suelos Pardo Claros y Regosuelos con costra carbonatada subsuperficial y en otros casos con pedregosidad.

Las características generales de los órdenes de suelos, normalmente en asociaciones, siguiendo la nomenclatura de la Soil Taxonomy son las siguientes:

- **Entisoles.** Presentan un perfil poco evolucionado, bien sobre materiales blandos o bien sobre sustrato duro. Se distinguen varios subordenes como el Psamments, que presenta texturas gruesas, Fluvents que se localiza en los valles de los rios y Orthents.

Ofrecen dificultades a la formación de minerales de arcilla, mostrando en ocasiones ligeras formaciones de horizontes B y por otra parte presentan un contenido en elementos libres pequeño, estando el complejo de cambio saturado y los pH con ligero carácter básico.

- **Inceptisoles.** Se les considera suelos actuales al ser compatibles con las actuales condiciones climáticas. Se encuentran carbonatados normalmente en todo el perfil, así como saturados o próximos a la saturación, mostrando un contenido en elementos libres algo mayor que los Entisoles y grados de

.../...

basicidad moderados o neutros.

- **Alfisoles.** Su representación es escasa y presentan un horizonte argilico. Son los más evolucionados formándose bien sobre materiales previamente decarbonatados, bien sobre los que están moderadamente carbonatados o bien sobre caliza. Atendiendo al régimen de humedad, dada la variabilidad de las precipitaciones, los suelos de la zona se enclavan dentro de la diferenciación de xéricos.

En la Fig. 13 se recoge el perfil de un suelo típico de la Plana y en la Fig. 14 se representa la distribución de estos suelos.

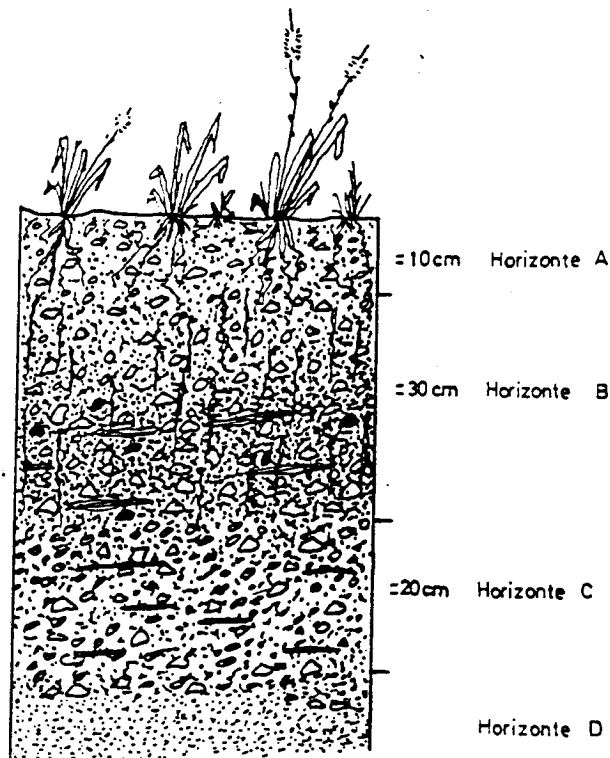


Fig. 13. Perfil tipo de un suelo de la zona de la Plana.

.../...

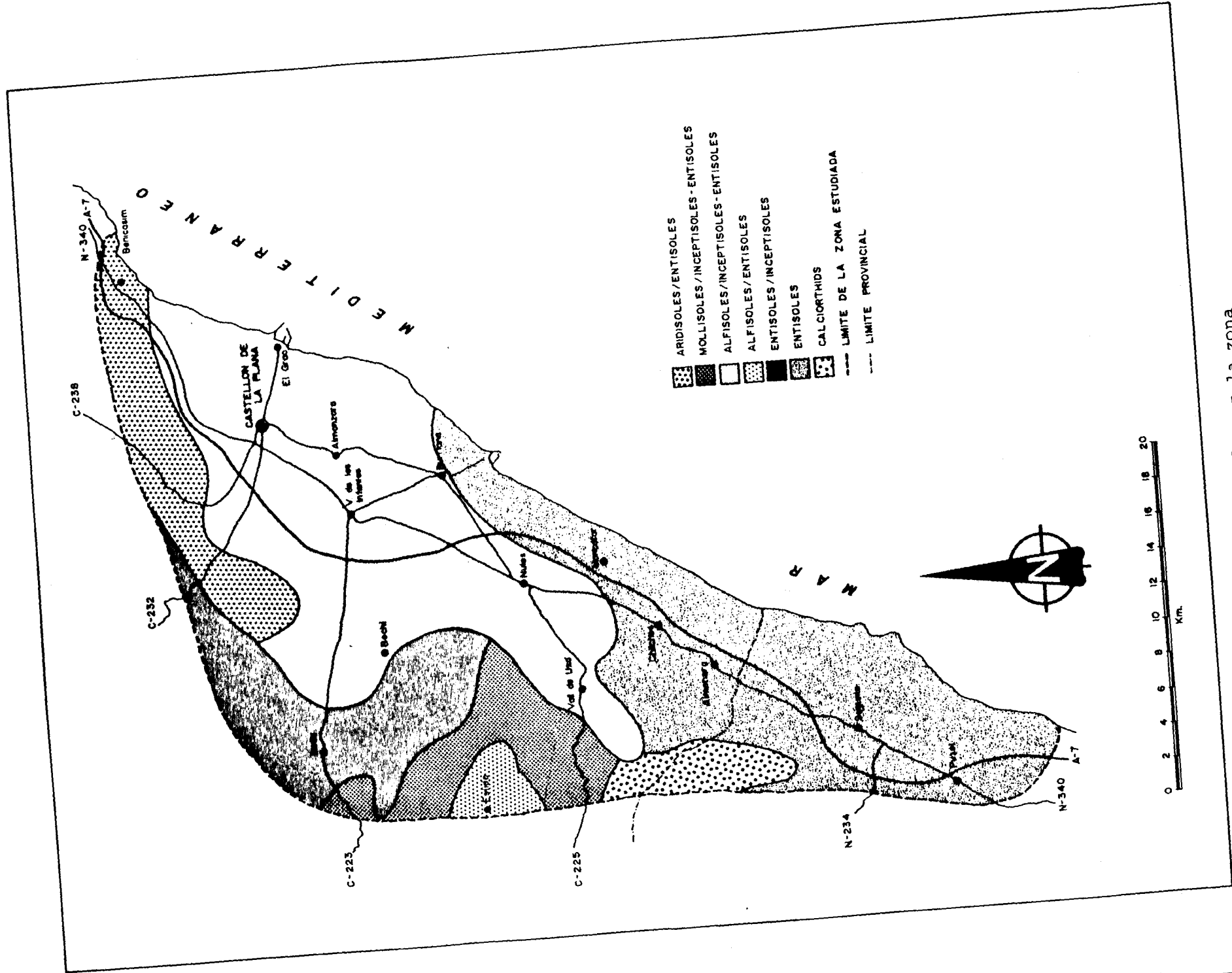


Fig. 14. Distribución de tipos de suelos en la zona
Fuente: Mapa de Cultivos y aprovechamientos M.A.P.A.

5.6. VEGETACION.

El área sometida a estudio pertenece al piso termomediterráneo del sector valenciano tarraconense, el cual a su vez corresponde a la superprovincia Mediterráneo-Iberolevantina de la Región Mediterránea. En dicha zona, debido al periodo de aridez estival, se originan plantas muy aguerridas. Así se encuentra la vegetación típica de influencia marina, como el Hinojo de mar, además de la serie de vegetación clímax o primera etapa: carrascales sobre calizas, matorrales semiáridos y coscojares sobre arenas.

a) carrascales sobre calizas

Parte de la vegetación típica fue destruida por distintos cultivos, tales como moreras, cáñamo y cítricos, pero aún se pueden ver, entre otras especies autóctonas, lentiscales con palmito (*Pistacia lentiscus* L.) de la familia de las Anacardiáceas. Es un arbusto de 2 a 4 metros, con hojas persistentes, paripinnadas, productor de gomorresina (almáciga). A esta planta debe su nombre el Desierto de las Palmas, en el término de Benicasim. Sus frutos drupáceos son conocidos en la comarca como "dátiles de gos".

Existen restos de pinares de *Pinus halepensis* Miller (Pino carrasco), como el del Grao, además de otros árboles representativos como el *Celtis australis* L. de la familia del Olmo (Ulmáceas) y el *Laurus nobilis* de Linneo de la familia del Laurel (Lauráceas).

En la segunda etapa se encuentran romerales con brezos y aliagares, destacándose el romero (*Rosmarinus officinalis* L.), el tomillo (*Thimus vulgaris* L.), la leguminosa conocida por aulaga morisca (*Ulex parviflorus* Pourret) y la bruguera (*Erica multiflora* L.) de la familia de las Ericáceas.

En la tercera etapa se destacan pastizales vivaces o anuales con el *Brachypodium* y otras gramíneas como la *Setaria adhaerens*.

En las tres etapas, como se ha explicado, predomina la vegetación exótica. Dicha vegetación se puede dividir según dos zonas: la de regadío y la de secano. La primera está compuesta por cítricos, distintos frutales (níspero, manzano, peral, melocotonero, granado, membrillero, etc) y hortalizas (patata, pimiento, tomatera y berengena). La vegetación de secano es el algarrobo.

b) Matorrales semiáridos

Aparecen de nuevo en la vegetación climax el palmito, el romero, el tomillo y otras labiadas como la *Sideritis angustifolia* Lag. la Lavándula dentada L, y una ramnácea conocida por el espino negro (*Rhamnus lycioides* L). Existen también el Pino carrasco y otros cultivos de vegetación no autóctona como viñedos y almendros.

c) Coscojares sobre arenas.

Predomina la coscoja, de gran interés ecológico. La coscoja corresponde a la fagácea *Quercus coccifera* L. arbusto de hojas rígidas dentado-espinosas cuyo fruto es la bellota.

.../...

También se encuentran el Pino carrasco, el tomillo, el romero, labiadas como la ajedrea (*Satureja montana* L.), el té de roca en grietas de calizas (*Jasonia glutinosa* D.C.), matas leñosas como el *Cistus Albidus* L. el enebro (*Juniperus communis* L.) de la familia de las Cupresáceas cuyos frutos se utilizan para aromatizar la ginebra, y otras plantas de menor representación.

5.7. CULTIVOS Y APROVECHAMIENTOS

Los cultivos en régimen de regadío constituyen el principal aprovechamiento en la zona estudiada, ocupando una superficie muy importante (Fig. 15), mientras los frutales en secano, las masas forestales de la Sierra de Espadán y del Camp de Morvedre, y las escasas áreas de matorral se reparten el resto de la superficie (Fig. 16). Entre los cultivos de regadío destacan sobre el resto los agríos, con diversas variedades de naranjos, mandarinos, limoneros y pomelos, aunque predominan los mandarinos. Siguen en importancia los cultivos herbáceos y de huerta con numerosas hortalizas como tomate, pimiento, judía verde, melón, sandía, lechuga, alcachofa y col.

Entre los frutales de regadío se encuentran el peral, cerezo, manzano, melocotonero y ciruelo, que alternan con los frutales en secano como almendro, olivo, algarrobo y vid, estos últimos con escasa representación.

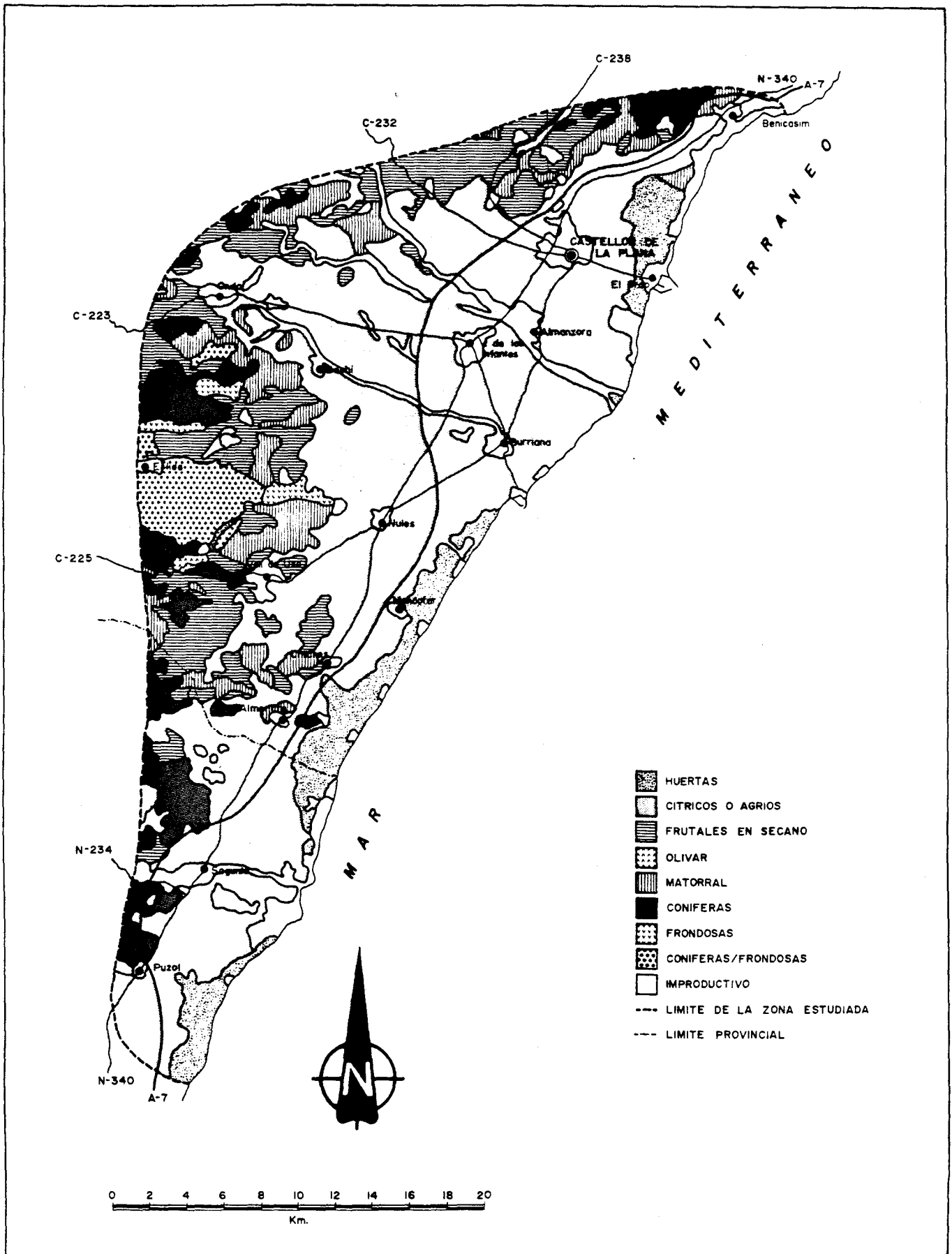


Fig. 16. Distribución de cultivos en la zona estudiada.

Fuente: Mapa de Cultivos y Aprovechamientos (M.A.P.A.)

6. FOCOS DE CONTAMINACION

6. FOCOS DE CONTAMINACION

Esta fase tiene una importancia intrínseca en el desarrollo del proyecto. Gracias al conocimiento de los focos contaminantes de la zona y de los análisis de sus vertidos al medio, se podrá eliminar el ruido de fondo y discernir qué elementos o sustancias químicas, que sean susceptibles de encontrarse en el acuífero, son las propias de las emisiones a la atmósfera de los distintos focos contaminantes y especialmente de la Central Térmica.

La Plana de Castellón, en las dos últimas décadas ha sufrido un significativo desarrollo industrial. Esto, unido al tradicional cultivo de cítricos, a la intrusión marina provocada por el uso incontrolado y abusivo de las aguas subterráneas, y a una deficiente gestión de las aguas residuales, ha producido un importante deterioro del acuífero.

De todo lo dicho se deduce que la contaminación de las aguas subterráneas se puede centrar en cinco grandes grupos. Por un lado la intrusión marina, y por otro las contaminaciones de origen agrícola, industrial y urbana, sin olvidar la contaminación de origen natural.

La contaminación a través de los vertidos de residuos líquidos y la lixiviación de elementos contaminantes presentes en residuos sólidos, son las formas más conocidas por las que se produce la incorporación de sustancias degradantes a las aguas. Son comunes a todas las actividades humanas, sin embargo, la actividad industrial y las aglomeraciones urbanas, calefacciones,

.../...

automóviles, producen una fuerte emisión a la atmósfera de sustancias sólidas y gaseosas que causan una grave contaminación del aire, que es preciso investigar a fin de definir su incidencia en la contaminación de las aguas subterráneas.

En la zona de estudio, esta contaminación atmosférica viene determinada por los centros urbanos de Castellón de la Plana y Sagunto, las industrias de curtidos, cerámica y azulejera, la industria de refino del petróleo y la central térmica del Grao de Castellón.

Dado el carácter puntual de esta última, el estudio se centra fundamentalmente en sus emisiones.

6.1. LA INTRUSION MARINA

El fuerte desarrollo agrícola e industrial ha causado un alto grado de explotación del acuífero, con numerosas captaciones que han provocado zonas de grandes depresiones del nivel piezométrico. Dada la conexión del acuífero con el mar, se ha potenciado el efecto de intrusión marina, dando lugar a una progresiva salinización de las aguas.

Los análisis de las muestras tomadas ponen de manifiesto que las zonas más afectadas por el fenómeno son las de Benicasím, Moncofar y Sagunto. La primera de ellas tiene una fuerte demanda por su desarrollo turístico, la segunda por causa agrícola y la tercera por su industria.

La concentración de ión cloruro en los pozos de dichas zonas alcanza valores que sobrepasan ampliamente los límites tolerables para el agua potable establecido en 350 mg/l Cl^- . Fig. 17.

En la Tabla adjunta se muestran los resultados de los análisis de los pozos que dan mayores concentraciones de Cl^- .

Benicasím	Pozo Aquarama	820 mg/l Cl^-
Moncofar	Pozo Caserío del Mar	750 mg/l Cl^-
Sagunto	Pozo San Pedro	254 mg/l Cl^- .

Además es importante considerar que la intrusión marina en los acuíferos calcáreos acelera los procesos kársticos pues el agua salada tiene mayor fuerza iónica e incrementa la solubilidad de la caliza.

.../...

Así, como consecuencia de ello, los valores obtenidos en los análisis de las muestras tomadas en el desarrollo del presente estudio, en las tres áreas reseñadas anteriormente son altos: Benicasim (Aquarama 256 mg/l HCO_3^-), Moncofar (Caserío del Mar 255 mg/l HCO_3^-) y Sagunto (San Pedro 327 mg/l HCO_3^-), mientras que en la Plana de Castellón, en donde es raro el pozo que excede de los 150 mg/l de Cl^- , los valores de HCO_3^- rondan los 200 mg/l. Fig. 18

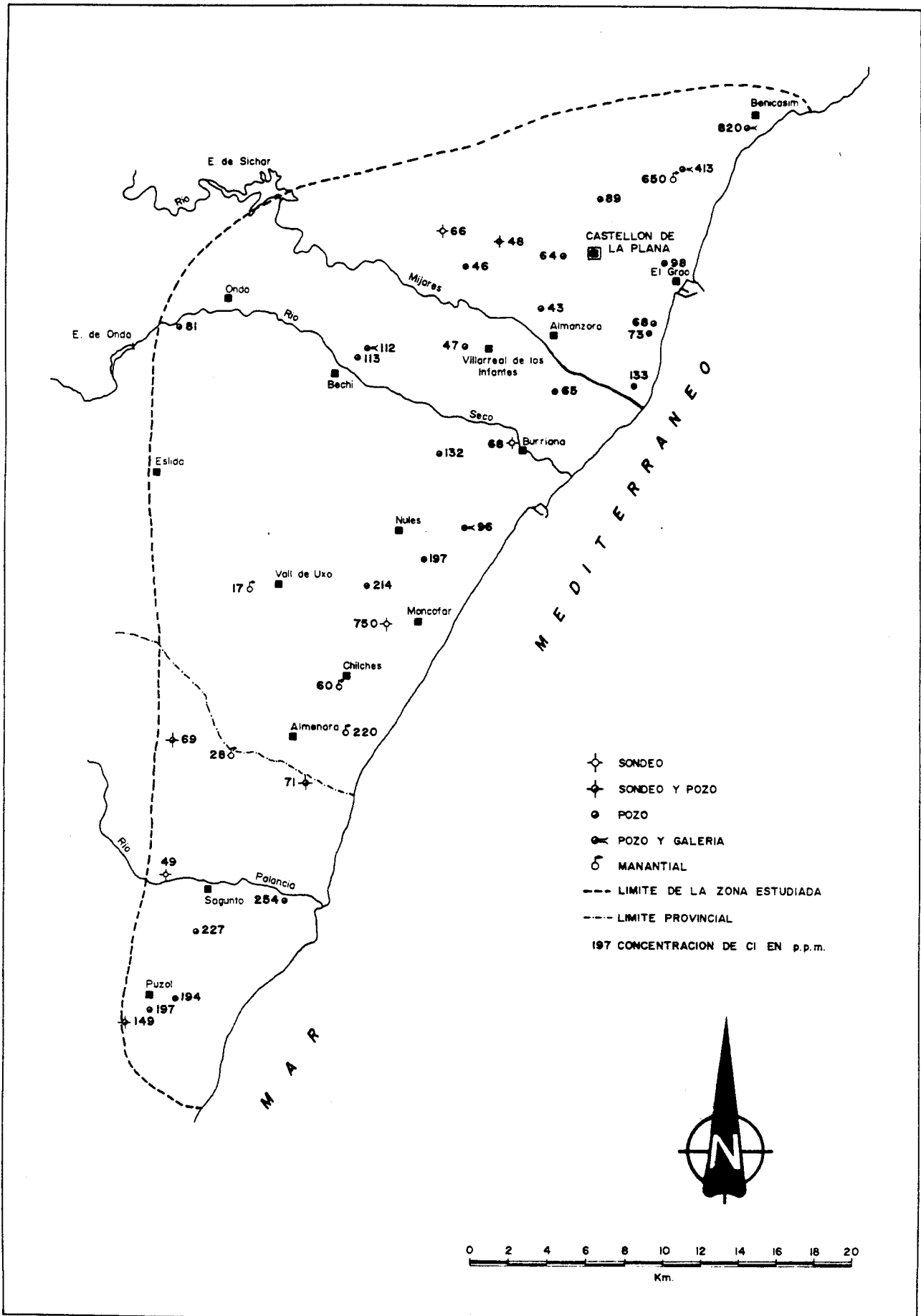


Fig. 17. Valores del ión Cl^- en los puntos de muestreo de agua.

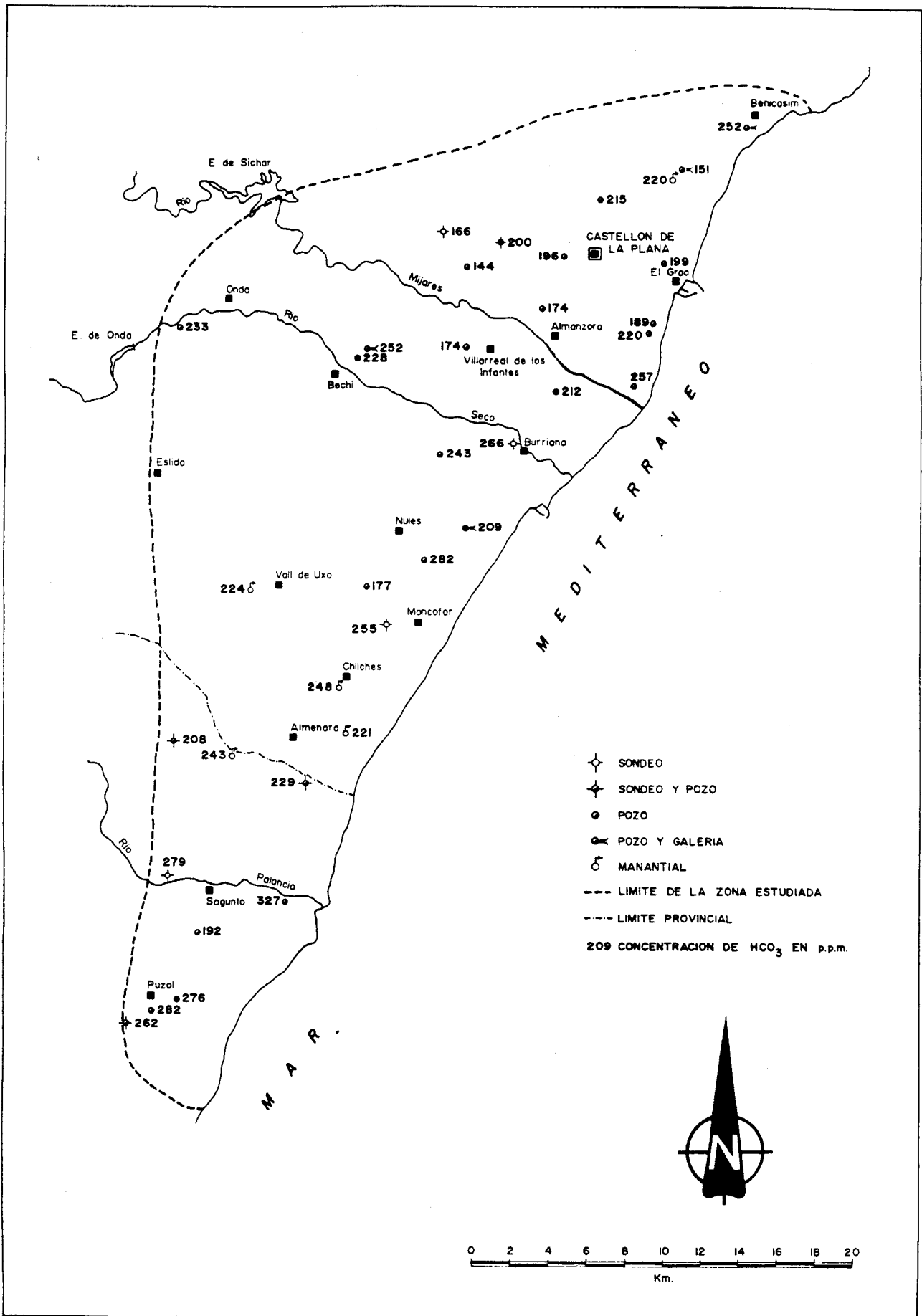


Fig. 18. Valores de CO_3H^- en los puntos de muestreo de agua.

6.2. CONTAMINACION DE ORIGEN AGRICOLA

De los aproximadamente 450 km² de la superficie triangular de la Plana de Castellón, casi 400 km² corresponden a terrenos de cultivo de cítricos. Si se tiene en cuenta que el consumo de fertilizantes se encuentra en un orden de 180 a 200 kg de nitrogenados por anegada (1 anegada = 1/12 de ha), se puede fácilmente comprender que esta contaminación es la más extendida e importante en el acuífero.

Además de los abonos de origen animal; cuya composición y consumo son incontrolables, se emplean los fertilizantes químicos clasificables en nitrogenados (sulfato amónico, nitrosulfato amónico, nitrato amónico, fosfato biamónico y algún otro complejo de nitrógeno, pentóxido de fósforo, óxido potásico y magnesio), fosfatados (superfosfatos de cal, fosfato monoamónico, fosfato biamónico y otros complejos) y potasas (sulfato de potasa, nitrato potásico y otros complejos).

En cierta forma la progresiva sustitución del riego por inundación por el riego por goteo reduce el consumo de fertilizantes y de agua, con la ventaja paralela de reducir la contaminación del acuífero.

Las cifras reales, gentilmente cedidas por D. Rogelio Iranzo Alarcón del Servicio de Extensión Agraria de Castellon, corroboran lo dicho anteriormente. Así, mientras en riego por inundación se gastan anualmente por anegada del orden de 180 a 200 kg de nitrogenados de 33 a 35 kg de fosfonados y unos 30 kg

.../...

de potasas, además de una media diaria de 4 m³ de agua por anegada, muy variable según la climatología, en el riego por goteo se gastan de 90 a 100 kg de nitrogenados, unos 25 kg de fosforados, y entre 15 y 20 kg de potasas con tan sólo unos 3 m³ de agua.

El importante consumo de fertilizantes mencionado se traduce, en las aguas subterráneas, en un contenido de nitratos que supera con exceso el máximo tolerable establecido por la REGLAMENTACION TECNICO-SANITARIA (Real Decreto 1423/1.982 de 18 de junio.) en 50 p.p.m.

Así por ejemplo, los pozos muestreados de la Plana de Sagunto superan los 200 mg/l y los de la Plana de Castellón los 100 mg/l, aumentando dichas concentraciones en las cercanías del litoral. Esto se debe a que el agua sobrante del riego cargada de nitratos se infiltra, regresando al acuífero, siguiendo la tendencia natural del flujo hacia el mar. Después de sucesivos ciclos de extracción para riego e infiltración, el agua se enriquece en nitratos a niveles que llegan a ser intolerables para el consumo humano y agrícola conforme se aproxima al litoral. Fig. 19.

En este tipo de actividades se produce así mismo, contaminación por el uso de pesticidas. Dichas sustancias químicas, o sus productos de degradación, son fácilmente arrastradas por las corrientes de aire, o lavadas por el agua que se infiltra al acuífero, pudiendo ser transportadas a grandes distancias. Estas

.../...

sustancias son tóxicas para distintos organismos, y en algunos casos incluso para el hombre.

Los principales pesticidas empleados en el área de estudio son los fosforados (de nombres comerciales Rogor, Ultracid, Eralux, Usathion, Metasyxtos, Folimato TK en concentraciones entre el 1 y el 2,5 %.); los carbamatos (de menor uso pues matan a los depredadores de las arañas, aumentando así la población de éstas), y los acaricidas (también en disminución por la adaptación al veneno de los organismos perniciosos). Los pesticidas clorados fueron prohibidos hace tiempo.

En cualquier caso hoy en día la contaminación del acuífero por pesticidas no ha sido detectada.

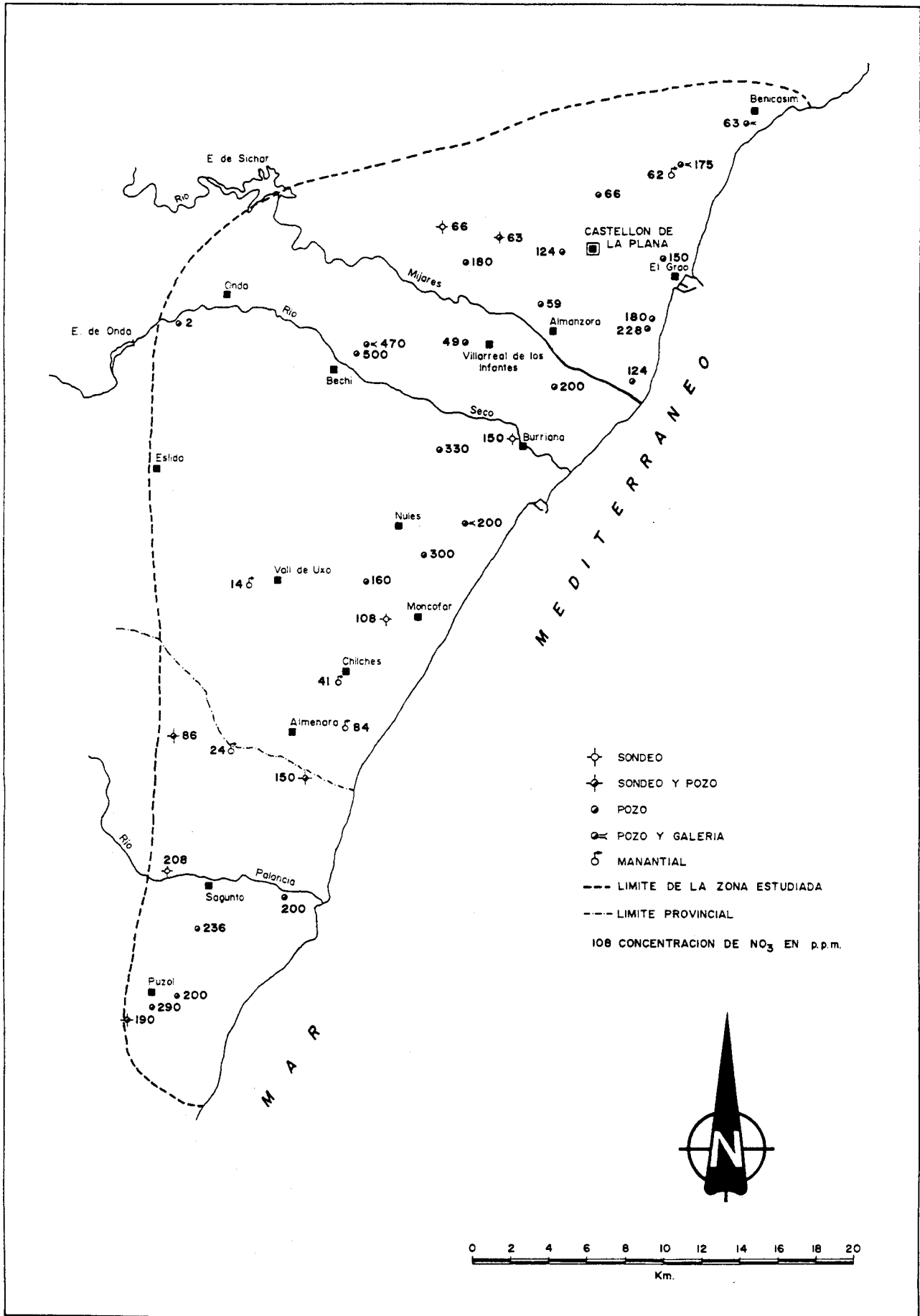


Fig. 19. Valores de NO_3 en los puntos de muestreo de agua.

6.3. CONTAMINACION DE ORIGEN NATURAL

Esta contaminación se produce cuando el agua se encuentra en contacto con formaciones geológicas ricas en sustancias solubles.

En el caso del acuífero estudiado, la contaminación que se produce tiene carácter local y proviene del contacto de las aguas con los yesos del Keuper.

A excepción de la zona de Vall de Uxó (Grutas de San José), en la que el contenido en sulfatos de las muestras de agua es muy pequeño, en relación con la tónica general en que el contenido es muy elevado, los sulfatos superan los valores considerados como tolerables por la R.T.S. que es de 400 p.p.m. Así, hay determinadas zonas como las áreas de Sagunto, Puzol, Burriana, Onda y Bechi donde se dan valores superiores a 450 p.p.m. siendo aún mayores en la segunda campaña de muestreo que en la primera, probablemente debido a la influencia del lavado de los fertilizantes por acción del agua de lluvia y de riego. Fig. 20.

En la zona norte del río Mijares se presentan valores inferiores a los 350 p.p.m. de sulfatos, salvo cerca de la costa donde se incrementan.

El Mijares tiene un contenido medio de 250 p.p.m., lo cual significa una mejora de la calidad respecto a la del acuífero. Dado que el acuífero se recarga a través de éste, se produce una mejoría de la calidad en los pozos cercanos al cauce.

.../...

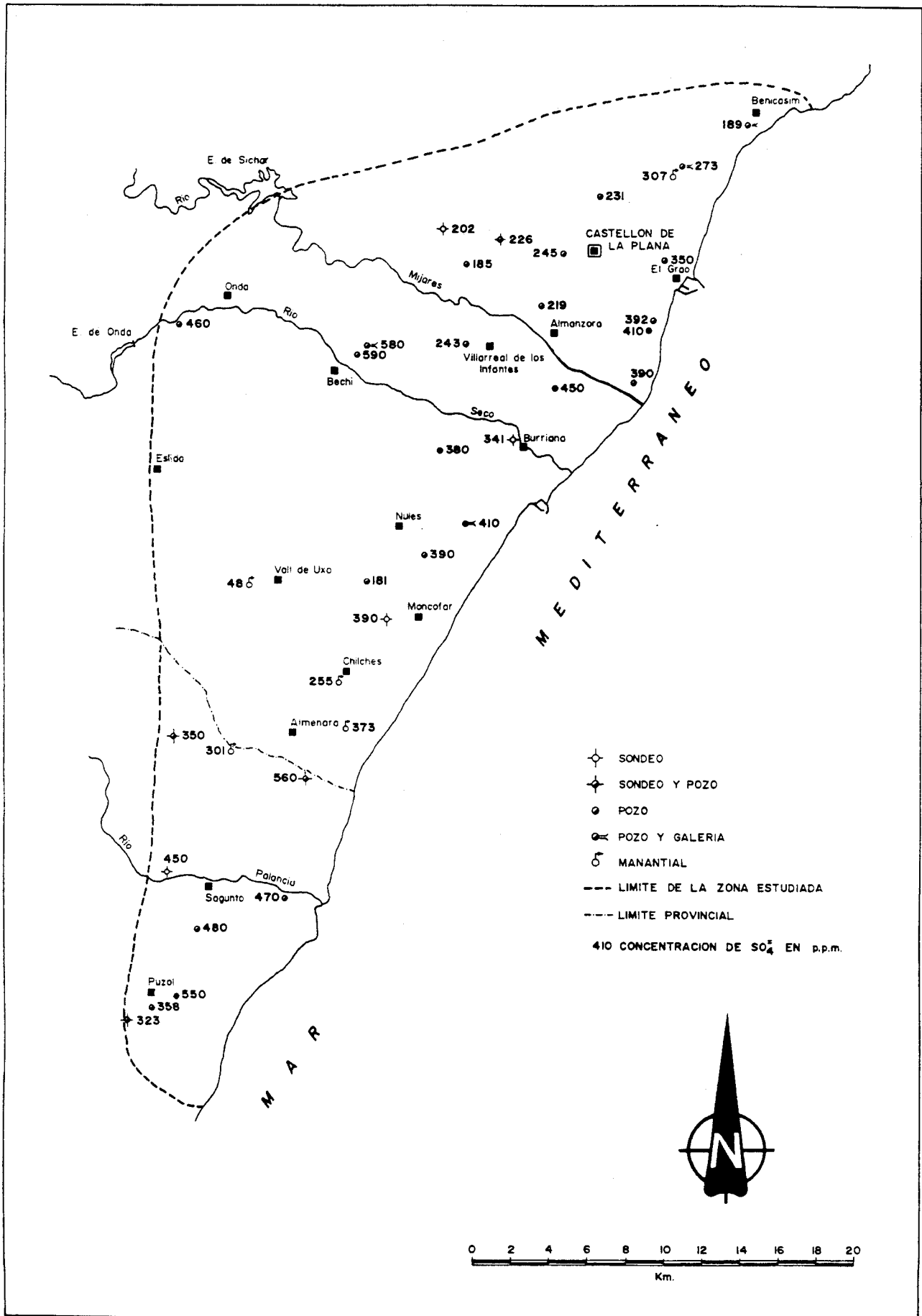


Fig. 20. Valores de Sulfatos en los puntos de muestreo de agua.

6.4. CONTAMINACION DE ORIGEN URBANO

La contaminación potencial del acuífero de forma directa por esta causa, se debe a la lixiviación de las sustancias nocivas contenidas en los residuos sólidos y a los que se encuentran en las aguas residuales.

Los residuos sólidos se vierten en las zanjas de los préstamos próximos a la autopista, con riesgo de infiltración en el acuífero. El 60 % de los residuos sólidos van a parar a una fábrica de compost, la cual también produce vertidos susceptibles de contaminar el acuífero.

Las aguas residuales sólo son depuradas de forma completa en Burriana. Tienen tratamiento secundario en Castellón, Villareal y Moncofar y son tratadas deficientemente en Almazora, Bechi y Onda. En cualquier caso se produce una importante contaminación del acuífero cuando los vertidos se efectúan aguas arriba de los cauces.

Con relación a la contaminación atmosférica, susceptible de contaminar el acuífero, hay tres fuentes a considerar en los núcleos urbanos:

- Vehículos de transporte
- Instalaciones urbanas industriales
- Calefacciones.

Las dos últimas no tienen una especial significación en la zona, ya que el empleo de sistemas de calefacción no es muy habitual, dado el clima de la región. Las industrias urbanas no son

.../...

demasiado abundantes y su incidencia en la contaminación atmosférica es muy poco acusada.

La contaminación producida por los motores de los vehículos automóviles es la debida a los productos comunes en los motores de explosión y en los diesel.

- Monóxido de carbono
- Oxidos de nitrógeno
- Hidrocarburos inquemados ligeros y pesados
- Aldehidos
- Gas sulfuroso

Los motores de explosión expulsan también compuestos de plomo, cloro y bromo y los diesel hollines y partículas carbonosas.

Los centros principales de contaminación por los escapes de los automóviles son las ciudades de Castellón de la Plana, Sagunto y la autopista A-7.

6.5. CONTAMINACION DE ORIGEN INDUSTRIAL

En la Plana de Castellón las industrias poluctantes están muy definidas, pues básicamente son las fábricas de cerámica, las de curtidos, las que realizan galvanotecnia y las petroquímicas.

La contaminación atmosférica de origen industrial es muy difícil de definir. Intervienen un gran número de parámetros a analizar, tales como procesos industriales, tecnologías, combustibles, etc.

En general la emisión de sustancias contaminantes es muy variada, siendo su recuperación muy difícil y costosa. Fig. 21.

6.5.1. Industrias de cerámica

- Vertidos líquidos.

En estas industrias el vertido de residuos se realiza habitualmente en pozos o en escombreras, lo que implica un alto riesgo de infiltración al acuífero.

Los contaminantes más frecuentes son algunos metales pesados como el plomo o el zirconio. La poca movilidad de dichos elementos hace que sean absorbidos por los minerales arcillosos, siendo ésta una de las causas por las que no se detecta contaminación por estos elementos en el acuífero, al menos en cantidades superiores a las admitidas por la R.T.S. para el abastecimiento y control de las aguas potables de consumo público.

.../...

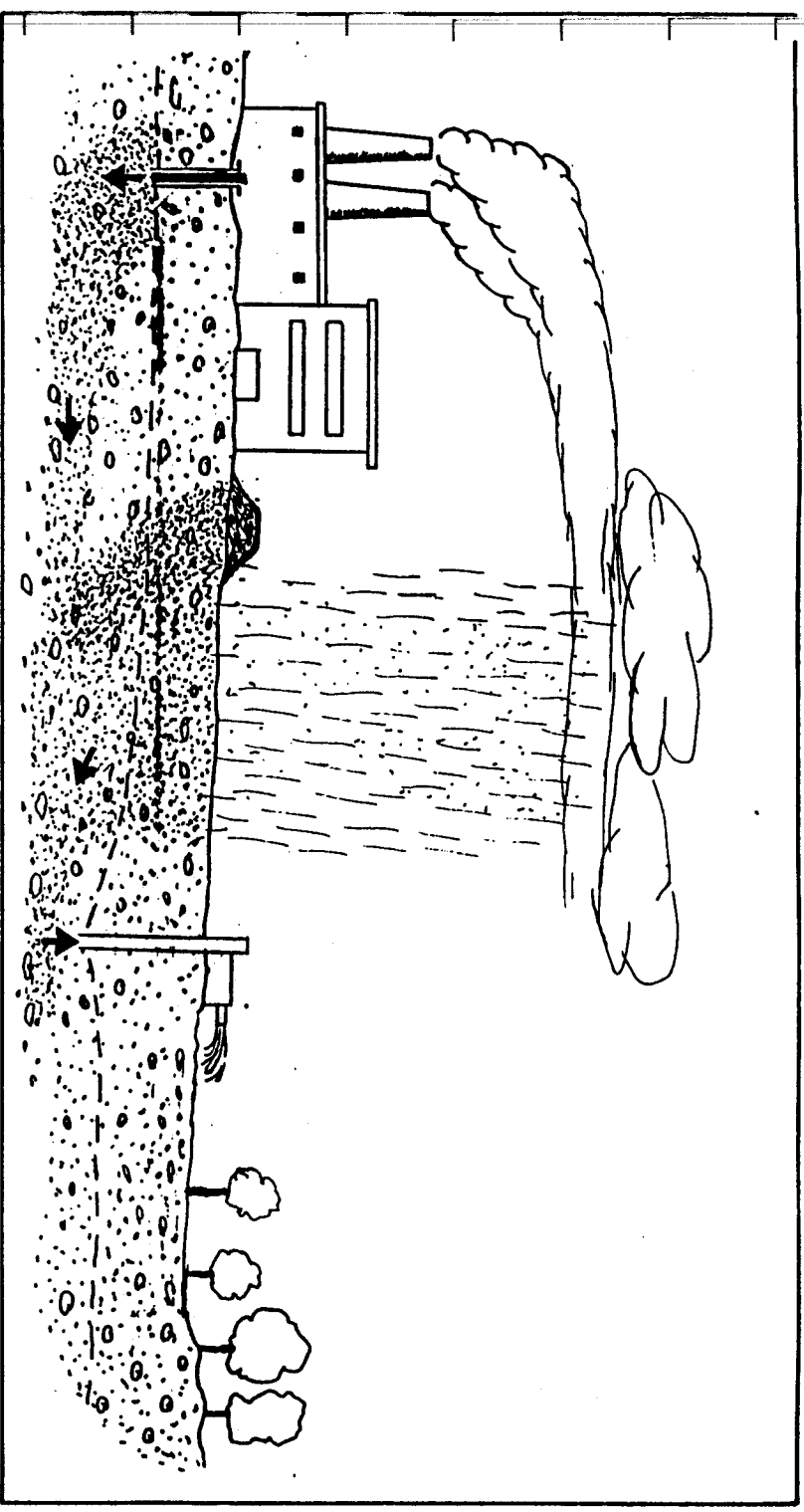


Fig. 21. Incorporación de contaminantes procedentes de industrias al sistema acuífero.

Por otro lado, en la zona de estudio los vertidos se realizan por encima del nivel freático por lo que son posibles los fenómenos de intercambio iónico con los materiales del terreno y absorción, disminuyendo de forma importante la velocidad de transporte de los elementos nocivos a través del terreno. Los vertidos acuosos contienen generalmente elevadas cantidades de boro, cinc, plomo y bario.

- Emisiones a la atmósfera.

Las emisiones a la atmósfera contienen grandes cantidades de fluor y plomo, que se unen a las propias de la combustión de los combustibles empleados.

6.5.2. Industria de curtidos

- Emisiones a la atmósfera.

Esta industria produce emisiones de cromo en estado hexavalente, el cual es de elevada toxicidad.

- Vertidos líquidos.

Son también sustancias clásicas contaminantes de esta industria las grasas, el nitrógeno y el cloruro sódico.

En la zona de estudio no existen indicios de contaminación por causa de este sector. La principal fábrica, ubicada en Vall de Uxó, vierte sus residuos al río Belcaire.

Como éste se encuentra por encima del acuífero, la falta de contaminación puede ser atribuida a la absorción y al cambio iónico en la zona no saturada.

.../...

6.5.3. Industria del petróleo

Parece ser que el vertido de contaminantes producido por este tipo de industrias se realiza exclusivamente a la atmósfera y depende del origen del petróleo, del tratamiento efectuado y del producto obtenido.

Los tipos de contaminación que se producen en las principales etapas del proceso de refino del petróleo son los siguientes:

- Almacenamiento y transporte del petróleo y sus productos: Existe un riesgo de contaminación potencial al existir pérdidas por evaporación de hidrocarburos ligeros y compuestos sulfurados.
- Destilación: emisión de hidrocarburos pesados, mercaptanos de olor desagradable y sulfuro de hidrógeno.
- Cracking catalítico: en la regeneración del catalizador se emiten monóxido de carbono, catalizadores agotados y polvos de catalizadores (sílice, alúmina, hidrocarburos, etc).
- Desulfuración: se emiten como residuos el sulfuro de hidrógeno y mercaptanos.
- Refinado: se emite sulfuro de hidrógeno
- Antorcha: los gases inutilizables del refinado se queman en la antorcha emitiendo polvos y humos.

En la zona del Proyecto, estas emisiones a la atmósfera se superponen con las del resto de las industrias, y en particular con las emitidas por la Central térmica del Grao, siendo difícil

.../...

determinar la exacta procedencia de los elementos contaminantes, aunque parece ser que se está desarrollando un estudio de tesis doctoral que permitiría dicha dicotomía.

6.5.4. Generación de electricidad

Todo sistema generador de electricidad provoca desde su implantación un impacto físico sobre el paisaje además de posibles modificaciones en las características naturales de la zona de asentamiento. Dentro de éstas, entran la polución térmica y la contaminación por efluentes sólidos, líquidos y gaseosos, capaces de alterar el ecosistema de la zona.

Los focos más importantes susceptibles de causar las mencionadas contaminaciones son el sistema de combustión, el sistema agua-vapor y el cenicero o escombrera donde se depositan los residuos sólidos producidos. En las centrales térmicas de fuelóleo este último no tiene una gran importancia por su pequeño tamaño.

En la zona objeto de este estudio se encuentra la Central Térmica de HIDROLA situada en el Grao, a 5 km al Sud-Este de Castellón.

Consta de dos grupos de 542 Mw de potencia cada uno, que en 1985 produjeron 447.070 Mwh.

La Central está alimentada por combustible líquido, por tanto la generación de residuos sólidos destinados a escombrera es muy reducida, por lo que su impacto sobre el medio, y en concreto sobre las aguas subterráneas, es muy pequeño. Además,

.../...

hay otro factor que favorece la inocuidad de la escombrera y es su situación geográfica aproximadamente a 1 km de la costa, en una zona donde se produce la descarga directa del acuífero al mar, al estar ubicada sobre materiales arcillosos.

El circuito de refrigeración del condensador de la Central se alimenta con agua de mar tratada con el fin de evitar incrustaciones y la formación de algas que dificulten la normal refrigeración por las tuberías del circuito.

El agua se bombea desde el puerto, a 2 km de la Central, para evitar su reciclado con el de salida, con los problemas de contaminación térmica que conlleva. El caudal utilizado es de 8 a 10 m³/s.

Tras su recorrido por el circuito se evacúa al mar en el tramo de costa más cercano, con una temperatura variable entre 25 y 35°C. Lejos de suponerse perniciosa la pequeña polución térmica provocada, resulta por el contrario beneficiosa.

Dicho fluido residual fue estudiado en cooperación entre el I.N.I.A. e Hidrola realizándose con él diversas experiencias con finalidades agrícolas, tanto en cultivos al aire libre como de invernadero. Los resultados obtenidos fueron positivos, encontrándose reflejados en la Memoria de Actividades 84/85 del I.N.I.A.

Todo esto reduce el estudio de los focos contaminantes de la Central a las emisiones de las dos chimeneas.

El combustible utilizado por la Central es un fuelóleo

.../...

mezcla del fuelóleo n° 2 y del fuelóleo BIA en relación variable entre 70/30 y 77/23, relaciones dadas en porcentaje. La diferencia más interesante entre ambos fuelóleos, según las especificaciones de la normativa, es el contenido en azufre que para el n° 2 es el 3,5 % en peso y para el BIA es el 1% en peso.

Esto significa que el fuelóleo mezcla utilizado tendrá concentraciones de azufre variables entre 2,75 % y 3 %.

Un análisis elemental de esta mezcla de fuelóleos revela los siguientes porcentajes:

C = 85,93	O = 0,50	H = 10,13
N = 0,24	S = 3,00	cenizas = 0,20

En cuanto a las cantidades de elementos metálicos presentes en el fuelóleo utilizado, la media de varios análisis realizados en 1985 arroja los siguientes resultados (en ppm):

V = 193,75	Mg = 4,88	Co = 0,21
Ni = 62,75	Mn = 0,12	Ti = 0,58
Fe = 23,65	Zn = 2,79	Cr = 0,00
Al = 11,42	Cu = 34,30	Mo = 0,88

Dada la complejidad y variabilidad de la molécula del fuelóleo utilizado no es fácil definir los productos obtenidos en su combustión. Una primera división posible es la de clasificar los productos expulsados en cenizas volantes y productos gaseosos.

.../...

Cenizas volantes:

Son residuos sólidos de la combustión que, al ser de menor granulometría y más ligeras que las escorias, son arrastrados por los humos, recorriendo el circuito de los gases de combustión hasta el equipo de retención final. No obstante, una parte de ellos no son retenidos y salen por la chimenea junto con los gases producidos en la combustión.

Determinados elementos tienen una cierta tendencia a concentrarse en dichas cenizas volantes. Este es el caso de los elementos no metales, metales pesados y halógenos.

Dichas partículas se clasifican en sedimentables, si se depositan por gravedad poco tiempo después de ser emitidas, y partículas en suspensión, si se mantienen largo tiempo en la atmósfera.

El límite que separa ambos tipos de partículas se establece en 0,045 mm.

Respecto a la influencia de las propiedades físico-químicas de los propios elementos traza, se debe tener en cuenta que los compuestos de dichos metales más abundantemente formados, son prácticamente óxidos de diversas valencias. En el caso del silicio y el vanadio se forman dióxido de sílice y pentóxido de vanadio, los cuales se mantienen estables para temperaturas de combustión situadas entre 500 y 1.800 °K. La forma predominante del níquel a 1800 °K es la de óxido, pero a temperaturas menores se presenta más

.../...

frecuentemente como sulfato.

El resto de los metales mencionados están en forma de sulfatos. Sin embargo, si se incrementa la concentración de SO_2 , o se aumenta la temperatura, disminuyen los sulfatos formados, e inversamente, al disminuir la temperatura, disminuye la cantidad de SO_2 y aumenta la formación de sulfatos metálicos.

Productos gaseosos:

Los productos gaseosos de la combustión tienen un recorrido mayor que las cenizas volantes.

La emisión de los productos gaseosos de combustión a la atmósfera se realiza a una temperatura de unos $120\text{ }^\circ\text{C}$, lo cual se traduce en un fuerte ascenso inicial debido a la energía interna. Esto se lleva a cabo en los primeros 2 km durante los cuales tiene lugar su enfriamiento paulatino. Pasa entonces a moverse gobernado por la turbulencia de la atmósfera que diluye la pluma y que puede, de forma esporádica, llegar a tocar el suelo entre los 5 y los 20 km de distancia de la chimenea.

La pluma pierde su forma aproximadamente a los 100 km y se distribuye uniformemente. Los contaminantes no descargados anteriormente retornan entonces al terreno por medio de deposiciones cuyos efectos no son muy importantes ya que para entonces se encuentran muy diluidos.

Si bien los gases producidos en la combustión son

.../...

diversos, prácticamente sólo interesan para su estudio el monóxido de carbono, los óxidos de nitrógeno y el dióxido de azufre. La presencia del primero suele ser prácticamente inapreciable, ya que la combustión se puede considerar completa, pues se realiza con un cierto exceso de aire sobre la cantidad que sería estequiométricamente necesaria. Esto garantiza que no sea apreciable el monóxido de carbono (como producto de la combustión del fuelóleo) y que se puedan despreciar sus efectos.

Por tanto, se puede considerar que los principales gases producidos en la combustión del fuelóleo son los óxidos de nitrógeno (NO_x) y el dióxido de azufre (SO_2). Puede producirse también una reacción secundaria en el hogar, consistente en la oxidación de SO_2 a SO_3 . En esta reacción sólo participa, de forma excepcional, del 3 al 4 % del total de azufre contenido en el combustible, no dependiendo de la cantidad de azufre existente y sí de la presencia de catalizadores como el vanadio o el hierro.

La conversión del SO_2 en SO_3 , sólo tiene interés como paso intermedio en la formación de SO_4H_2 gracias a la reacción del SO_3 con el vapor de agua.

Los gases mencionados anteriormente, NO_x y SO_2 , una vez en la atmósfera son los principales agentes responsables del fenómeno denominado lluvia ácida.

(Fig.22)

.../...

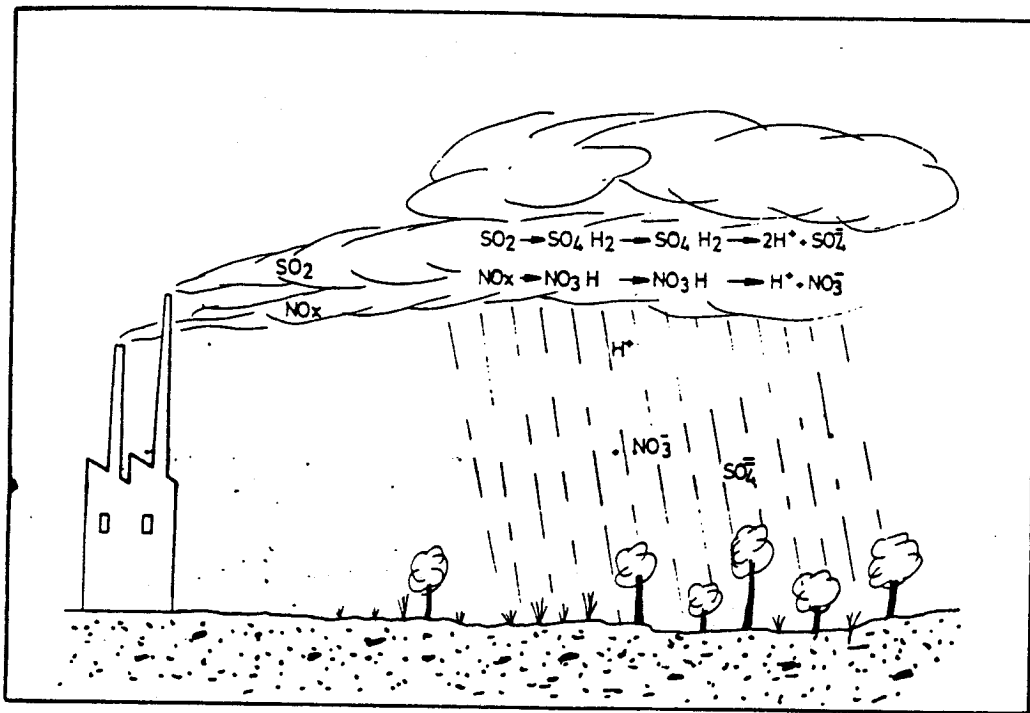


Fig. 22. Esquema general de la lluvia ácida.

Los productos finales en que se transforman son sulfatos ácidos y nitratos, pero el proceso hasta llegar a ellos no está del todo determinado.

Las diversas reacciones químicas que tienen lugar en la troposfera, convierten los óxidos de azufre y nitrógeno que se encuentran en fase gaseosa, en ácidos. Esta transformación tiene lugar durante la fase gaseosa y la líquida, al entrar en contacto con el agua de lluvia, depositándose finalmente en forma de ácidos sulfúrico y nítrico sobre la superficie de la Tierra.

La mayoría de las teorías físicas y químicas relacionadas con el problema de formación y de la deposición de ácidos, son complejas y han sido y son profunda y continuamente estudiadas.

Los procesos químicos que tienen lugar en la Troposfera, tanto en la fase líquida como gaseosa, son las fuentes generadoras estos ácidos.

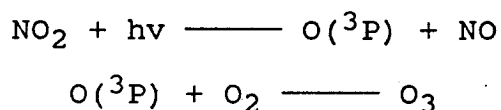
Las reacciones de la fase gaseosa no solo generan ácidos nítrico y sulfúrico a partir de la oxidación del SO_2 y de los óxidos de nitrógeno, sino que también generan importantes cantidades de oxidantes, ozono, peróxidos, radicales oxidrilos, que son de suma importancia para la formación de la ácidos en la fase húmeda.

Los últimos estudios realizados en E.E.U.U. sobre estos mecanismos de formación de la lluvia ácida, en base a los

.../...

datos y mediciones recogidos durante las cuatro estaciones del año, corroboran la existencia de una gran componente fotoquímica en la formación de los ácidos en la Troposfera.

Uno de los agentes oxidantes de mayor importancia es el ozono, cuya concentración en la Troposfera se establece a partir de la fotólisis del NO_2 con la participación de ozono estratosférico. Las reacciones que tienen lugar son:



Una parte de este ozono vuelve otra vez a combinarse con el NO para regenerar NO_2 . De aquí que la concentración de ozono en la Troposfera está regido por la siguiente expresión:

$$[\text{O}_3] = \frac{[\text{NO}_2] \cdot J_i}{[\text{NO}] \cdot k}$$

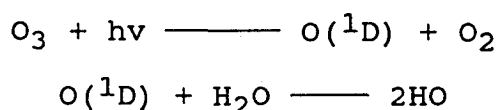
en donde J_i es una compleja función de la intensidad solar.

En los estudios anteriormente mencionados, realizados en los E.E.U.U., se ha constatado, que la concentración de ozono es directamente proporcional a la intensidad solar. por lo que aumenta durante el transcurso del día, disminuyendo por la noche.

La conversión de NO a NO_2 es un complejo tramado de reacciones químicas en las que están involucrados el HO , HO_2 y peróxidos orgánicos formados a partir de hidrocarburos y productos de oxidación (aldehídos, CO , etc).

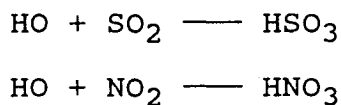
.../...

El principal iniciador de estas reacciones es el radical oxidrilo, HO, que se ha formado por fotodescomposición del ozono:



De aquí que la concentración de HO en la troposfera depende de la concentración de ozono y, por lo tanto, de la naturaleza de los hidrocarburos presentes, NO y NO₂, de la humedad y de la radiación solar.

La reacción en esta fase gaseosa del radical OH con el SO₂ y el NO₂, dan lugar al radical HSO₃ y HNO₃, que posteriormente dan lugar a la formación de los ácidos sulfúrico y nítrico:



Ambos se oxidan produciéndose SO₃ y NO₃. Estos óxidos, formados en la fase gaseosa y transportados a las gotas de lluvia de las nubes generan los ácidos que se depositan con la lluvia.

Teóricamente cabe considerar también la oxidación de SO₂ a SO₃ a través de moléculas de ozono, que es importante siempre que la concentración de SO₂ presente en los penachos gaseosos emitidos por los focos contaminantes sea grande, mientras que la igualmente posible oxidación de SO₂ a SO₃ a través de radicales CH₂OO (formados a partir de alquenos

.../...

procedentes de las emisiones industriales con ozono) solo es significativa en atmósferas urbanas altamente polucionadas.

Todo ello corrobora que la química de la lluvia ácida en las fases gaseosa y líquida están gobernadas por la fotoquímica.

Por otra parte, también existen deposiciones seca y húmeda en las áreas atravesadas por la pluma. La velocidad estimada en condiciones de atmósfera seca para la deposición el SO_2 es de 1 cm/s. sobre el suelo pero es variable según factores como la cobertera vegetal, la humedad relativa, etc.

7. ANALISIS DE LA INCIDENCIA DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA EN EL
MEDIO FISICO.

7. ANALISIS DE LA INCIDENCIA DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA EN EL MEDIO FISICO.

Una vez estudiado el medio físico de la zona, y establecidas las principales características que influyen en el proceso de contaminación de las aguas objeto del Proyecto, se ha procedido al estudio de dicho proceso por medio de un análisis de los elementos indicadores que se han considerado oportunos.

Para ello se han efectuado dos campañas de toma de muestras y de análisis de aguas, suelos y vegetales, con el fin de evaluar su presencia y su capacidad de incorporación a cada uno de los medios indicados, y especialmente a las aguas.

7.1. ELECCION DE INDICADORES

La determinación de los efectos de contaminación atmosférica sobre la calidad de las aguas subterráneas, lleva consigo la necesidad de encontrar alguna sustancia química o algún elemento traza que sea emitido únicamente por la Central Térmica y que sea fácil o al menos posible de seguir a través de los diferentes medios que atraviesa. Del análisis del fuelóleo utilizado en la Central se deduce que los elementos con contenidos más elevados son el vanadio y el níquel. Por tanto, ambos elementos se eligieron como indicadores en el seguimiento.

Además de estos elementos, y con el fin de comprobar si la lluvia ácida sufrida en la zona llega a influir sobre el acuífero, se van a analizar también, los contenidos en aluminio e hierro lixiviados en las aguas subterráneas.

En definitiva estos indicadores mencionados son los elementos que se consideran fundamentales en los estudios y análisis, tanto en muestras de aguas, como de vegetales o de suelos.

Así pues, los elementos tomados como indicadores han sido el Vanadio, Níquel, Hierro y Aluminio.

7.2. DISEÑO DE LAS REDES DE MUESTREO

Para el diseño de la red de toma de muestras de cada uno de los medios analizados se ha tenido en cuenta los parámetros del Medio Físico estudiados en el Capítulo 5. Fundamentalmente se han considerado los relativos a la orografía y topografía de la zona, la litología, la distribución de los acuíferos y las captaciones, los cultivos, la climatología y especialmente el régimen de vientos, así como la disposición relativa de todos estos factores respecto a la Central Térmica.

Todo ello ha dado lugar a la elección de puntos de toma de muestras para ambas campañas de forma que la información que se obtenga sea lo más representativa posible de las verdaderas condiciones de los medios investigados. Planos 1 y 2.

7.2.1. Suelos

Además de la distribución de los usos del suelo, y particularmente de la disposición de los huertos y zonas cultivables alrededor de la Central, se ha tenido en cuenta la información proporcionada por las demandas por daños debidos a la contaminación que se han producido en las frutas cultivadas en la zona de estudio.

En los últimos años de funcionamiento continuo de la Central, la Cámara Agraria de Castellón e Hidrola colaboraron en el cálculo de las indemnizaciones que debía pagar esta última a los agricultores de la zona.

Dichas indemnizaciones eran en concepto de daños causados

.../...

por las emisiones de las chimeneas de la Central en forma de lluvia ácida y deposiciones.

El estudio que se ha manejado fué el último de los realizados, que data de la campaña de enero de 1982. En él se establece un área de influencia con un radio de 4 km con centro en las chimeneas de la Central. Plano 1.

El área de influencia fué fraccionada en 6 zonas según los daños causados, en porcentaje, sobre la cosecha de mandarinas y clementinas.

Las seis áreas son concéntricas y se han numerado correlativamente. A su vez, cada zona ha sido subdividida en una serie de cuadrantes al objeto de resaltar su posición relativa respecto a las direcciones predominantes de los vientos.. En la Tabla adjunta se muestran los porcentajes de cada cultivo afectados por la contaminación, tal y como han sido evaluados para el establecimiento de las indemnizaciones.

Se puede observar que la zona global definida por el conjunto de las zonas consideradas, es el área de deposición de las cenizas volantes, que a su vez son el medio de transporte de los indicadores vanadio y níquel.

ZONA	% COSECHA AFECTADA	
	SATSUMA Y MANDARINA COMUN	CLEMENTINAS
1	80	70
2	70	60
3	55	45
4	40	30
5	30	20
6	20	10

En ella se han establecido 16 puntos de muestreo, situándose en la zona 1 la mayor parte. Entre los puntos muestreados se incluye la escombrera de la central.

Se le dió también mayor densidad de muestreo a la zona 2, donde se han situado tres puntos. En el resto de las zonas el control se realizó solamente en dos puntos, a excepción de la zona 3 donde se ha muestreado sólo uno. La razón de esta diversidad queda explicada con el hecho de que la concentración de elementos pertenecientes a las cenizas volantes debe ser superior en las cercanías de la Central, aumentando la dispersión conforme se incrementa la distancia.

La densidad del muestreo se ha acrecentado en la banda de los cuadrantes 1 y 3, pues la mayor frecuencia de vientos en la zona, según se ha estudiado, se desarrolla entre las direcciones N y E. La situación de los huertos muestreados es la siguiente:
(Plano 1)

.../...

	COORDENADA X	COORDENADA Y	ZONA EN EL PLANO
1	755,550	4428,250	1
2 *	752,300	4426,400	6
3 *	754,750	4428,100	2
4	753,800	4424,450	5
5	754,150	4424,850	4
6 *	243,900	4428,600	1
7	244,250	4428,300	1
8	756,100	4427,750	1
9 *	755,400	4427,650	1
10	754,800	4426,550	1
11	753,850	4427,150	2
12	754,850	4427,300	2
13 *	754,350	4429,900	4
14 *	755,100	4428,600	3
15 *	754,350	4430,200	5
16 *	754,500	4431,000	6

* Puntos muestreados en la segunda campaña.

Cuadro 11. Situación de los huertos muestreados.

Las muestras se tomaron a 20 cm de profundidad. En los puntos 1, 2, 13, 14, 15 y 16 se tomaron también muestras a 40 cm.

En la segunda campaña se muestrearon los suelos de los huertos correspondientes a los puntos señalados con un asterisco en el Cuadro 11.

La situación de los huertos en esta campaña no define ninguna dirección, pues en este caso sólo se trataba de realizar un seguimiento por zonas. Las muestras en cada punto de esta segunda campaña se tomaron a 20 y 40 cm de profundidad. De esta forma se han intentado definir dos niveles, para estudiar la concentración o acumulación de elementos correspondientes a las emisiones de las chimeneas en función de la profundidad.

.../...

7.2.2. Vegetales

La red de toma de muestras de vegetales se ha hecho coincidir con la de suelos para poder establecer relaciones de la deposición entre ambos medios. Para ello se han seleccionado los huertos en los que se han tomado las muestras de suelo. (Plano 1)

Cada toma de muestras vegetales se ha realizado barriendo los huertos por completo. Se ha seguido el método Emblenton para cítricos.

Cada huerto muestreado se ha representado por un punto situado aproximadamente en su centro.

Dadas las características de los cultivos de la zona, todas las muestras proceden de cítricos, excepto una de ellas que corresponde a una palmera que crece dentro del recinto de la propia Central.

También se realizó una segunda campaña, en los mismos huertos en que se realizó la segunda campaña de suelos.

7.2.3. Aguas

La toma de muestras de agua se refiere tanto a las subterráneas como a las de lluvia. En las fechas en que se efectuaron las dos campañas del muestreo los ríos o ramblas existentes en la zona sometida a estudio estaban secos. Esto se debe a que en estos ríos los embalses situados en ellos no permiten la circulación de agua salvo de forma esporádica coincidiendo con las crecidas correspondientes a las grandes precipitaciones torrenciales. Debido a todo esto no se obtuvieron muestras de aguas

.../...

superficiales.

7.2.3.1. Aguas Subterráneas

Las aguas subterráneas se muestrearon mediante una red más amplia que la diseñada para suelos y vegetales. Esto es debido a que el agua sufre una migración dentro del acuífero, definida por las direcciones de flujo. En segundo lugar se ha tenido en cuenta el movimiento de las aguas que transportan los elementos contaminantes hasta alcanzar el acuífero. Por otro lado también se han considerado las direcciones de los vientos predominantes.

En base a todo lo anterior se diseñó una red paralela a la costa, cuyo punto de muestreo más meridional dista unos 60 km de los focos emisores, adentrándose ligeramente en la provincia de Valencia.

Dicha red se ajustó en lo posible a la red de calidad del ITGE, existente en el área de interés, por los diversos controles periódicos existentes. Sólo se sustituyeron de dicha red los pocos pozos o sondeos en los que los encargados de su puesta en marcha eran completamente ilocalizables, o aquellos que sufrían avería en la instalación de bombeo.

Los puntos escogidos han sido 36 (Plano 2). En el Cuadro 12 que se muestra a continuación, se enumeran con toponimia y situación en coordenadas U.T.M.

La segunda campaña se diseñó en base a la primera pero reducida a 21 puntos ya que en el resto de ellos fué imposible la toma de muestras por alguna de las causas similares a las mencio-

.../...

nadas anteriormente.

Los puntos muestreados en la segunda campaña se han señalado en el Cuadro 12 con un asterisco.

7.2.3.2. Aguas de lluvia

Se han tomado tres muestras correspondientes a los días 4, 10 y 25 de abril. Fueron captadas en la Depuradora de Aguas de Fomento Agrícola Castellonense, S.A. y cedidas gentilmente por Ana Almela. Plano 2. La fecha de la primera toma correspondió al primer día de lluvia después del encendido de la Central, el 29 de febrero.

PTO	TOPONIMIA	COORD. X	COORD. Y
1*	ONDAJUAN XXIII	730,800	4425,850
2	POZO HUGUET	729,700	4404,350
3*	MANANTIAL LA LLOSA	740,200	4406,800
4*	ESTANQUE DE ALMENARA	740,650	4404,250
5*	GRUTAS DE SAN JOSE	735,000	4412,050
6*	FUENTE DE CUART	733,850	4403,300
7	SANTOS PATRONOS, PETRES	731,450	4396,250
8*	SAN PEDRO, SAGUNTO	737,550	4396,250
9	REALENGO MOLINER	738,800	4401,050
10	HUERTO DEL MARQUES	728,650	4386,150
11	ABASTECIMIENTO PUZOL	731,050	4388,200
12	AZACADOR PUZOL	732,250	4390,050
13	PLA DEL BOU	733,600	4393,400
14*	ABUNDANCIA F.A.C.S.A.	753,050	4433,500
15*	MOLI LA FONT	244,200	4434,600
16*	SANTIAGO	244,750	4435,150
17*	AQUARAMA	248,450	4437,400
18	SONDEO 7 (CANAL)	745,000	4431,700
19*	BECHI	741,100	4425,100
20*	VILLA REAL	746,350	4426,500
21*	LA RALLA	749,750	4428,250
22	POZO NEPTUNO	751,200	4430,500
23*	VILLA ROSA	747,600	4430,950
24	SAN JUAN	754,700	4423,700
25	CATALA	755,000	4425,800
26*	SAN JOSE DEL BENICATO	743,800	4413,600
27*	EL SALVADOR DE CHAVALI, NULES	746,550	4415,400
28	POZO COSCOLLAR	744,300	4421,650
29	MATELLA	750,900	4422,850
30*	BURRIANA	748,550	4420,450
31	POZO N° 4 CHJ	746,000	4429,350
32	FINCA DUALDE	740,900	4424,900
33*	EL PINAR	244,150	4430,450
34*	POZO CATALANS-ALMAZORA	755,350	4426,200
35*	DESAMPARADOS VALL DE UXO	741,350	4412,500
36*	CASERIO DEL MAR	742,600	4409,650

* Puntos muestreados en la segunda campaña.

Cuadro 12. Situación de puntos de agua muestreados.

.../...

7.3. CAMPAÑA DE TOMA DE MUESTRAS

Se han realizado dos campañas de muestreo de los tres medios estudiados: suelos, vegetales y aguas subterráneas.

La primera campaña se llevó a cabo entre el 24 de febrero y el 5 de marzo. La Central se puso en funcionamiento a bajo rendimiento, durante los días del 29 de febrero al 3 de marzo. Este breve periodo de tiempo dió lugar a realizar una segunda campaña de seguimiento entre los días 1 a 10 de mayo.

A continuación se detallan los métodos empleados en el muestreo en los distintos medios.

7.3.1. Suelos

La toma de muestras se efectuó por medio de una sonda manual de 125 cm de longitud, introduciéndose el material en bolsas de plástico numeradas. En la primera campaña se tomaron 22 muestras correspondientes a los 16 puntos de la red. De ellas, 16 fueron obtenidas a 20 cm de la superficie y las 6 restantes a 40 cm. (Plano 1)

7.3.2. Vegetales

En el muestreo de vegetales, se utilizó el método Emblenton para cítricos, considerado como el más adecuado para estos frutales.

Según dicho método, cada toma consta de entre ochenta y cien hojas, debiéndose muestrear todo el huerto. Para ello se tomarán cuatro hojas por árbol, recorriéndose el huerto en zig-zag. Las cuatro hojas se escogerán una a una de forma que se encuentren a

.../...

una altura de entre 1 y 1,5 m en ramas sin frutos, y que tengan una edad de al menos siete meses. Además, en el árbol, las cuatro ramas donde se encuentran las hojas, deberán estar orientadas según los cuatro puntos cardinales y la hoja a coger será la situada en tercer o cuarto lugar desde el ápice de la rama hasta el tronco del árbol.

Todas las hojas de las muestras fueron lavadas con agua destilada el mismo día de la toma. Se realizaron 16 tomas de muestras en la primera campaña y 8 en la segunda. (Plano 1)

7.3.3. Aguas subterráneas

La toma de muestras se realizó por bombeo en los pozos y sondeos y directamente si se efectuó en manantial.

En los pozos o sondeos la bomba se ha de poner en marcha dejando correr el agua entre 20 y 30 minutos antes de proceder a la toma de la muestra. Así se obtiene una representatividad de la calidad media del agua, pues se estabiliza la conductividad eléctrica, lo cual ocurre aproximadamente en el tiempo indicado.

Este procedimiento si bien no es el más fiable, sí se consideró el más idóneo pues se debe tener en cuenta que todos los pozos muestreados se ponen en marcha, como mucho, cada diez días.

Las muestras correspondientes a los manantiales naturales se obtuvieron en el punto más cercano posible a la surgencia.

Todas las muestras, tanto de manantiales como de pozos o sondeos, fueron recogidas en la propia botella de plástico que posteriormente se envió al laboratorio para su análisis. (Plano 2)

.../...

7.4. ANALISIS DE LAS MUESTRAS

Las muestras han sido analizadas en el laboratorio del I.T.G.E. de Tres Cantos en Madrid.

En suelos y vegetales se solicitó el análisis del contenido en V, Ni, Fe, Al, Mg, Mn, Zn, Cu, Co, Ti, Cr y Mo de todas las muestras. Para ello se ha utilizado la técnica del plasma para todos los elementos, excepto el Mg que se ha determinado por absorción atómica.

La única fase previa que se realizó antes de atacar las muestras para su posterior análisis fué la de la calcinación en horno a 800 °C de las muestras vegetales.

El ataque de las muestras se realizó, para el magnesio por fusión con metaborato de litio en crisol de platino durante cuatro minutos en horno a 1.000 °C, y para el resto de los elementos en una primera fase con ácido perclórico concentrado de 12 h a 14 h en estufa a 140 °C y en una segunda fase con ácido fluorhídrico concentrado durante 20 h en estufa a 85 °C.

Los límites de detección obtenidos por estas técnicas son del 2 % para el Al, del 0,1 % para el Fe, de 10 ppm para el V, Ni, Mn, Co y Ti, 4 ppm para el Mo, 2 ppm para el Zn y el Cr, 0,2 ppm para el Cu y 0,1 ppm para el Mg.

Por lo que respecta a las aguas, el análisis solicitado ha sido el completo más Al, V, Ni, Fe, Mn, Zn, Cu, Co, Ti, Cr y Mo.

El completo se compone de la D.Q.O., Cl, SO₄, HCO₃, CO₃, NO₃, Na, Mg, Ca, K, pH, la conductividad a 20 °C, el residuo sólido a

.../...

110 °C, NO₂, NH₄, F, P₂O₅, Pb, Cd, As, Se, CN, SiO₂, y Hg.

Por absorción atómica se han estudiado el Na, K, Pb, Cd, As, Se, Hg, Al, V, Ni, Fe, Mn, Zn, Cu, Co, Ti, Cr y Mo. En concreto se usó la cámara de grafito para el Cd, Fe, Mn y Cr, generador de hidruros para el As, Se y Hg, realizándose el resto de los citados elementos, determinados por absorción atómica, por llama. Los límites de detección para cada elemento fueron 0,5 ppm para el Na, K, Al, V y Ti, 0,1 ppm en Ni, Co y Mo, 0,05 ppm para el Zn y el Cu, 100 ppb para el Pb, 10 ppb para el Cd y el Fe, 5 ppb para el As, Mn y Cr, 1 ppb para el Se y 0,5 ppb en el Hg.

Por otro lado el Cl, SO₄, HCO₃, NO₃, Mg, Ca, P₂O₅ (aunque realmente se determina el PO₄), NO₂, NH₄ y el SiO₂ se estudian por colorimetría, cuyo límite de detección se encuentra para todos ellos en 1 ppm, excepto para el PO₄, NO₂ y NH₄, cuyo límite se encuentra en 0,01 ppm. Con respecto al F y al CN se usó la técnica del electrodo.

.../...

7.5. RESULTADOS DE LOS ANALISIS

Los resultados de los análisis realizados por el laboratorio del ITGE se adjuntan en el Anexo.

En líneas generales las concentraciones registradas de elementos traza en las muestras, tanto de aguas como de suelos o vegetales, se encuentran dentro de los límites normales.

En las aguas subterráneas las concentraciones de determinados aniones y los elevados índices de algunos parámetros estudiados, dejan patente la contaminación por intrusión salina, por la agricultura y por los yesos del Keuper. En ninguna de las campañas se han registrado valores importantes del pH ni de la D.Q.O. ni concentraciones elevadas de los iones CO_3 , NO_2 , NH_4 , F, P_2O_5 , Fe, Mn, Cn, Zn, Pb, Cr, Ni, Cd, As, Se, Al, CN, SiO_2 , Hg, V, Co, Ti y Mo.

Tampoco en suelos y vegetales se han detectado cantidades notables de los doce elementos determinados V, Ni, Fe, Al, Mg, Mn, Zn, Cn, Co, Ti, Cr, y Mo, a excepción de los casos de las muestras tomadas en la escombrera de la Central y en la palmera que se encuentra dentro de su recinto, cuyos contenidos fundamentalmente en V y Ni, son muy elevados.

A continuación se analizan los resultados obtenidos para cada uno de los materiales muestreados.

a) Suelos.

La muestra procedente de la escombrera de la propia Central se ha descartado en una valoración conjunta de los resultados

.../...

debido a que su contenido en elementos traza es en gran medida superior al del resto por lo que no puede considerarse representativa.

Los elevados índices de vanadio y níquel detectados, provienen de la utilización de un fuelóleo rico en dichos elementos, los cuales, como ya se ha expuesto, tienen tendencia a concentrarse en los productos sólidos de la combustión, en este caso en las cenizas volantes que en una gran proporción se recogen en los captadores de polvos.

Con el fin de estudiar la incidencia de la Central, se han confeccionado gráficos que relacionan los resultados de las determinaciones de los elementos indicadores (vanadio, níquel, aluminio, hierro y magnesio), en función de la distancia del punto de la toma de muestra a la Central. Los Gráficos 1 al 20 se adjuntan en el Anexo.

Para la primera campaña y en las tomas realizadas a profundidad de 20 cm, el gráfico 1, correspondiente al vanadio existente en los suelos de los huertos de cítricos, muestra que el contenido en vanadio disminuye conforme aumenta la distancia. Los valores anómalos que se producen, se deben al comportamiento de los vientos a lo largo de la emisión de gases por la chimenea. Así puntos de muestreo como el n° 7, que se encuentra sólo a 610 m de distancia, que se halla situado en una zona en la que la dirección de los vientos es menos frecuente, dan menores cantidades en vanadio que otros más alejados, como el punto n° 9, situado a 890 m, pero

.../...

orientado en una dirección predominante de los vientos.

Este hecho se observa también al analizar el gráfico correspondiente a otros elementos. En el caso del níquel (Gráfico 2) se hace patente una importante semejanza con el primero.

Es difícil afirmar que el níquel y el vanadio determinados en los suelos corresponda a las emisiones de la central, pues de hecho los índices se encuentran por debajo de los contenidos normales de los suelos. En cualquier caso es muy importante resaltar que la misma relación entre contenidos en vanadio y níquel y distancia, se vuelve a dar en los resultados obtenidos en ambas campañas, tal como puede apreciarse en los gráficos 21, 22, 26 y 27. En el caso concreto del punto número 9, que da los valores máximos, debe señalarse que el huerto muestreado se encuentra situado en las proximidades de la refinería de Petromed, por lo que no puede descartarse su influencia en los resultados obtenidos.

Por otro lado, las determinaciones que, a la vista de los gráficos citados, presentan anomalías respecto al comportamiento general de disminución de los contenidos al aumentar la distancia, también pueden ser debidas a que en la zona donde se ha realizado el muestreo hayan sido utilizados abonos con altos contenidos en vanadio, pues se recuerda la tendencia de dicho elemento a acumularse en la materia orgánica.

La comparación entre los resultados de las determinaciones correspondientes a muestras tomadas a 20 y 40 cm de la primera campaña presenta diferencias de comportamiento con la segunda

.../...

(Gráficos 31, 32, 33 y 34). En la primera campaña, la concentración de vanadio y níquel tiende a decrecer con la profundidad.

Al contrario sucede en la segunda campaña, en la que la concentración aumenta con la profundidad, probablemente porque se ha podido producir un lavado de las capas más superficiales por la acción del riego y de la lluvia.

Respecto a los tres elementos lixiviables estudiados, aluminio, hierro y magnesio, en líneas generales las gráficas ponen de manifiesto que aparentemente no existe una relación entre la distancia y la acción lixiviante de los ácidos atmosféricos, procedentes de una posible lluvia ácida o una deposición seca o húmeda.

En el caso del aluminio, la comparación de los gráficos 3 y 13, muestra que a 20 cm los contenidos son menores en la segunda campaña, mientras que a 40 cm ocurre lo contrario (Gráficos 8 y 18). Los valores resultantes indican que en la segunda campaña la concentración de aluminio es mayor que en la primera. En el caso del hierro y el magnesio éste hecho no es tan evidente. (Gráficos 4, 5, 14 y 15)

En el caso del aluminio también se advierte que en la primera campaña, su concentración crece con la profundidad, mientras que en la segunda parece disminuir. (Gráficos 35 y 36)

b) Vegetales.

Se ha estudiado el contenido en elementos impropios en los vegetales que pudieran proceder de la contaminación atmosférica, para así relacionarlo con la distancia, teniendo en cuenta, tal y

.../...

como se explicó anteriormente, las frecuencias y direcciones de los vientos.

El análisis de los gráficos 37, 38, 39 y 40 no permiten extraer ninguna conclusión clara sobre los contenidos en vanadio y níquel de las hojas de los naranjos, que resultan ser cantidades normales.

La excepción más importante es la muestra de palmera, la cual se encuentra a escasos metros de las chimeneas desde los primeros días de la puesta en marcha de la central.

Esto hace presumir que pueda haber asimilado grandes cantidades de vanadio y níquel, lo cual justificaría los elevados contenidos obtenidos en los análisis.

La comparación entre ambas campañas para los contenidos de vanadio y de níquel (Gráficos 41 y 42), no permite deducir ninguna conclusión clara en estas muestras vegetales. Al hecho de que el límite de detección de los métodos de ensayos no ha sido suficiente en algún caso, se añade que la recolección de la naranja se ha efectuado en su casi totalidad en el periodo intermedio entre ambas campañas, con las variaciones que esto supone en la composición de los tejidos vegetales, por producirse su renovación.

c) Aguas.

Las aguas subterráneas en la zona de estudio, tal y como se indicó en el apartado 6, tienen una calidad muy variable. Así se ha comprobado la existencia de tres zonas especialmente afectadas por la contaminación, ya sea por intrusión salina o por el de-

.../...

sarrollo industrial o agrícola.

Estas tres zonas son Benicasim, Moncofar y Sagunto. En ellas uno o varios de los aniones nitrato, cloruro y bicarbonato, así como la conductividad, se muestran con elevados índices de concentración. En los gráficos 43 y 44 se puede observar la evolución de los contenidos de dos de estos iones, el ión cloro y el sulfato, según se aleja el punto de muestreo de la línea de costa. Se pone de manifiesto una clara tendencia a disminuir conforme aumenta la distancia, de acuerdo a lo que es de esperar en un acuífero sometido a efectos de intrusión marina. También se ha mencionado en dicho apartado la importante concentración del anión sulfato a lo largo de toda la zona de estudio.

Los estudios efectuados no permiten establecer una relación causa-efecto entre la contaminación de las aguas y la Central. El pH del agua subterránea es normal, no pudiéndosele considerar influido por la lluvia ácida. No hay cantidades perceptibles de iones aluminio ni hierro procedentes de la lixiviación de los suelos, ni tampoco concentración de vanadio o níquel procedentes de los productos de combustión.

Las tres muestras de aguas de lluvia tampoco demuestran notorias anomalías en las determinaciones, excepción hecha del pH, que es ligeramente ácido, aunque se mantienen dentro de los valores normales de estas aguas. El alto contenido en cinc es probablemente proveniente del envase en que se recogieron las precipitaciones.

.../...

8.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1.- CONCLUSIONES.

El resultado de los trabajos realizados permite extraer las siguientes conclusiones:

Los análisis realizados ponen de manifiesto bajas concentraciones de los elementos potencialmente contaminantes emitidos a la atmósfera, que han sido tomados como indicadores. Esto indica que la contaminación por estas causas en agua, suelos y vegetales en la zona de estudio no es muy acusada y se encuentra lejos de ser preocupante.

Sin embargo, se ha detectado en dichos medios la presencia de iones cloro, sulfato y nitrato en cantidades que eran de esperar dado el elevado grado de intrusión marina existente en la zona y a la intensa actividad de las labores agrícolas.

a) Suelos.

La distribución espacial de los elementos analizados, y su disposición relativa respecto de la Central, sugieren una influencia sobre los suelos cercanos a ella. En concreto se observa que, en términos generales, las concentraciones de vanadio y níquel disminuyen al aumentar la distancia a la Central.

También es resaltable la comparación entre las muestras a 40 cm de las dos campañas. Se observa que en la segunda campaña aumenta la concentración de dichos metales. Esto no supone una contaminación real de los suelos pues éstos mantienen los niveles de dichos elementos incluso por debajo de los contenidos normales.

.../...

Esta baja concentración detectada puede ser debida principalmente a dos causas.

En primer lugar, debe tenerse en cuenta la política seguida por la Central Térmica, que ha limitado su funcionamiento a periodos muy reducidos, poniéndose en marcha tan solo cuando la Empresa tiene necesidad de atender a puntas en la demanda de energía. Los problemas causados por su uso se disminuyen con medidas tales como el aprovechamiento de los vientos favorables de dirección hacia el mar, para el soplado del hollín de las chimeneas anterior al encendido y el funcionamiento a bajo rendimiento.

En segundo lugar, puede tener influencia la elevada porosidad de los suelos muestreados como consecuencia del frecuente laboreo a que son sometidos los huertos. De esta forma los metales pesados consiguen mayor movilidad, sobre todo si se tiene en cuenta además su continuo lavado a consecuencia del riego.

Por otra parte, no sólo ha aumentado el contenido en níquel y vanadio a 40 cm, en la segunda campaña, sino que se ha comprobado un enriquecimiento en aluminio, lo que hace presumir que existe lixiviación por medio de los ácidos orgánicos formados por incorporación al suelo de los posibles ácidos presentes en la atmósfera y su posterior reacción con la materia orgánica procedente de la capa orgánica del suelo.

Por otro lado, las concentraciones de vanadio y níquel en la muestra del punto 8 son muy altas, lo que es natural ya que el

.../...

material procede de la escombrera de la Central, que está formada por el producto sólido de la combustión de un fuelóleo que contiene dichos elementos en altas proporciones.

Los diagramas relativos a la distribución de las concentraciones de níquel y vanadio en las muestras de suelo se han realizado representando las curvas de igual concentración. (Gráficos 45 y 46). En ellos se pone de manifiesto una relación entre la concentración y las direcciones predominantes de los vientos, respecto a la posición de la Central. Se aprecia que en dichas direcciones la concentración disminuye con la distancia mucho más lentamente.

b) Vegetales.

El ataque de la lluvia ácida sobre las hojas y sobre el flavedo de las cortezas de los frutos de los cítricos, se pone de manifiesto por medio de quemaduras puntuales observables a simple vista.

Este hecho es exclusivamente superficial, no registrándose el efecto del ataque en profundidad. Los análisis químicos descartan la posibilidad de contaminación sobre el hesperidio.

El resultado de las dos campañas en los vegetales revelan los bajos niveles de vanadio y níquel, los cuales se mantienen dentro de los valores normales.

En cambio, la muestra de palmera de la central sí da valores elevados. Esto es debido a dos razones. En primer lugar su cercano emplazamiento facilita el ser afectado por las cenizas vo-

.../...

lantes y sobre todo por el soplado de los hollines que difícilmente influye sobre los huertos de cítricos, mucho más alejados. En segundo lugar la palmera se halla ubicada en el lugar actual antes que la central, pudiendo haber acumulado los metales pesados a lo largo del tiempo.

La lluvia ácida puede, además, provocar un déficit de nutrientes, de forma directa, al lixiviar elementos esenciales para la vida como el calcio, el magnesio o el potasio, o de forma indirecta, al desplazar los iones aluminio de los materiales atravesados que sustituyen a los iones calcio en las raíces más finas.

La pérdida de nutrientes y el entorpecimiento de los procesos biológicos y bioquímicos desarrollados en los suelos redundan en una mengua del crecimiento arbóreo. Este hecho es difícilmente detectable por medio de análisis, pudiéndose observar a través del comportamiento de las cosechas.

Por el contrario, las posibles carencias nutritivas como consecuencia de la lixiviación de elementos básicos pueden compensarse por la fertilización debida a la formación de compuestos nitrogenados por las precipitaciones ácidas.

c) Aguas.

Las aguas subterráneas presentan altos niveles de contaminación debido a la importante existencia de los aniones cloruro, nitrato, bicarbonato y sulfato además de altos valores en la conductividad y residuo sólido.

.../...

Estos efectos son debidos a la intrusión marina y a la afección por los abonos agrícolas y por los yesos del Keuper. Las tres zonas más afectadas son la de Sagunto, Moncófar y Benicasim a causa de los importantes desarrollos que han tenido a nivel industrial, agrícola y turístico, respectivamente.

En cuanto a la posible contaminación proveniente de la Central, los análisis de agua subterránea realizados no dejan constancia de su existencia ni vestigio alguno de la influencia que sobre el acuífero puede tener dicha instalación.

El pH de las aguas es neutro o débilmente básico y las concentraciones de los cationes estudiados, vanadio, níquel, aluminio, hierro y magnesio, son inapreciables o se encuentran dentro de los límites normales.

El hecho de que no se detecte contaminación en las aguas subterráneas puede ser debido a que los fluidos ácidos se neutralizan al atravesar las rocas carbonatadas. Esta conclusión se confirma con la carencia en las aguas de iones indicadores procedentes de la lixiviación, como el aluminio o el hierro. Existe otro factor importante que impide la acidulación de las aguas y es su Capacidad de Neutralización de Acidos -CNA- o concentración de iones neutralizadores, la cual da una medida de la sensibilidad que tiene el agua para acidificarse.

La CNA en esta zona es muy alta pues, como ya se ha mencionado, existen altas concentraciones de iones básicos como el

.../...

ión bicarbonato, pudiéndose predecir que el agua por sí misma tiene una gran resistencia a la acidificación.

De todo lo anterior, pueden extraerse las siguientes conclusiones metodológicas:

1º El estudio del medio físico debe orientarse preferentemente a la obtención de datos relativos a los siguientes aspectos:

a) Geología: deben tenerse en cuenta la naturaleza de la roca, su carácter ácido o básico, su disposición relativa y sus características hidrogeológicas, de porosidad y transmisividad. Así mismo, se considera muy importante el carácter de los suelos.

b) Climatología: Se debe prestar atención, particularmente al régimen de vientos y de lluvias, aunque debe también considerarse los posibles efectos de la temperatura sobre los distintos estratos de aire y sobre los fenómenos de inversión térmica.

c) Usos del suelo: se considera muy importante considerar los usos agrícolas del suelo, abonos empleados, campañas de cosechas, régimen de riegos, etc.

2º Campaña de toma de muestras. Para el muestreo de suelos y vegetales, por lo que respecta a las fechas más idóneas en la realización de las campañas de muestreo, interesa que las dos campañas se efectúen relativamente

.../...

distanciadas en el tiempo, permitiendo que se produzcan modificaciones detectables en los procesos de los medios muestreados. De esta forma se podría, por ejemplo, hacer coincidir cada campaña con un período seco y otro húmedo.

También es conveniente que en la zona de muestreo, en el período intermedio entre las dos campañas no se produzcan acciones antropogénicas que puedan afectar de forma notable a la composición de los suelos y a los tejidos vegetales, como abonados de terrenos, talas, etc.

Sería conveniente poder disponer de zonas experimentales piloto en las cuales las condiciones medio-ambientales se mantengan constantes durante el estudio y poder así contrastar los resultados obtenidos con otras zonas en las que se producen labores agrícolas u otras alteraciones antropomórficas.

- 3º Análisis y ensayos. Es fundamental elegir elementos indicadores que faciliten la determinación de la contaminación de fondo y diferenciar la influencia de los distintos focos contaminantes.

8.2.-RECOMENDACIONES.

De todo lo dicho hasta aquí, se desprende la conveniencia de efectuar trabajos de constatación de la metodología que se propone, en otras áreas en las que se pusieran a prueba las conclusiones y resultados obtenidos en el presente estudio.

Sería interesante la realización de estudios similares en áreas constituidas por materiales de naturaleza ácida, como Galicia, a fin de comparar los efectos producidos por los agentes lixiviantes de los elementos del terreno, cuando no se produce una acción neutralizante.

Asimismo, se considera recomendable trabajar en áreas en que el conocimiento del acuífero sea muy exhaustivo, tales como es el caso del Coto de Doñana, donde la existencia de un importante núcleo industrial próximo, el Polígono Industrial de Huelva, produce preocupación en cuanto a su influencia sobre el medio natural.

9. METODOLOGIA PROPUESTA

9. METODOLOGIA PROPUESTA

La metodología que se expone como resultado de la experiencia adquirida a lo largo de la realización del presente Proyecto, pretende sentar las líneas a seguir para el desarrollo de estudios sobre la influencia de la contaminación atmosférica en la calidad de las aguas en los acuíferos subterráneos.

En la figura adjunta se muestra el esquema general para el desarrollo de las fases de la Metodología propuesta, cuyas principales particularidades se discuten a continuación.

1) Evaluación del medio en estado cero o preoperacional.

Siempre que sea posible se debe intentar establecer el estado del medio físico libre de la acción de la instalación industrial contaminante a fin de determinar la "contaminación de fondo" previo a la iniciación de la actividad contaminante objeto del estudio.

Esta fase es posible cuando la industria no se ha emplazado todavía, cuando aún se encuentra en estado de proyecto, o bien debe basarse en el análisis de información retrospectiva que pueda aportar los datos necesarios para ello. Esto puede ser difícil y a menudo resulta imposible, por lo que el estudio se deberá encarar sin esta base previa.

2) Recogida de información:

En esta fase se debe recoger la información relativa a

.../...

EVALUACION DEL MEDIO EN ESTADO PREOPERACIONAL

RECOGIDA DE INFORMACION

MEDIO FISICO

PUNTOS DE AGUA

CONTAMINACION INDUSTRIAL

CONTAMINACION ATMOSFERICA

ANALISIS DE LA INFORMACION

FOCOS DE CONTAMINACION

ELECCION DE INDICADORES

DISEÑO DE LA RED DE MUESTREO

1ª CAMPAÑA DE TOMA DE MUESTRAS

EMISION

INMISION

VEGETALES

SUELOS

AGUAS

SUPERFICIALES

LLUVIA

SUBTERRANEAS

POZOS Y SONDEOS

SURGENCIAS

ANALISIS

INTERPRETACION

CONCLUSIONES

2ª CAMPAÑA DE TOMA DE MUESTRAS

la zona de estudio y sobre la problemática objeto del trabajo en los siguientes aspectos fundamentales:

a) **Medio físico.**

b1) Geología y litología. El conocimiento de la naturaleza y de las características de los materiales suprayacentes y de los que constituyen el acuífero es imprescindible, dado que son el medio por el que circulan los fluidos derivados de las emisiones atmosféricas, antes de llegar a las aguas subterráneas. Dichos fluidos pueden sufrir importantes variaciones químicas que dependen de la naturaleza de los mencionados materiales.

Así pues, la información deberá versar fundamentalmente sobre la naturaleza y geometría de los materiales, su carácter ácido o básico, porosidad, transmisividad, etc.

b2) Climatología. Se debe hacer gran hincapié en los regímenes de precipitaciones y vientos, los cuales gobiernan los procesos y mecanismos contaminantes. El conocimiento del comportamiento de los vientos es preciso de cara a determinar las direcciones predominantes y sus frecuencias, lo que permite establecer un modelo de comportamiento del penacho, y por tanto conocer las áreas más expuestas

.../...

de la zona de estudio a la acción de los contaminantes.

- b3) Marco hidrográfico e hidrogeológico. Es evidente la necesidad de conocer bien sus características e interrelaciones, incluyendo los datos más actuales sobre el balance hídrico del acuífero, calidad, niveles piezométricos, etc.
- b4) Fisiografía. El relieve de una región influye sobre su clima, debido a que la topografía afecta a los movimientos atmosféricos asociados a la distribución de las presiones (ciclones y anticiclones). Así se debe dar especial importancia a los accidentes orográficos como las cadenas montañosas o los valles que, en las cercanías del complejo contaminante, influirán sobre la libre distribución del penacho.
- b5) Edafología. Las características de los suelos pueden influir y, en su caso, explicar los numerosos procesos a partir de los cuales se puede producir la contaminación. Es muy importante el levantamiento de perfiles de suelos, en los que se detallan sus principales características, potencia, porosidad, transmisividad y composición de la zona no saturada, etc. De ahí la importancia de realizar campañas de muestreo bien diseñadas.

.../...

La profundidad de la toma está estrechamente relacionada con la porosidad y permeabilidad del suelo, por lo que en los suelos permeables las tomas deberán realizarse a mayor profundidad a fin de detectar la acumulación de metales pesados en los horizontes inferiores.

b6) Vegetación y uso de los suelos. El interés de las plantas radica en su utilidad como indicadores de contaminación. Asimilan de los suelos elementos que en concentraciones superiores a las necesarias para su fisiología pueden llegar a ser tóxicos, tales como Cu, Fe, Mn, Zn, Mo, B, Co y Si, entre otros. El uso de los suelos se refiere al tipo de cultivo implantado sobre él. Un suelo que se explote con cultivo de regadío se lava mucho más que uno de secano, lo cual supone un mayor transporte de elementos pesados a horizontes bajos.

b) **Puntos de Agua. Aguas superficiales y subterráneas.**

Es aconsejable partir del inventario de puntos de agua del I.T.G.E. si existe en la zona. Preferentemente se seleccionarán aquellos que pertenezcan a la red de calidad, ya que de ellos se poseen análisis químicos y una mayor información sobre su evolución química. Por ello es interesante ceñirse en la campaña de muestreo lo más posible a dicha red.

.../...

c) **Contaminación industrial.**

Se deberán obtener datos sobre las industrias cercanas cuyos fluidos residuales, al ser evacuados al exterior, sean capaces de interferir en el estudio. La interferencia puede ser causada por coincidir algunos compuestos presentes en las emisiones de las industrias cercanas con algunos existentes en la de la industria en estudio o por producir ambas los mismos efectos.

Se deberá pasar revista a todos los focos de evacuación de residuos de la instalación, con análisis de las emisiones, prestando especial atención a las emisiones atmosféricas.

d) **Análisis de la contaminación atmosférica.**

Se deben recoger la información existente y los datos analíticos y de observaciones de la contaminación atmosférica en la zona de estudio. Para ello se deberá recabar la colaboración de organismos públicos y privados que por su carácter puedan aportar datos sobre el tema.

Una vez recopilada y ordenada la información, se debe proceder a su análisis a fin de establecer las bases de partida y la planificación del resto del estudio.

3) **Focos de contaminación.**

En esta fase se procede a efectuar un inventario de los focos contaminantes, definiendolos tanto cualitativa como

.../...

cuantitativamente. Se deben tomar datos de los procesos industriales, elementos potencialmente contaminantes utilizados, formas de vertido y estados y formas en que pasan al medio, indicando si es posible, los probables caminos por los que se incorporarían a las aguas subterráneas.

4) Elección de indicadores.

La elección de indicadores depende del medio que se desee estudiar: atmósfera, aguas o suelos. El objetivo del proyecto es la contaminación de las aguas subterráneas, por ello se deben escoger indicadores físico-químicos o biológicos.

Los indicadores de calidad del agua son parámetros físicos, químicos o biológicos que proporcionan una medida de la misma y permiten una evaluación cualitativa de los cambios que los diferentes usos del agua pueden originar en su calidad. El estudio y la selección de los indicadores debe ser cuidadosa, siendo de gran importancia el número que se va a utilizar. Tomarlos por exceso supone complicar su determinación y por defecto disminuir la claridad de resultados.

Los indicadores biológicos determinan el grado de alteración de las condiciones biológicas del agua, pues con ellos se estudian las comunidades de animales y plantas acuáticas y las respuestas de éstas a la variación de condiciones físico-químicas del medio donde viven. Hoy en día

.../...

se incrementa su estudio, pues dan información sobre el estado anterior a la toma de muestras y sobre la capacidad de recuperación natural tras la contaminación. Por el contrario los indicadores fisico-químicos dan información sobre el momento de la toma, pudiendo dar resultados alarmantes como pasar desapercibidos factores decisivos, por estar empezándose a desarrollar.

En cualquier caso, parece mejor utilizar indicadores fisico-químicos cuando se realice el seguimiento de la posible contaminación de una industria concreta y utilizar también los indicadores biológicos si el estudio se encauza hacia la determinación de la calidad del agua, no particularizando sobre una industria determinado.

5) Diseño de la red

Para el seguimiento de los indicadores se deberán estudiar las zonas propicias para su localización. Si el transporte se realiza en las cenizas volantes, la zona esperada de deposición estará próxima a las chimeneas, en un radio de unos cinco kilómetros, ampliables de acuerdo al régimen de vientos. En cambio, si se buscan sustancias o efectos relacionados con la lluvia ácida producida por los gases de combustión, el área de trabajo se deberá incrementar hasta una superficie de más de cien kilómetros de radio. Esto también estará en función de los regímenes de vientos y lluvias y de

.../...

la orografía, que pueden favorecer su transporte a zonas lejanas.

Otro parámetro a tener en cuenta es el tamaño de malla de la red. Este deberá cerrarse en la zona cercana al foco contaminante, pues las emisiones están poco diluidas aún en la atmósfera. Conforme las tomas se realicen más alejadas del foco se podrá aumentar el tamaño de malla.

En base a lo expuesto se elegirán las zonas representativas de la posible contaminación haciendo diversas redes de muestreo según los diferentes medios a muestrear.

Se debe tomar la precaución de definir unas zonas piloto, en las que se impida la acción antropomórfica durante el período de desarrollo del estudio, a fin de disponer de patrones del comportamiento espontáneo de las condiciones ambientales y de la evolución de los elementos indicadores rastreados en todos los medios muestreados.

6) Campaña de toma de muestras

Son interesantes, al menos, dos campañas de muestreo para comprobar la evolución de los indicadores. A su vez se deben elegir los medios a muestrear, pues es útil realizar el seguimiento y evolución de los indicadores antes de llegar a las aguas subterráneas, para comprender sus mecanismos y definir un posible método de defensa. A continuación se detallan los medios a muestrear y las técnicas a emplear.

.../...

a) **Emisiones de la chimenea.** Estas no varían de forma considerable a corto plazo a no ser que se modifique el combustible, lo cual significa que podría bastar con una campaña dependiendo de la duración del seguimiento a realizar sobre la contaminación.

La emisión es el lanzamiento de materiales al aire, ya sea por un foco localizado (emisión primaria) o como resultado de reacciones fotoquímicas o cadenas de reacciones iniciadas por un proceso fotoquímico (emisión secundaria). De esta forma se obtiene el concepto de nivel de emisión, que es la cantidad de contaminantes emitidos a la atmósfera por un foco fijo, o móvil, medido en la unidad de tiempo (O.M. 18/10/76)

Las tomas de muestras se realizan por medio de un aparato denominado "sonda isocinética", el cuál obtiene por aspiración las muestras de emisión primaria de las fuentes estacionarias de emisión en condiciones isocinéticas. Este detalle, de gran importancia, significa que los productos de combustión, gases y partículas, los obtiene a la misma velocidad que son expulsados.

Para ello se introduce la boquilla de toma en dos ventanas practicadas en la chimenea con dicho fin y tal que el régimen en la zona sea laminar para obtener las mencionadas condiciones isocinéticas. Las dos ventanas referidas se encuentran en la misma sección, perpendicular al eje de la

.../...

chimenea, de forma que son extremos de dos diámetros perpendiculares entre sí.

La operación comienza con el cálculo de la boquilla que se necesita para conservar las condiciones isocinéticas, para lo cual se precisa conocer la humedad y el peso molecular de los compuestos esperados, además de la presión existente en la chimenea. Las tomas se realizan a diferentes distancias desde la ventana hacia el interior, manteniéndose siempre la boquilla en un diámetro perpendicular el eje de la chimenea. El fluido aspirado pasará, en principio, por un filtro que recoge las partículas, si se desea examinar éstas, para atravesar después diferentes soluciones encargadas cada una de absorber un determinado gas. La composición de las soluciones varía según el gas que se desee analizar, realizándose la determinación, tanto de partículas como de gases, posteriormente en el laboratorio. De esta forma se pueden detectar gases como SO_2 , SH_2 , NO_x , O_2 , CO y CO_2 , hidrocarburos, nieblas de ácido sulfúrico, etc.

b) **Inmisión.** Viene definida por la concentración de contaminantes en la atmósfera a nivel del suelo, de modo temporal o permanente. A partir de esta definición se expresa el nivel de inmisión como la cantidad de contaminantes sólidos, líquidos o gaseosos por unidad de volumen de aire existente entre 0 y 2 metros de altura sobre el suelo (O.M. 18/10/76).

.../...

Las partículas sólidas, portadoras de los elementos pesados, son los contaminantes que más interesan en estos estudios. Para ello se utilizan los "Captadores de polvo" a caudal constante, los cuales permiten calcular la cantidad de polvo en suspensión por unidad de volumen de aire filtrado. La cantidad de polvo en suspensión es la depositada en el filtro y el volumen de aire que contenía dicho polvo es calculable por medio del caudal de aire absorbido y el tiempo de funcionamiento del captador. El tamaño de las partículas capturadas depende del filtro utilizado, siendo el tamaño mínimo de 0,01 micras. Un programador permite encenderse al captador de polvo a lo largo de nueve días, a lo sumo, con periodos de tiempo de 0 a 24 horas diarias de funcionamiento, pudiendo comenzar a funcionar hasta ocho días después de programarse.

El mayor inconveniente de estos aparatos es la necesidad de tomar energía de una fuente de corriente alterna a 220 voltios, lo cual reduce las zonas de muestreo, por la dependencia física.

c) Vegetales. El método a utilizar depende fundamentalmente del tipo de planta. En líneas generales se deberá tener presente lo siguiente:

- Cada muestra debe constar de los suficientes elementos vegetales de distintas plantas como para que sea anulado

.../...

el factor de variabilidad y obtener una auténtica representatividad del área de estudio.

- Las muestras vegetales, en el momento de ser tomadas en el campo, se deben introducir en sacos de tela porosa, no en bolsas de polietileno. Después, lo antes posible, se introducirán en un refrigerador, ahora sí, en bolsas de polietileno.

- Las muestras deberán sacudirse de polvo y tierra y lavarse cuando todavía están verdes. El lavado se realizará con agua destilada o desionizada y detergente.

- Las muestras se deben secar extendidas al aire en atmósfera limpia de polvo y humos o en horno de tiro forzado a temperatura aproximada de 50° C.

- Tras el secado se procede a la trituración de la muestra y a su calcinación.

d) Suelos. En principio interesa fijar las profundidades a las que se debe trabajar. Se recomienda tomar como máximo tres profundidades y eso sólo en el caso de que el terreno sea muy permeable. Así, se tomarán las muestras a las profundidades ya establecidas a 20 y 40 cm, añadiéndose una tercera a una mayor profundidad, que puede variar según el espesor del suelo.

Por otro lado, el suelo es un medio completamente heterogéneo con lo que es aún más difícil obtener unas muestras representativas. Además se deben cuidar mucho las opera-

.../...

ciones de manejo. Por ello el método a seguir deberá tener en cuenta las fases siguientes:

- Los núcleos de la red establecida deberán tener iguales diámetros y profundidades.

- Evaluar estadísticamente la representatividad de la toma. Se realizará a partir del análisis de núcleos separados que servirán para calcular la variabilidad.

- El número de núcleos de suelos para la red será función de la variabilidad del suelo, el grado de exactitud deseado, los elementos a determinar y el objetivo del proyecto.

- Interesa realizar en cada núcleo tomas separadas a distintas profundidades para componer perfiles. Especial cuidado se debe poner en evitar la contaminación entre distintos niveles.

e) Aguas. En este medio se considera el agua en tres diferentes formas.

- Aguas subterráneas.
- Aguas de lluvia.
- Aguas superficiales.

Para la toma de muestras de agua superficiales se debe utilizar un muestreador de agua. Dicho aparato contiene 24 botellas de 400 cm³, que se llenan regulando el período de cada toma por medio de un reloj temporizador. El ciclo que realiza consta de varias fases. En un principio el compre-

.../...

sor-bomba insufla aire por la tubería de muestreo para barrer las pequeñas gotas que quedan de la muestra anterior. Una vez terminada dicha acción se pasa al llenado del distribuidor, por bombeo, hasta 450 cm^3 . De nuevo vuelve a funcionar ahora el compresor para, por medio de la expulsión de 50 cm^3 de agua tomados del distribuidor recién llenado, volver a limpiar la manguera de muestreo. Finalmente vacía los 400 cm^3 restantes sobre la correspondiente botella y gira automáticamente el distribuidor, dirigiendo su salida sobre una nueva botella. La operación se realizará tantas veces como se haya programado, siendo siempre cada toma, como ya se ha indicado, no inferior a los 400 cm^3 que tiene de volumen cada botella. La fuente de energía que permite la realización del proceso explicado puede ser una batería de recargable de 12V.

La toma de muestras de aguas subterráneas se puede realizar en pozos, sondeos y surgencias naturales. El tratamiento para la toma de muestras de éstas últimas será similar al dado a las superficiales. En cuanto a los sondeos se pueden realizar con la bomba de extracción. Puede ocurrir que el pozo o sondeo no esté en funcionamiento desde hace algún tiempo. En ese caso se deberá bombear agua por espacio de unos 30 minutos hasta que se establezca la conductividad eléctrica. El análisis a realizar de cada punto servirá para dar idea de la calidad media del volumen del agua del acuí-

.../...

fero por el cual atraviesa el sondeo. Los resultados varían en función del caudal y de la permeabilidad de los terrenos atravesados. Por otra parte los niveles más permeables contribuyen con mayor caudal de agua en el bombeo. Por todo ello la toma de una muestra en un pozo sin bombeo continuo no es muy representativa y se realizará sólo si fuera necesario. Los errores que se pueden producir en los análisis son función de las características del pozo, principalmente de su profundidad, y de las características del acuífero.

El muestreo de las aguas de lluvia se debe realizar al comienzo de la precipitación, pues en estas primeras aguas se produce el arrastre de los poluctantes de la atmósfera.

Por otro lado cuanto menor sea el tiempo transcurrido entre la toma y el análisis de la muestra mayor será la fiabilidad de los datos analíticos.

7) Análisis de las muestras

Una vez obtenidas las muestras, se debe elegir un método de análisis. Las tres etapas de que se componen los análisis en la gran mayoría de los materiales son:

- preparación de la muestra
- digestión o extracción de las sustancias a determinar
- determinación

En las muestras de agua las dos primeras fases no son necesarias pues los componentes a determinar ya se encuentran disueltos en ella.

.../...

Las muestras de plantas por el contrario precisan de una etapa anterior que es su incineración, siendo el resto del proceso similar al de suelos y sedimentos.

En suelos y sedimentos la primera etapa incluye el secado, la disgregación y el tamizado. La segunda etapa consiste en la liberación de elementos traza en disolución, bien sea por extracción parcial o completa.

De aquí se pasa a la determinación, cuyos métodos son generales para las distintas muestras. Esta puede realizarse por colorimetría, espectrofotometría de absorción atómica (AAS) o por espectroscopía de emisión de plasma (ICP-ES). Alternativamente la muestra tamizada se podría analizar directamente por fluorescencia de rayos X (XRF) o espectroscopía de emisión DC-arc (DC-ES).

8) Interpretación de los resultados.

Evaluación de la incidencia de la contaminación atmosférica en la calidad de las aguas subterráneas.

En esta fase, a la vista de los resultados de los análisis, se define la situación actual del acuífero. Para extraer las conclusiones que se deriven del estudio, se deberá tener en cuenta el papel o función que desempeñan los materiales geológicos suprayacentes al acuífero.

Un terreno alcalino, como es el caso de los terrenos calizos, puede fácilmente neutralizar la acidez de los fluidos percolados de la lluvia ácida, anulando sus efectos.

.../...

Si el terreno es algo ácido, típico de los bosques de coníferas europeos y norteamericanos asentados sobre materiales ígneos, los procesos motivados por la lluvia ácida pueden ser compensados por dos acciones: en primer lugar el ácido puede ser inmovilizado debido a la retención de los iones sulfato y nítrico, y por otro lado, puede ocurrir que el terreno tenga capacidad, por ejemplo por tener un elevado contenido en arcillas, para realizar un intercambio de cationes que termine por neutralizar el ácido. De esta forma estos terrenos podrían contener en su estructura algunos iones emitidos por el foco contaminante.

Los terrenos con marcado carácter ácido no tienen defensas contra la lluvia ácida, pudiendo llegar las aguas subterráneas y superficiales, a tener pH inferiores a 3. Dichas aguas frecuentemente aumentan en concentración de cationes como aluminio, hierro, magnesio, potasio o calcio lixiviados al percolar los fluidos ácidos por las rocas.

Estas consideraciones ayudan a interpretar los resultados de los ensayos realizados, a la luz de los datos obtenidos durante el desarrollo del estudio, y deben de ser considerados junto con las condiciones del medio físico, características de los acuíferos, de los focos contaminantes, a la hora de establecer el grado de contaminación de las aguas y los mecanismos por medio de los cuales los elementos vertidos a la atmósfera pasan a incorporarse a ellas.

.../...

9) **Segunda campaña de toma de muestras.**

Acabada la toma de muestras realizada en la primera campaña, se procederá, en las fechas que se hallan establecido en la planificación del proyecto, a realizar la segunda campaña, repitiéndose el proceso de ajuste de la red de toma de muestras y de análisis e interpretación de los resultados.

10) **Resumen y conclusiones.**

A la vista de los trabajos realizados y a los resultados obtenidos, se extraerán las conclusiones que se deriven del estudio, y se establecerán las recomendaciones para paliar los impactos negativos detectados y para la protección y defensa de los acuíferos.

- Confección de modelos de funcionamiento.

Al objeto de facilitar la interpretación de los resultados del estudio y posibilitar su extrapolación a condiciones distintas a las existentes en el período de desarrollo, deben de confeccionarse, siempre que sea posible, modelos conceptuales del funcionamiento de los mecanismos de contaminación de los acuífero, y en su caso, modelos matemáticos que simulen los procesos y faciliten el tratamiento de los datos.

10.- BIBLIOGRAFIA.

10.- BIBLIOGRAFIA

- Alberto, L.J., Pena, J.C., Regil J.A. (1980)
"Estudio piloto de los impactos medioambientales
producidos por los efluentes temperados de una Central
Térmica y su aprovechamiento experimental"
Inédito.

- Alina Kabata-Pendias, Henryk Pendias
Trace Elements in soils and plants CRC Press, Inc.
Boca Ratón, Florida.

- Armegol, J. (1984)
"Impacto en el medio acuático"
Inédito.

- Asensi Sempere, J.C.
"Evaluación de emisiones industriales a la atmósfera.
Aplicación al caso de Valencia".
Química e Industria. Vol. 30 núm. 12. Diciembre 1984. pag.
833-836.

- Atlas Agroclimático Nacional de España.
Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid,
1986.

.../...

- Calvert, J.G et. alt.
"Chemical mechanisms of acid generation in the tropo
sphere"
Nature. vol 317. sep. 5. 1985. 9 pp.

- Canter, L.W. (1986)
"Acid rain and dry deposition"
Lewis Publishers, Inc.

- Cresser, M., Edwards, A. (1987)
"Acidification of freshwaters".
Cambridge University Press.

- Cronan, C.S., Schofiezd, C.L.
Science 1979, 202 pg. 304-306.

- Diaz Caneja, F (1984)
"Regulación anticontaminante en las centrales de fuel y
carbón".
Inédito.

- Esteban Bolea, T (1984)
"Evaluación del impacto ambiental". Ed. Mapfre S.A.

- European teacher's seminar on "Acidification of soil and water Field studies".
Strasbourg, 1987.

- Ferrer Puig, M., Sans Rabellat, C.
"Control de la contaminación atmosférica de origen industrial.
Evaluación por métodos directos de las emisiones difusas de partículas sólidas".
Ingeniería Química. Junio 1987. pag. 105-109.

- Fletcher, W.K. (1983)
Analytical Methods in Geochemical Prospecting
Elsevier.

- Font Tullot, I. (1983)
"Climatología de España y Portugal"
Instituto Nacional de Meteorología.

- Homer D. Chapman, Parker F. Pratt (1973)
"Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas"
Ed. Trillas.

- IGME
"Mapa de orientación al vertido de residuos sólidos urbanos. Castellón de la Plana".

- IGME (1981)
"Problemática de las aguas subterráneas en la provincia de Castellón de la Plana".
Colección Informe

- IGME
"Calidad de las aguas subterráneas en la cuenca media y baja del río Júcar.
Colección informe.

- IGME
Inventario de puntos de agua del acuífero n° 56.
Sierra del Espadán y Plana de Castellón-Sagunto.

- IGME
"Mapa Geológico de España. Castellón de la Plana e Islas Columbretes".

- INYPSA (1986)
"Red de vigilancia de Centrales Térmicas. Análisis de Situación y propuesta de actuación". Inédito.

.../...

- IVIA
Memoria de Actividades 84-85.

- Jiménez Beltrán, D. Sanz J.M. (1984)
"Control medioambiental de Centrales Térmicas. Situación y perspectivas.
Inédito.

- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (1986)
"Mapa de Cultivos y Aprovechamientos de la Provincia de Castellón"

- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (1984)
"Mapa de Cultivos y Aprovechamientos de la Provincia de Valencia".

- Molina Martín, M (1984)
"Proyecto ENMA. Energía y medio ambiente"
Inédito.

- Muñoz Camacho, E, et al.
"Medida de la contaminación atmosférica. Conceptos básicos y aspectos generales".
Ingeniería Química. Junio, 1986. pg. 85-92.

.../...

- Muñoz Camacho, E. et al.
"Medida de la contaminación atmosférica. Emisión y difusión"
Ingeniería Química. Julio, 1986. pg. 129-138.

- Nriagu, J.O., Davidson, C.I., (1986)
"Toxic metals in the atmosphere"
John Wiley & sons.

- Paz Castro, M, et al.
"Medida de la contaminación atmosférica. Legislación".
Ingeniería Química. Noviembre, 1986. pg. 169-175.

- Porras Martín, J., (1977)
Detección y observación de la contaminación.
Ciclo de Conferencias sobre "Contaminación de Aguas Subterráneas". C.I.F.C.A.

- Proceso de datos, análisis y aplicaciones de modelos de Centrales Térmicas para la detección de zonas potencialmente afectadas. Informe metereológico".
Inédito.

- Quereda Sala, J.J.
"El Clima de la Provincia de Castellón."
Excma Diputación Provincial de Castellón de la Plana.

- Ruza Tarrío, F., et al. (1986)
"Más Actual"
Aglo Ediciones S.A. Madrid

- Sánchez Sánchez, M. et al.
"Medida de la contaminación atmosférica. Determinación de gases".
Ingeniería Química. Agosto, 1986, pg. 79-86.

- Sánchez Sánchez, M., et al.
"Medida de la contaminación atmosférica. Determinación de partículas".
Ingeniería Química. Septiembre, 1986. pg. 115-122.

- Sánchez Sánchez, M., et al.
"Medida de la Contaminación atmosférica. Técnicas instrumentales".
Ingeniería Química. Octubre, 1986. pg. 97-107.

- Sancho Comins, J. (1982)
"Atlas de la provincia de Castellón de la Plana"
Editorial Confederación Española de Cajas de Ahorro.

- Soil Conservation Service U.S. Department of Agriculture
Washington D.C. USA.
Investigación de suelos. Métodos de laboratorio y procedimientos para recoger muestras.
Edit. Trillas México 1973.

- The Swedish State Power Board
"Final Report of the Coal-Health-Environment Project"
Stockholm, April 1983.

- Tora Galván, J.L., Durán López, A.
"Las Centrales Térmicas de carbón y el medio ambiente"
Industria Minera. Núm. 229. Junio 1983. pg. 27-68.

- Universidad Politécnica de Madrid (1981)
Tratado del Medio Natural.

- Usero, J., Gracia, I.
"Determinación de fuentes de emisión de partículas atmosféricas Revisión de métodos".
Ingeniería Química. Junio, 1987. pg. 99-103.

.../...

- Usero, J. Gracia, I.
"Determinación de fuentes de emisión de partículas atmosféricas. Caso práctico"
Ingeniería Química. Julio 1987. pg. 135-139.

- Varios autores (1978)
Medio Ambiente en España.
Dirección General de Acción Territorial y Medio Ambiente.

- Varios autores
"La Provincia de Castellón de la Plana. Tierras y Gentes".
Editorial Española de Cajas de Ahorro

- Varios autores (1978)
"Encuentros en Besicasim"
Universidad Politécnica de Valencia.

- Viras. L.G., Siskos, P.A.
"Determination of polycyclic aromatic hidrocarbons in Athens atmosphere"
Inédito.

ANEXO

Muestras de Vegetales Campaña 1.

punto	distancia (m)	vanadio (ppm)	niquel (ppm)	hierro (ppm)	aluminio (ppm)	magnesio (ppm)	manganeso (ppm)	cinc (ppm)	cobre (ppm)	cobalto (ppm)	titanio (ppm)	cromo (ppm)	molibdeno (ppm)	n° analisis (ppm)
1	990	4	16	0	1200	20500	86	176	600	3		1		13
2	4050	32	10	0			153	144	3	2		3		28
3	1570	8	10	0	600	17500	177	130	3	3		3		23
4	3880	6	10	0	1100	15600	140	290	65	2		2		14
5	3350	2	10	0	700	16700	149	140	65	2		2	9	15
6	680	7	10	0			104	180	90	1		3		16
7	610	8	10	0	700	25100	58	130	55			3		17
8	270	56	172	0	900	42000	460	160	8	1		8		18
9	890	11	10	0	500	14200	129	142	4			4	26	19
10	1690	15	10	0	2100	20700	322	281	10	2		10	7	20
11	2380	11	10	0	1400	14800	222	308	6	2		6		21
12	1360	14	10	0	1200	23600	185	166	5	2		5	6	22
13	3030		10	0	300	20100	180	175	3	2		3	14	26
14	1560	8	10	0		11800	86	124	3	2		3		25
15	3270	13	10	0			195	139	3	2		3		24
16	3890		10	0		15700	138	180	2	2		2		27

Muestras de Vegetales. Campaña 2

punto	distancia (m)	vanadio (ppm)	niquel (ppm)	hierro (ppm)	aluminio (ppm)	magnesio (ppm)	manganeso (ppm)	cinc (ppm)	cobre (ppm)	cobalto (ppm)	titanio (ppm)	cromo (ppm)	molibdeno (ppm)	n° analisis (ppm)
2	4050	5	12	1600	2200	14900		400	57	5	500	5	4	8
3	1570	3	8					126	67	5		3	4	1
6	680	10	9					190	94	5		8	4	2
9	890	3	6					155	80	5		1	4	3
13	3030	8	11	1600	1000	16700		178	63	5	200	5	4	4
14	1560	8	6	1600	2300	13200		200	339	5	400	4	4	5
15	3270	5	4	1700	1600	15400		156	53	5	200	2	4	6
16	3890	5	3	1300	1300	12100		296	69	5	300	3	4	7

Muestras de suelos Campaña 1 (20 cm profundidad)

Unidad: p.p.m.

Punto	8	7	6	9	1	12	14	3	10	11	13	15	5	4	16	2
Distancia (m)	270	610	680	890	990	1360	1560	1570	1690	2380	3030	3270	3350	3880	3890	4050
Vanadio	45000	52	59	154	55	44	51	47	55	39	56	46	34	38	44	31
Níquel	59600	21	23	79	21	16	23	17	22	19	20	14	15	14	13	9
Hierro	54800	25800	29600	35500	27100	24500	21000	26700	19800	21000	28100	19200	25400	26100	20500	21500
Aluminio	5600	38800	43900	46100	41800	39100	42300	39000	38900	33100	39300	40900	33500	33900	41500	34100
Magnesio	350000	10400	11000	10400	10700	9700	9000	9500	10100	8400	10700	8500	9800	9500	8900	9110
Manganeso	482	425	494	452	437	391	432	342	341	311	381	417	267	307	438	331
Cinc	208	114	75	75	78	106	59	74	85	113	89	65	74	64	60	65
Cobre	17	25	21	22	28	22	17	15	20	12	22	19	11	10	17	108
Cobalto	127	4	4	5	4	4	5	3	3	3	4	5	2	4	5	4
Titanio		1800	1900	2000	1500	1900	1800	1800	1800	1200	1500	1300	1400	1600	1700	1400
Cromo	509	57	51	61	53	58	52	55	55	52	61	56	49	48	48	54

Muestras de suelos Campaña 1 (40 cm profundidad)

Unidad: p.p.m.

Punto	1	2	13	14	15	16
Distancia (m)	990	44050	3030	1560	3270	3890
Vanadio	55	32	47	48	47	43
Níquel	21	8	21	20	13	12
Hierro	34000	22800	24600	24100	27800	16700
Aluminio	43100	35500	41500	41800	42000	42100
Magnesio	11300	8900	10300	8700	8300	8300
Manganeso	432	338	381	420	416	456
Cinc	68	52	72	56	56	57
Cobre	23	16	19	15	16	16
Cobalto	4	3	4	4	5	5
Titanio	1600	1200	1700	1400	1800	1700
Cromo	64	52	50	46	50	52
Molibdeno					5	5

Muestras de agua. Campaña 2.

Punto	Inv.ITGE	DQO(x10)	Cl	SO4	HCO3	CO3	NO3	Na	Mg	Ca	K	PH	Cond20°C	RS110°C	WO2(x100)	WH4	F	PO2(x100)
1	29253002	8	76	575	271	0	2	56	62	216	3	7,4	1405	1212	0	0	0	8
3	29264035	6	48	241	244	0	32	22	45	135	3	7,6	950	693	1	0	0	5
4	29264043	8	228	290	280	0	70	107	70	174	6	7,8	1783	1242	6	0	0	6
5	29264044	8	16	44	216	0	12	9	27	55	2	7,8	479	373	0	0	0	22
6	29267038	6	24	277	230	0	21	16	42	141	3	7,6	922	718	0	0	0	6
8	29268001	7	246	640	328	0	200	88	114	305	4	7,2	2180	1987	0	0	0	4
14	30246006	6	83	230	203	0	61	51	44	120	2	8,1	1034	724	0	0	0	5
15	30247001	8	710	322	236	0	68	333	74	190	9	7,4	2850	2154	0	0	0	4
16	30247011	7	280	316	230	0	94	131	59	195	4	7,7	1809	1414	0	0	0	5
17	30247029	11	765	181	267	0	94	360	93	152	10	8,0	3000	2268	0	0	0	2
19	30251016	4	112	625		0	424	76	114	320	3	7,2	2310	1940	0	0	0	4
20	30251026	4	50	250	187	0	49	29	40	129	2	8,0	934	715	0	0	0	5
21	30252005	11	66	255	243	0	235	61	54	173	2	7,4	1305	1026	0	0	0	8
23	30252039	7	50	231	225	0	60	51	41	118	2	7,5	967	726	0	0	0	7
26	30255039	6	169	646	302	0	262	97	98	300	4	7,3	2090	1922	0	0	0	6
27	30255040	5	93	484	322	0	186	56	90	226	3	7,4	1694	1478	1	0	0	7
30	30256012	6	71	350	290	0	140	54	60	196	2	7,3	1330		0	0	0	8
33	30253010	7	99	400	303	0	138	76	61	214	5	7,3	1490	1125	0	0	0	8
34	302530	5	67	466	278	0	160	55	64	232	3	7,3	1520	1010	0	0	0	4
35	302610	6	231	179	233	0	143	62	65	175	3	7,4	1478	952	0	0	0	5
36	30261	10	940	620	262	0	104	286	202	240	8	7,2	4140	3897	0	0	0	5
lluv 4-4			13	18	25	0	2	4	0	20	1	69	140		0	0	0	38
lluv 10-4			14	330	24	0	17	4	53	28	2	66	694		18	1104	0	37
lluv 25-4		19	16	128	12	0	2	4	24	5	1	64	366	320	0	384	0	7

Muestras de agua. Campaña 2. Continuación

Fe(x100)	Mn(x100)	Cu(x100)	Zn(x100)	Pb(x1000)	Cr(x1000)	Ni(x1000)	Cd(x1000)	As	Se	Al	CH	SiO2	Mg	V(x10)	Ti(x10)	Co	Mo(x100)
3	11	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	8,7	0	0	0	0	0
0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	8,7	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,2	0	0	0	0	0
0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	8,0	0	0	0	0	0
2	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	7,9	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12,1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,9	0	0	0	0	0
0	0	0	5	0	0	0	10	0	0	0	0	9,6	0	0	0	0	0
0	0	0	6	0	6	0	0	0	0	0	0	10,0	0	0	0	0	0
0	0	0	9	0	7	0	0	0	0	0	0	11,9	0	0	0	0	0
0	7	0	0	11	0	0	1	0	0	0	0	21,4	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,7	0	0	0	0	141
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,6	0	0	0	0	65
3	0	0	5	0	0	120	0	0	0	0	0	10,5	0	0	0	0	0
1	0	0	0	11	5	0	0	0	0	0	0	15,3	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	11,4	0	5	0	0	0
0	0	0	0	37	0	0	0	0	0	0	0	12,3	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	12,9	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	10,2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11,7	0	0	0	0	0
2	5	0	0	30	5	0	0	0	0	0	0	12,2	0	0	0	0	0
Muestras de agua de lluvia																	
2	9	0	202	48	0	0	0			0		0,6		0	0	0	0
7	17	5	11100	49	0	1	0			0		0,9		0	0	0	0
2	10	0	5600	20	0	0	0			0	0	0		0	0	0	0

Muestras de agua. Campaña 1. Continuación

Fe(x100)	Mn(x1000)	Cu(x100)	Zn(x100)	Pb(x1000)	Cr(x1000)	Ni(x1000)	Cd(x1000)	As	Se	Al	CH	SiO2	Mg	V(x10)	Ti(x10)	Co	Mo(x100)
0	5	4	6	0	0	0	0	0	0	0	0	8,3	0	< 5	< 5	< 1	< 1
0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11,9	0	< 5	< 5	< 1	< 1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,0	0	< 5	< 5	< 1	< 1
0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,6	0	< 5	< 5	< 1	< 1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,8	0	< 5	< 5	< 1	< 1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,8	0	< 5	< 5	< 1	< 1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,7	0	< 5	< 5	< 1	< 1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11,9	0	< 5	< 5	< 1	< 1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,1	0	< 5	< 5	< 1	< 1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,8	0	< 5	< 5	< 1	< 1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11,7	0	< 5	< 5	< 1	< 1
0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	16,6	0	< 5	< 5	< 1	< 1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16,6	0	< 5	< 5	< 1	< 1
0	0	7	9	0	0	0	0	0	0	0	0	10,8	0	< 5	< 5	< 1	< 1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,8	0	< 5	< 5	< 1	< 1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,2	0	< 5	< 5	< 1	< 1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,1	0	< 5	< 5	< 1	< 1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,0	0	< 5	< 5	< 1	< 1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11,0	0	< 5	< 5	< 1	< 1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20,4	0	< 5	< 5	< 1	< 1
0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	7,6	0	< 5	< 5	< 1	< 1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,9	0	< 5	< 5	< 1	< 1
0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,5	0	< 5	< 5	< 1	< 1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,4	0	< 5	< 5	< 1	< 1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,3	0	< 5	< 5	< 1	< 1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,8	0	< 5	< 5	< 1	< 1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14,8	0	< 5	< 5	< 1	< 1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11,1	0	< 5	< 5	< 1	< 1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,3	0	< 5	< 5	< 1	< 1
0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	11,2	0	< 5	< 5	< 1	< 1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12,0	0	< 5	< 5	< 1	< 1
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,3	0	< 5	< 5	< 1	< 1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20,5	0	< 5	< 5	< 1	< 1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12,4	0	< 5	< 5	< 1	< 1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,1	0	< 5	< 5	< 1	< 1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11,5	0	< 5	< 5	< 1	< 1
75	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11,7	0	< 5	< 5	< 1	< 1

Gráfico 1. Suelos.

Campaña 1. Profundidad 20 cm.

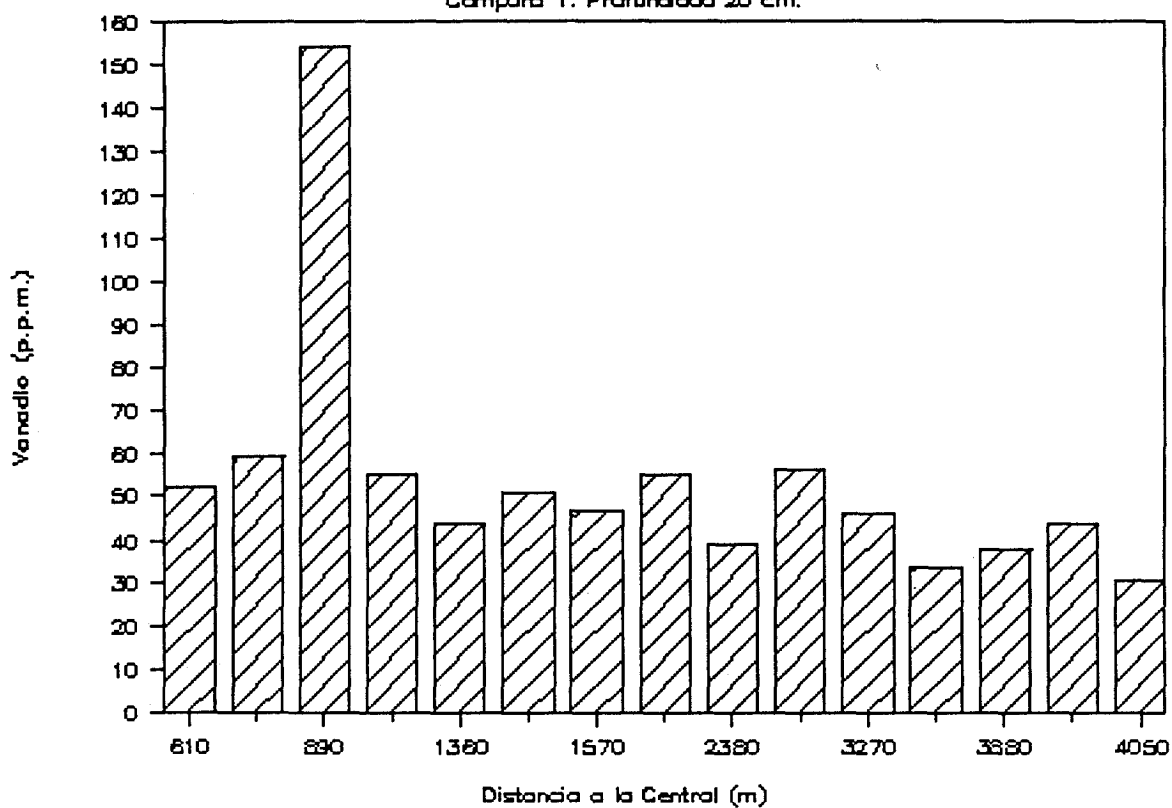


Gráfico 2. Suelos.

Campaña 1. Profundidad 20 cm.

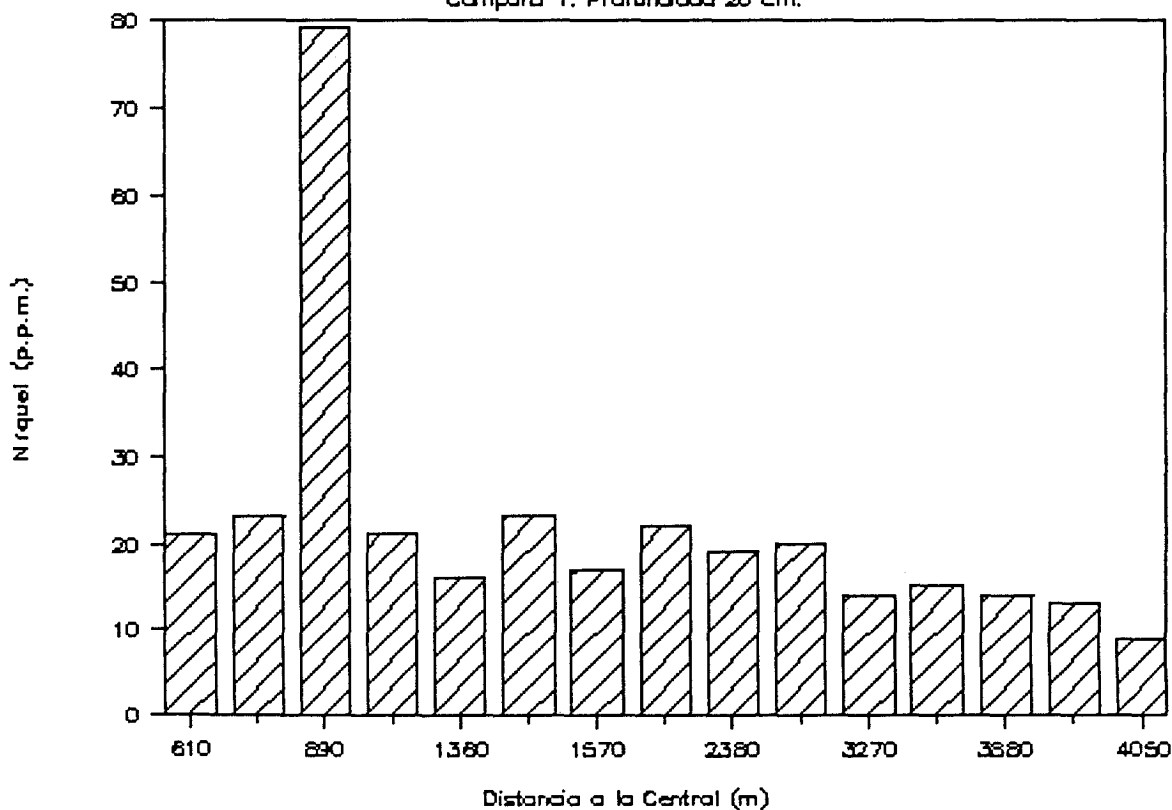


Gráfico 3. Suelos.

Campaña 1. Profundidad 20 cm.

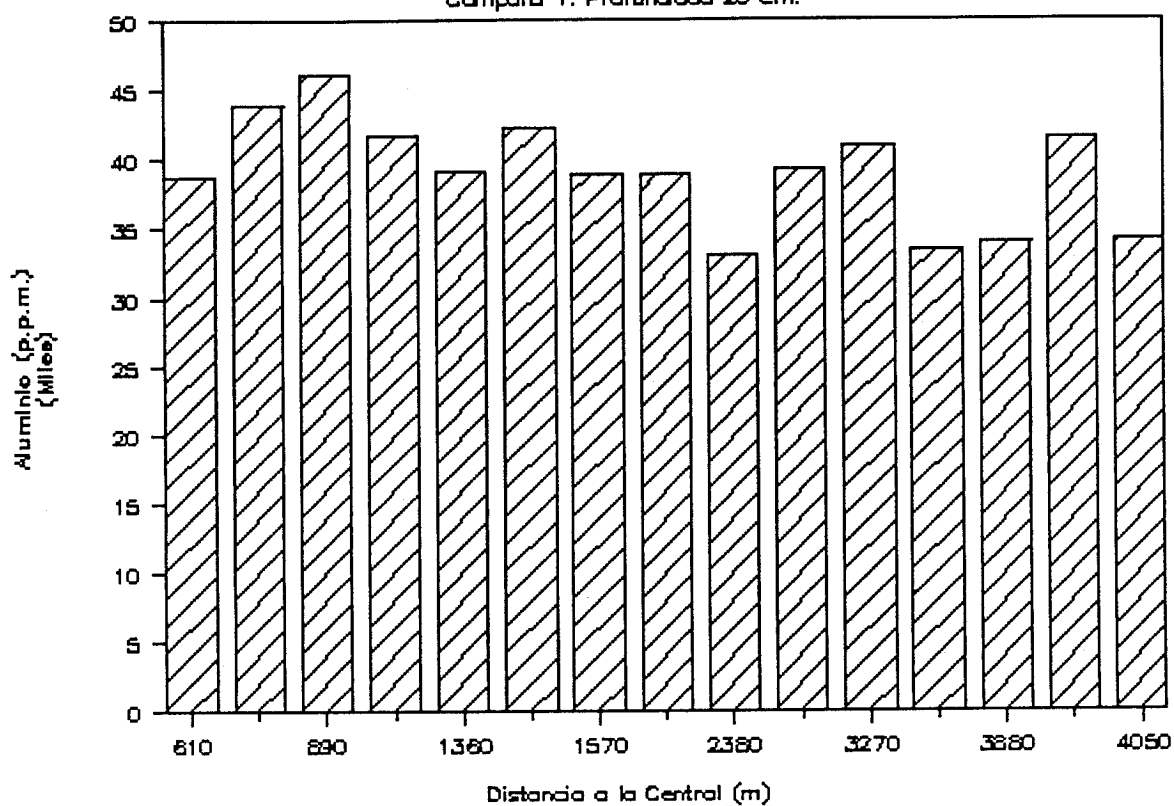


Gráfico 4. Suelos.

Campaña 1. Profundidad 20 cm.

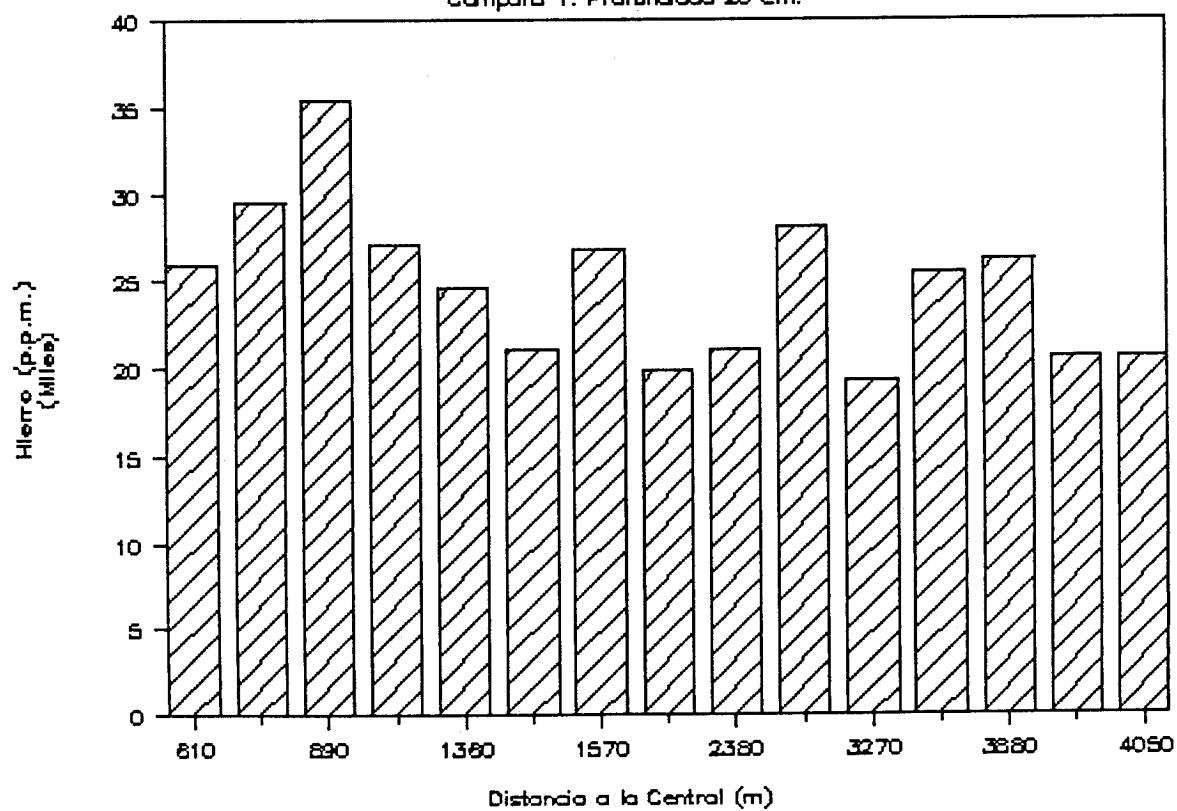


Gráfico 5. Suelos.

Campaña 1. Profundidad 20 cm.

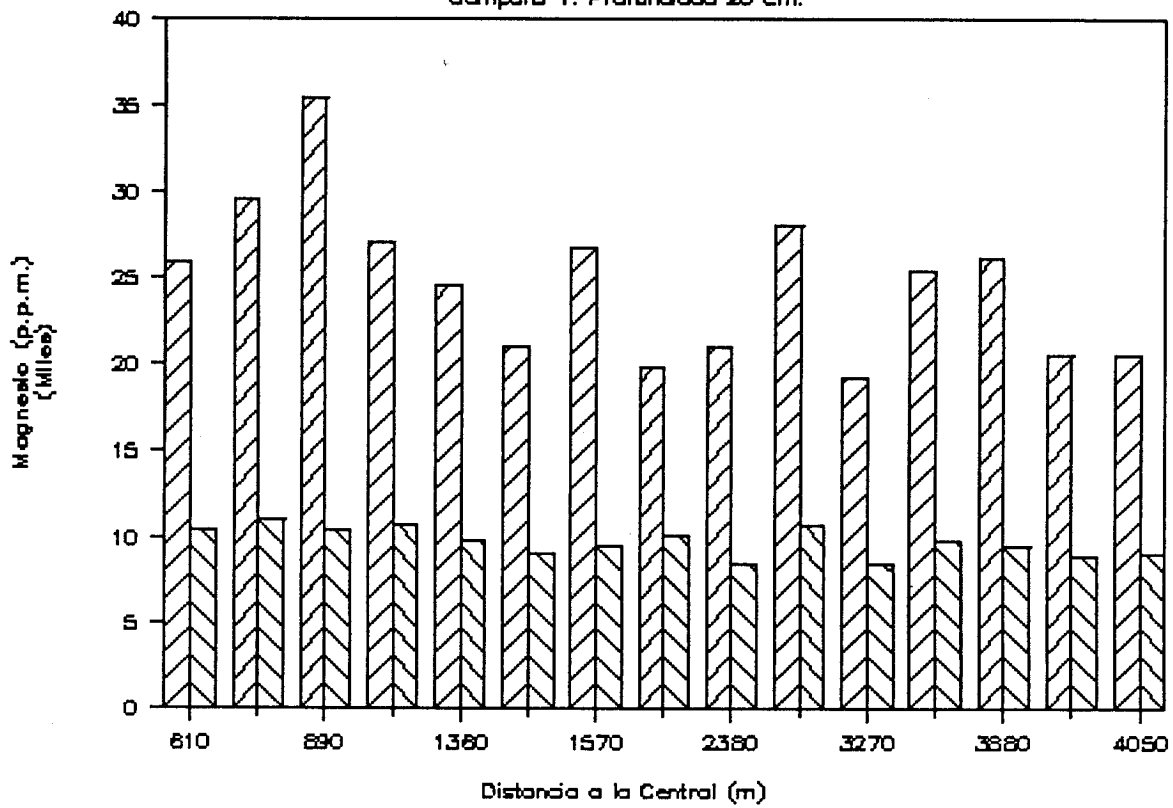


Gráfico 6. Muestras de suelos

Campaña 1. Profundidad 40 cm.

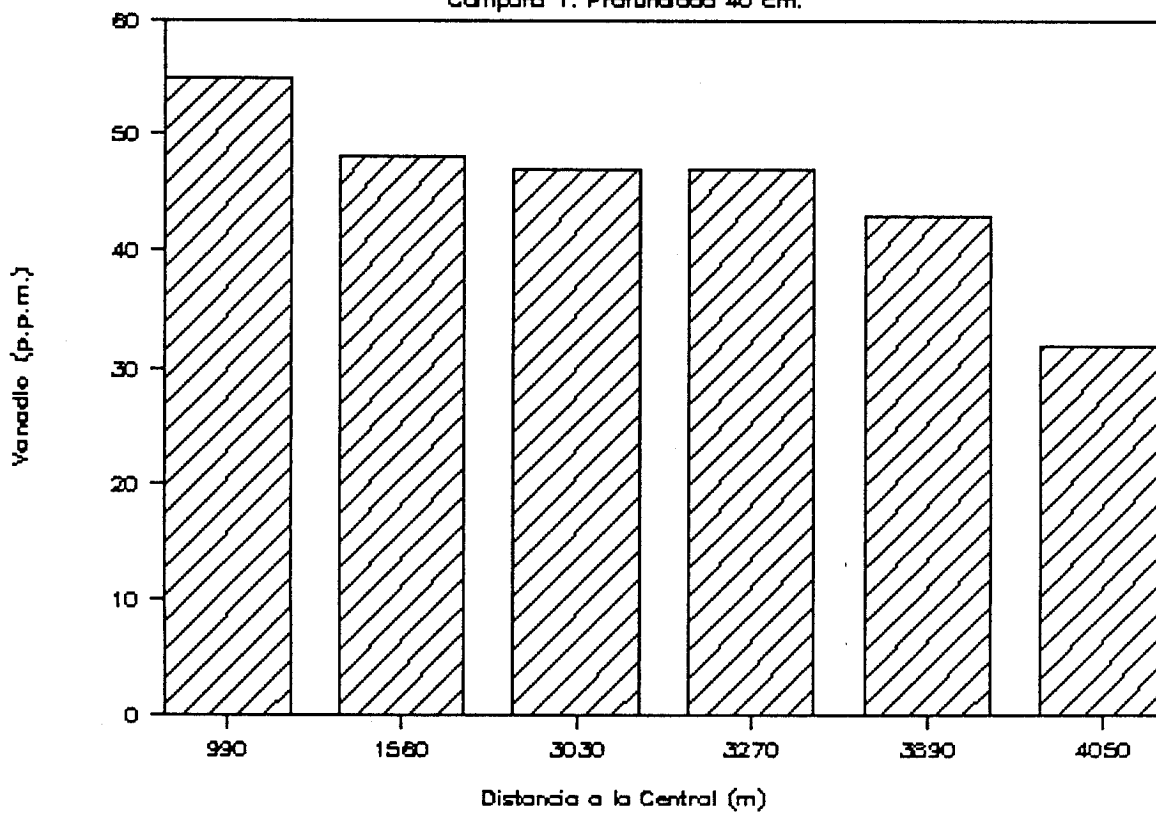


Gráfico 7. Muestras de suelos

Campaña 1. Profundidad 40 cm.

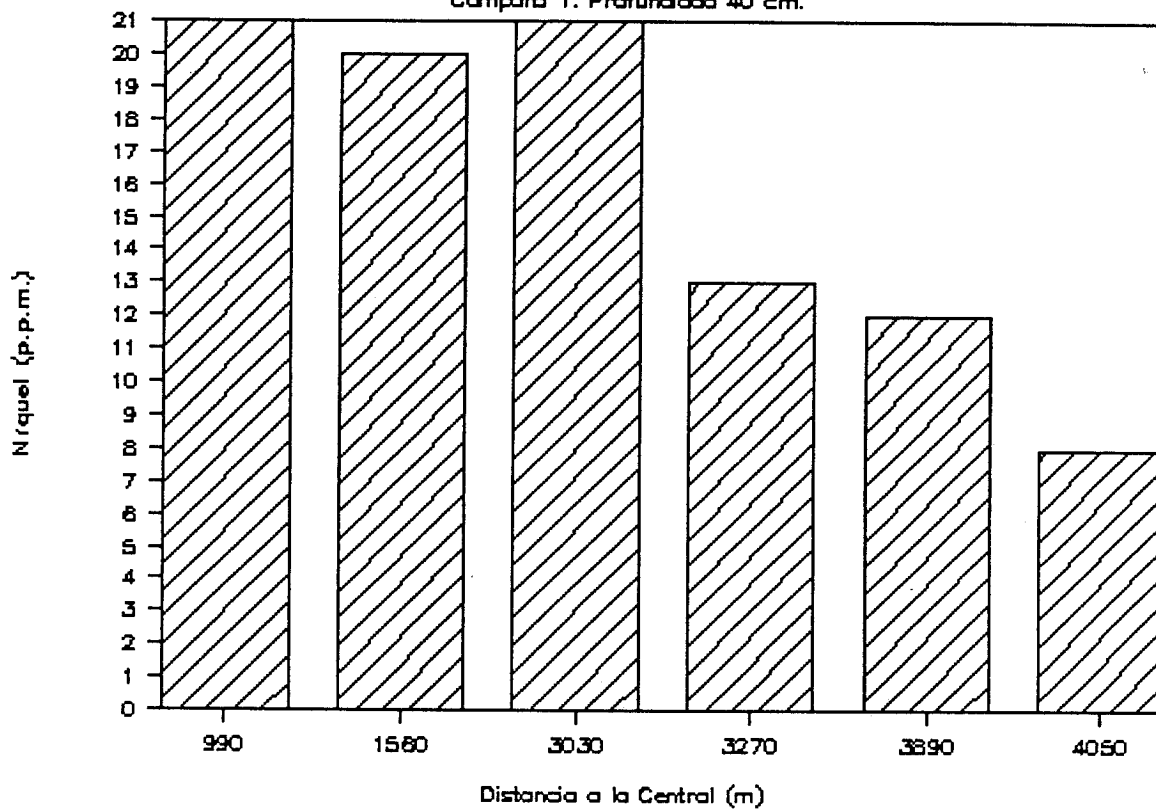


Gráfico 8. Muestras de suelos

Campaña 1. Profundidad 40 cm.

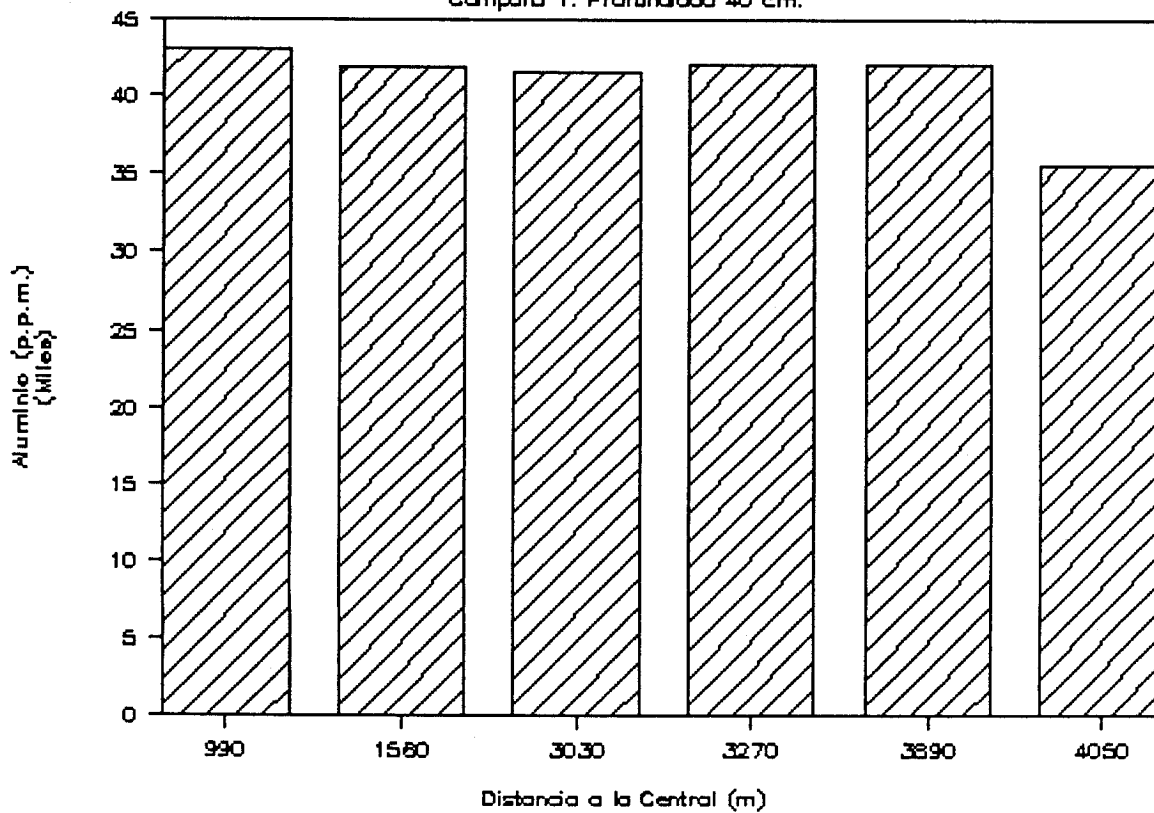


Gráfico 9. Muestras de suelos

Campaña 1. Profundidad 40 cm.

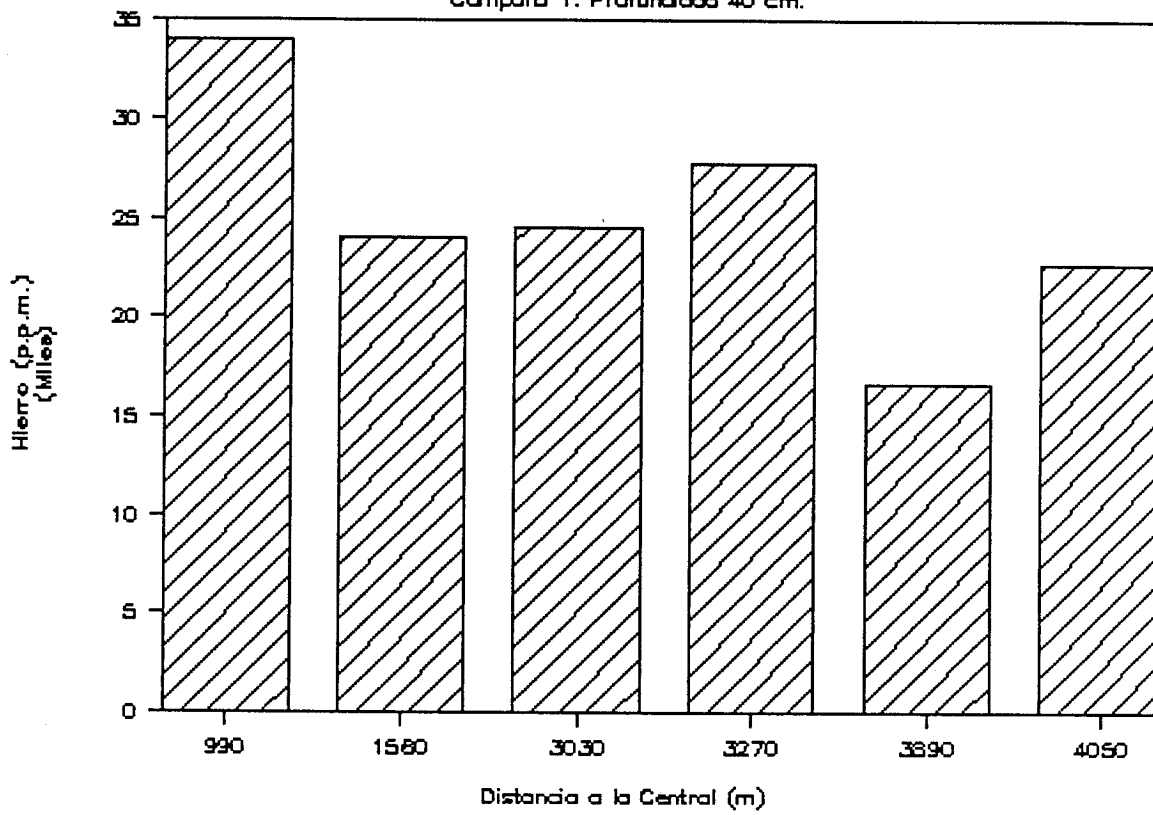


Gráfico 10. Muestras de suelos

Campaña 1. Profundidad 40 cm.

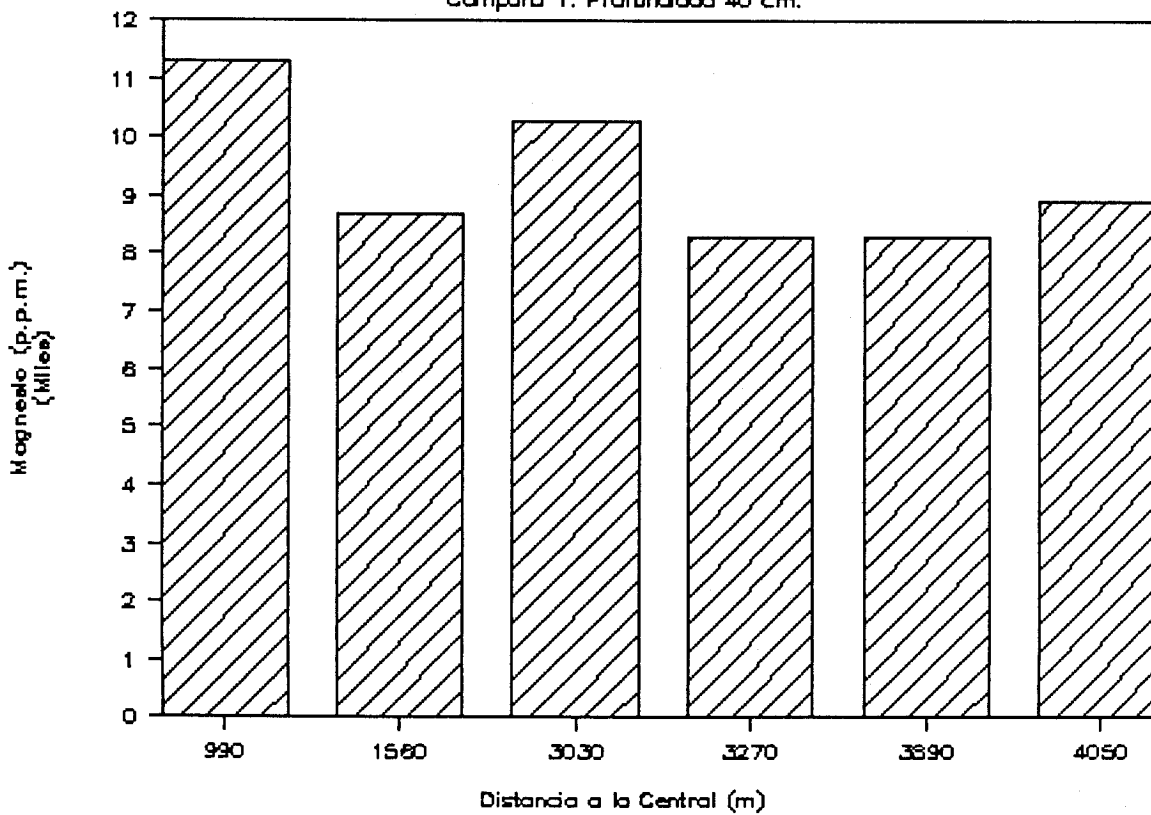


Gráfico 11. Muestras de suelos.

Campaña 2. Profundidad 20 cm.

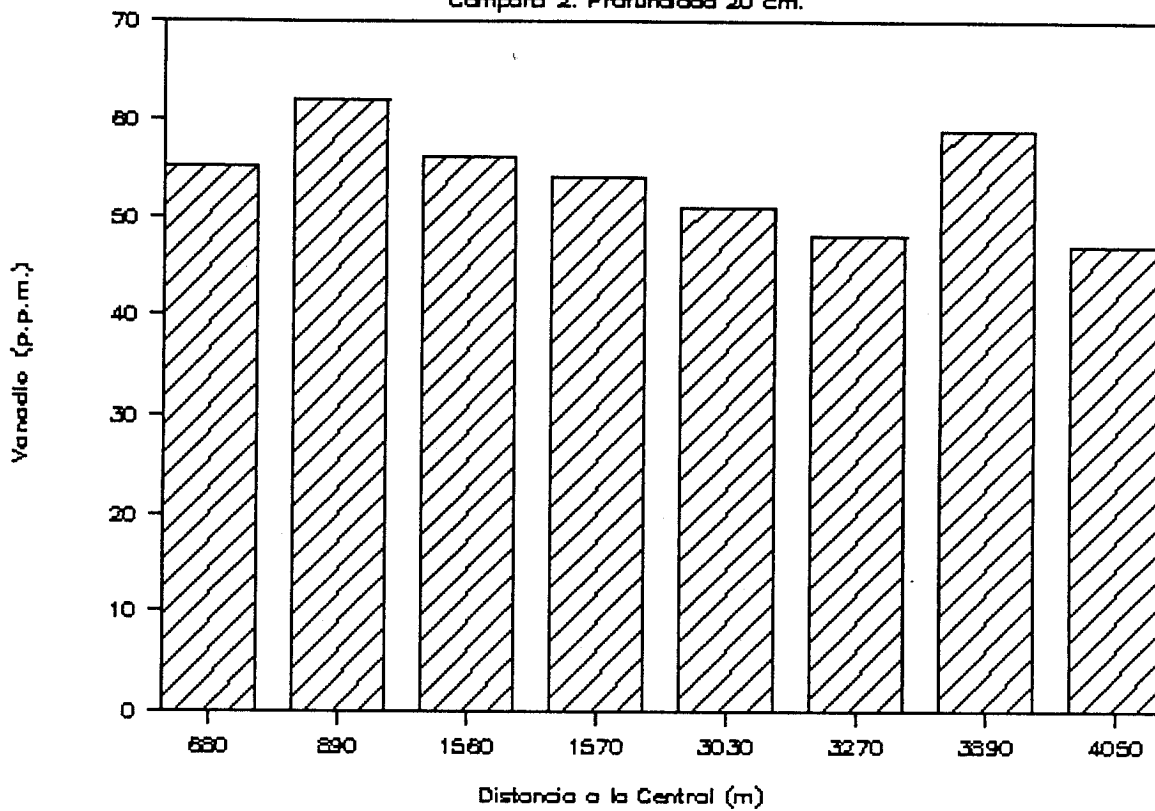


Gráfico 12. Muestras de suelos.

Campaña 2. Profundidad 20 cm.

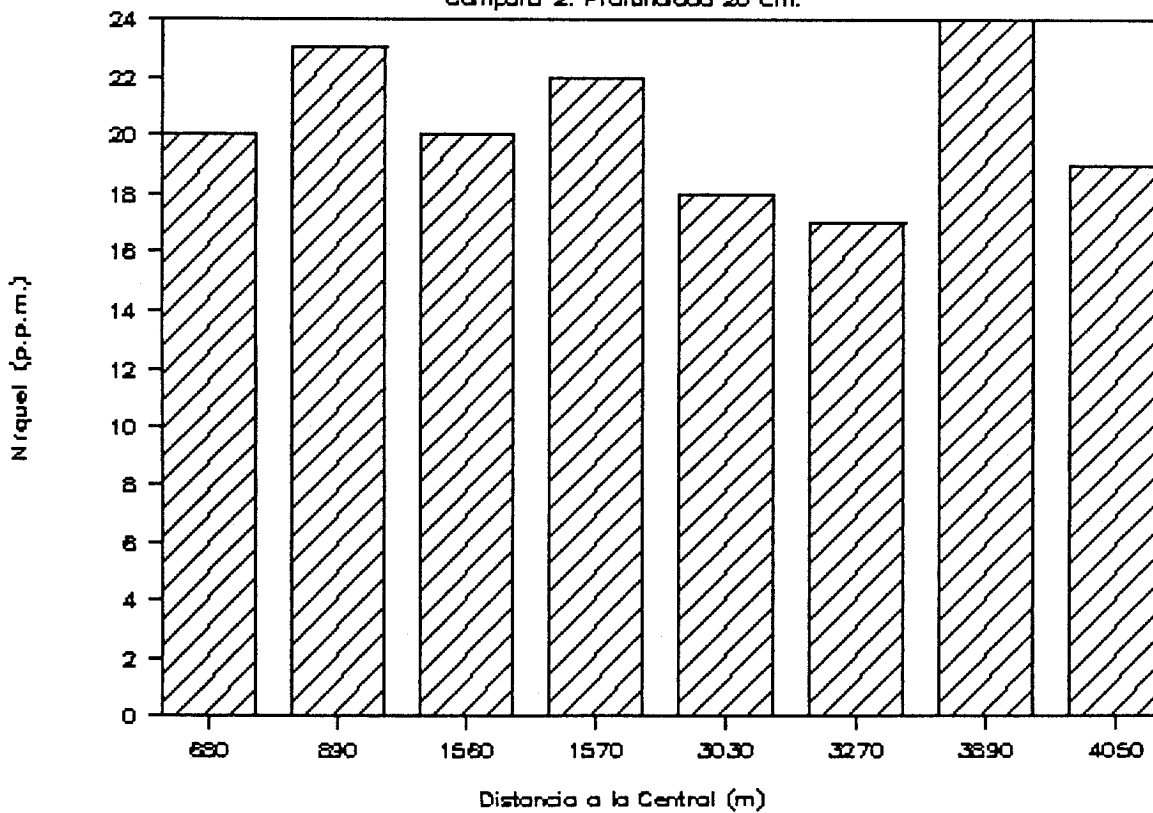


Gráfico 13. Muestras de suelos.

Campaña 2. Profundidad 20 cm.

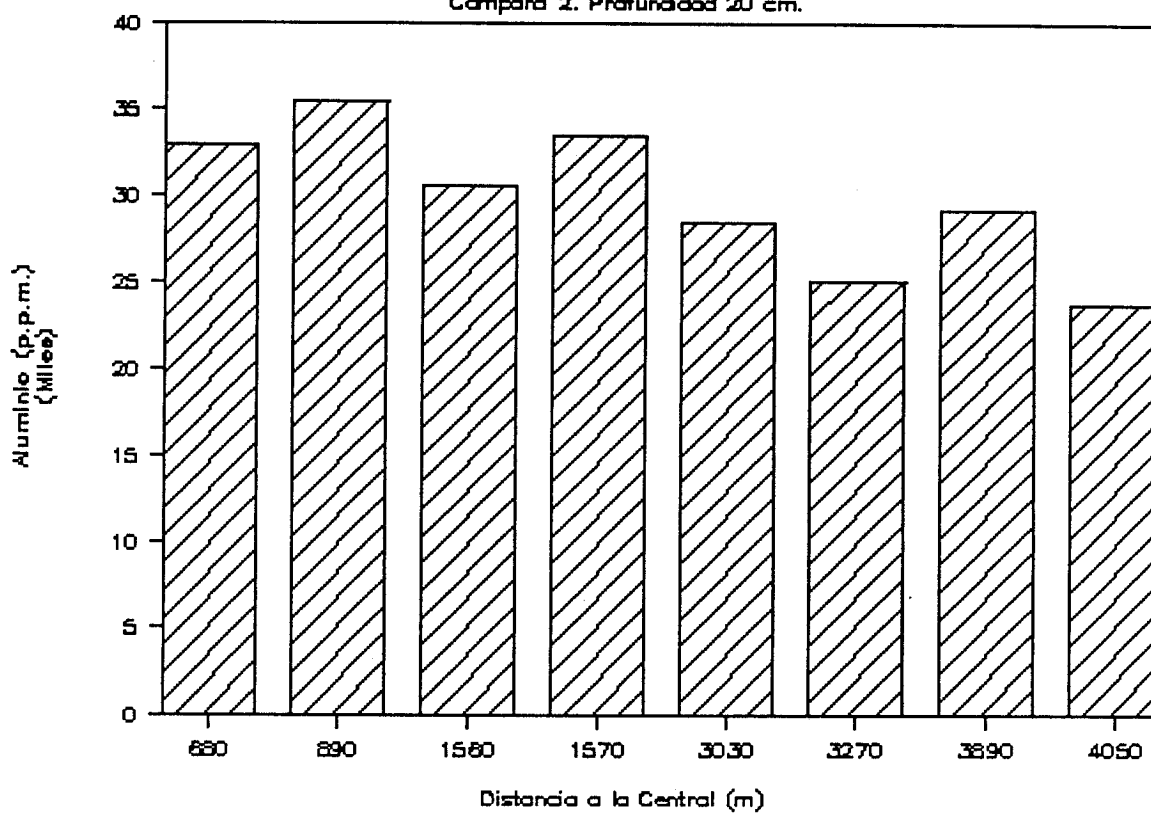


Gráfico 14. Muestras de suelos.

Campaña 2. Profundidad 20 cm.

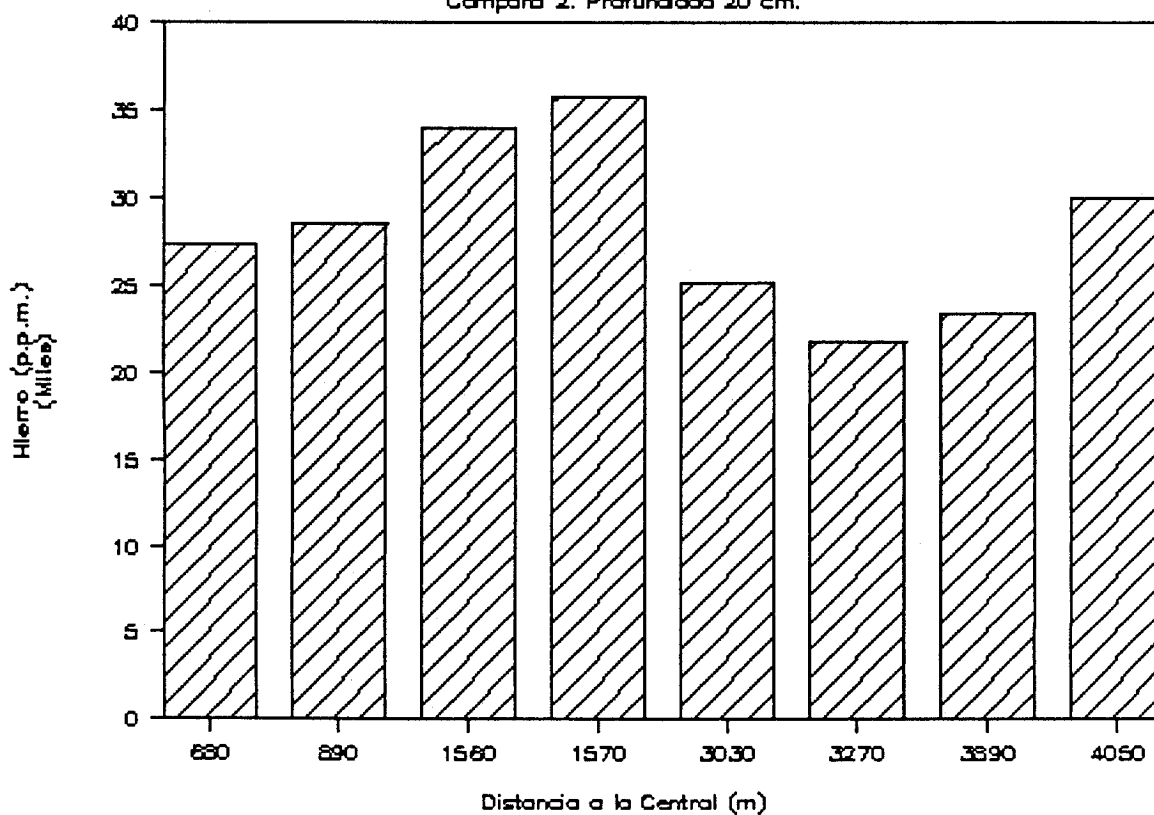


Gráfico 15. Muestras de suelos.

Campaña 2. Profundidad 20 cm.

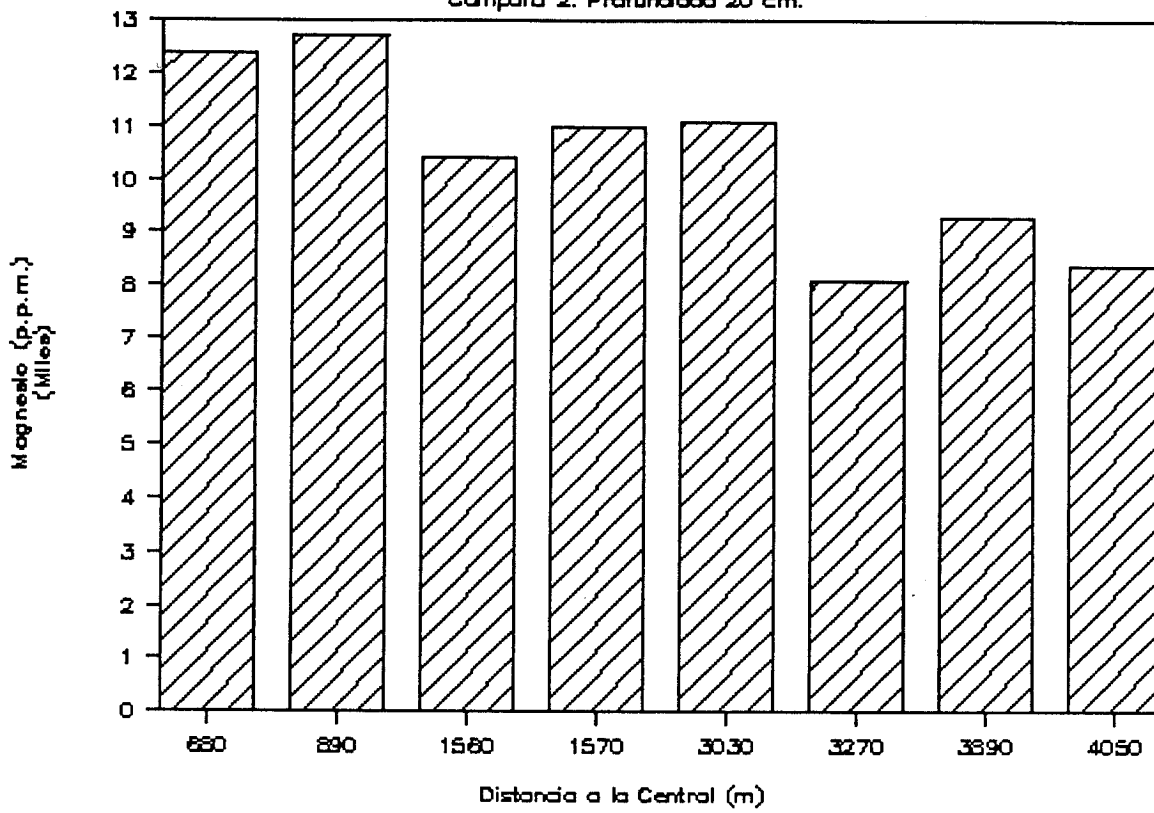


Gráfico 16. Muestras de suelos.

Campaña 2. Profundidad 40 cm.

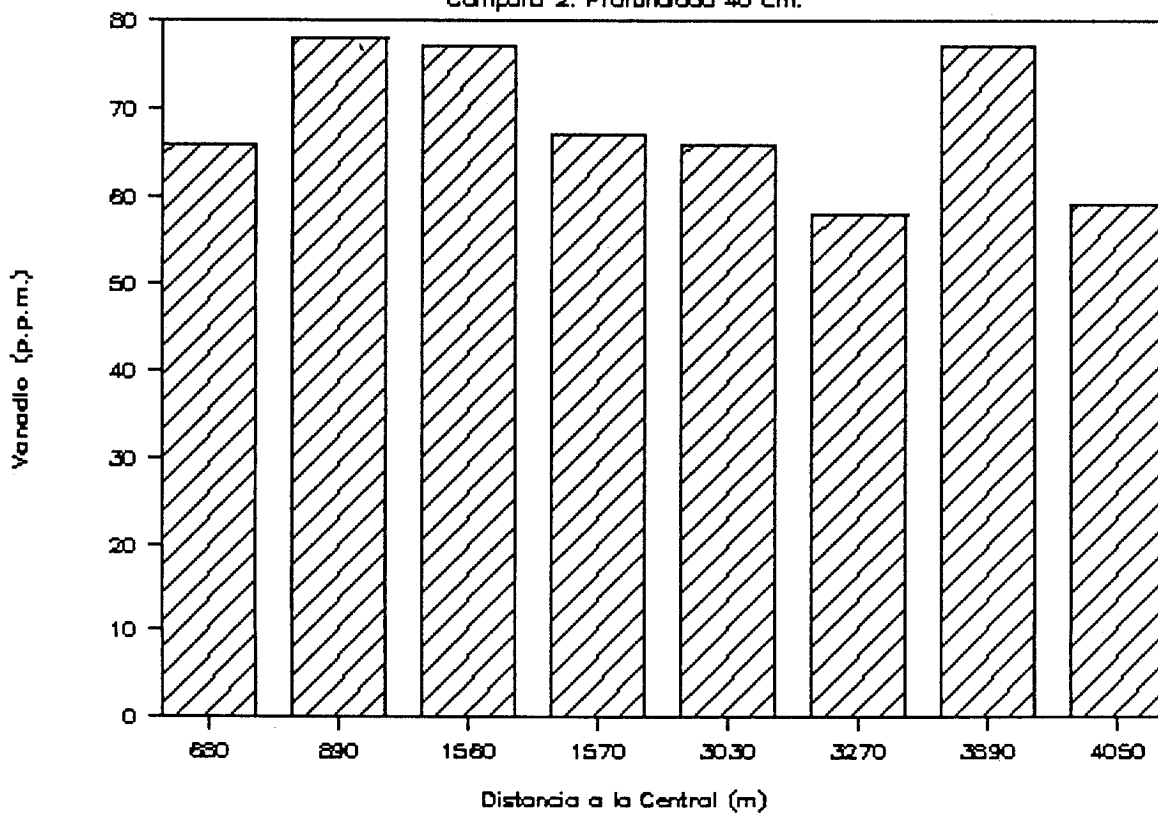


Gráfico 17. Muestras de suelos.

Campaña 2. Profundidad 40 cm.

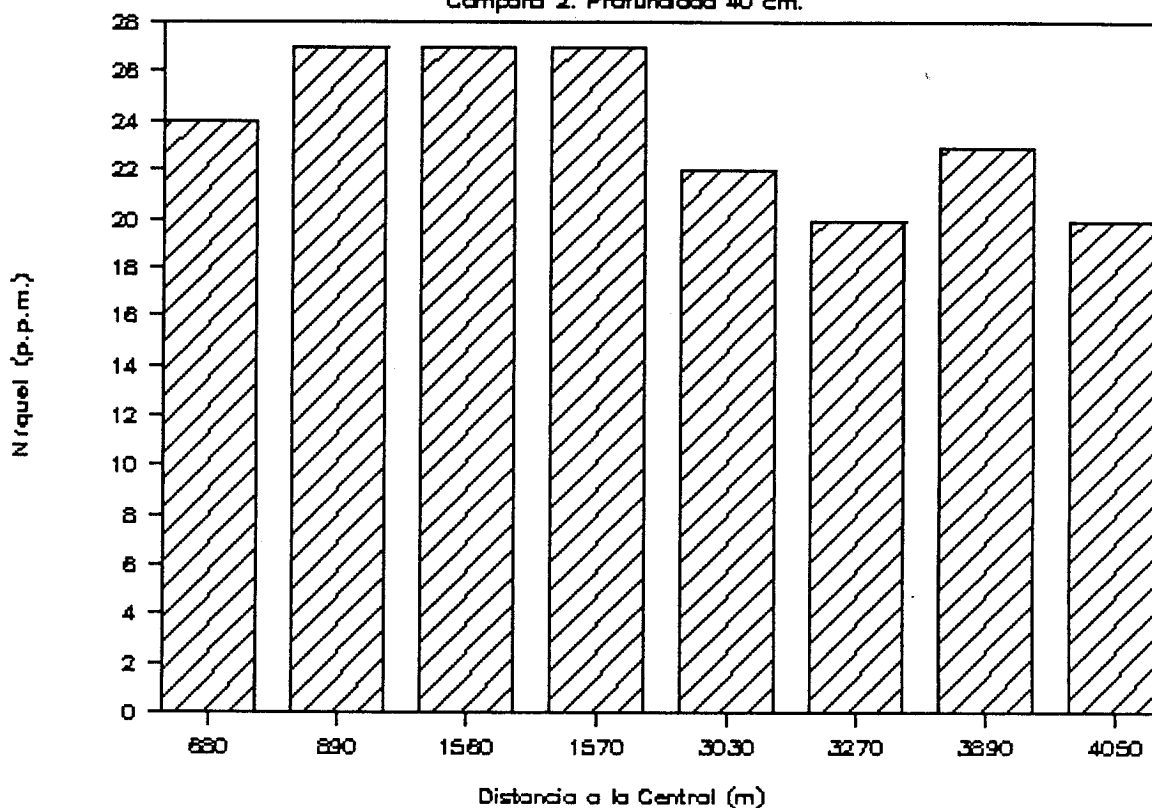


Gráfico 18. Muestras de suelos.

Campaña 2. Profundidad 40 cm.

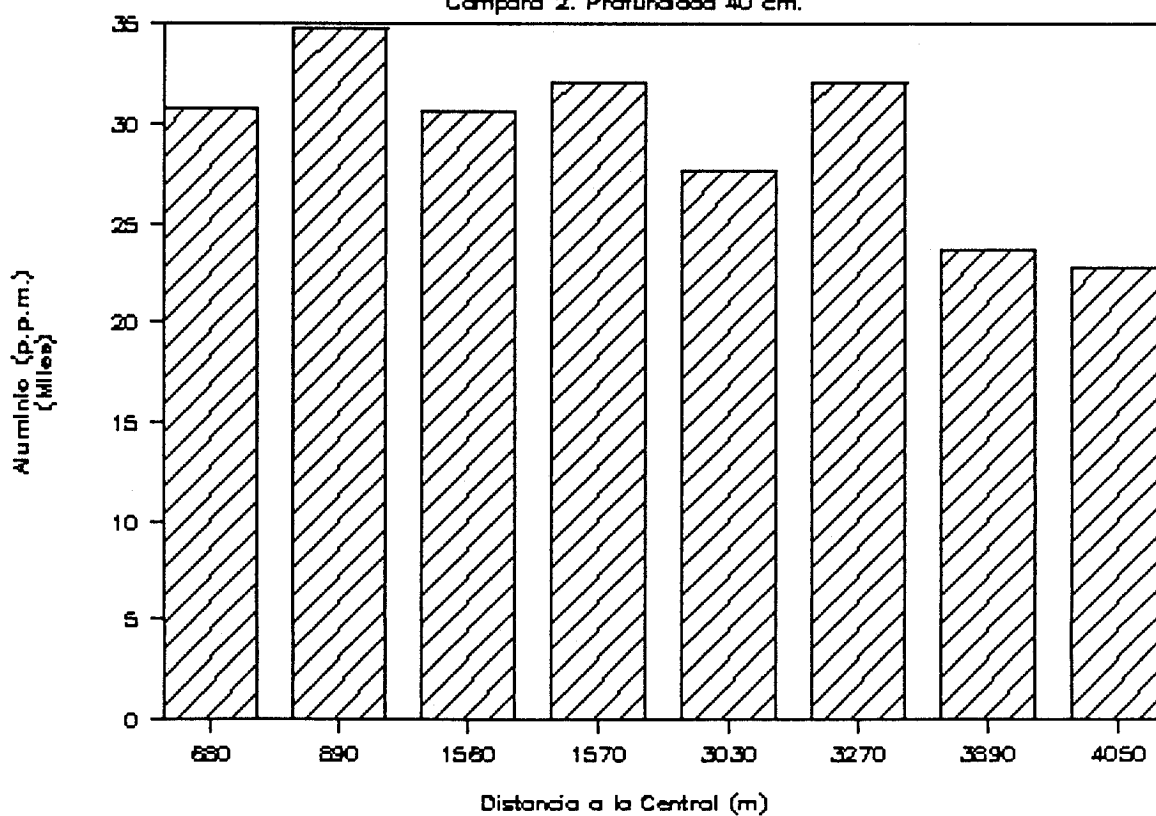


Gráfico 19. Muestras de suelos.

Campaña 2. Profundidad 40 cm.

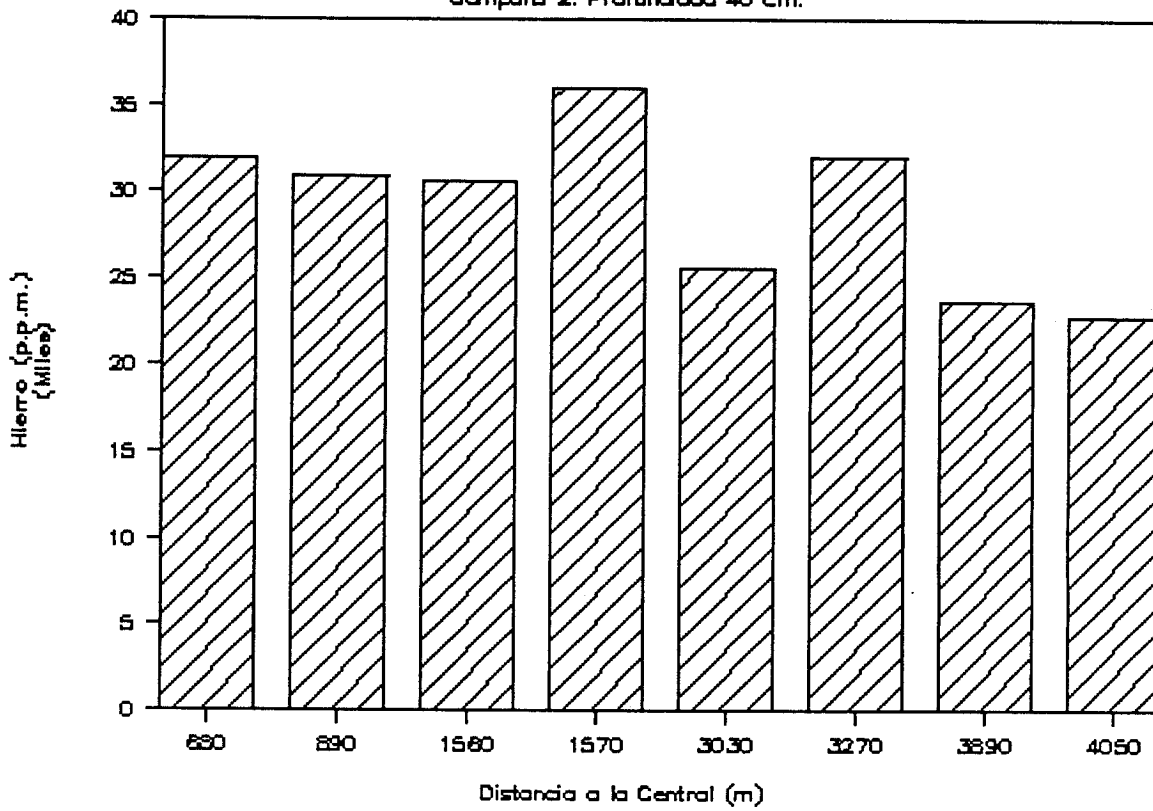


Gráfico 20. Muestras de suelos.

Campaña 2. Profundidad 40 cm.

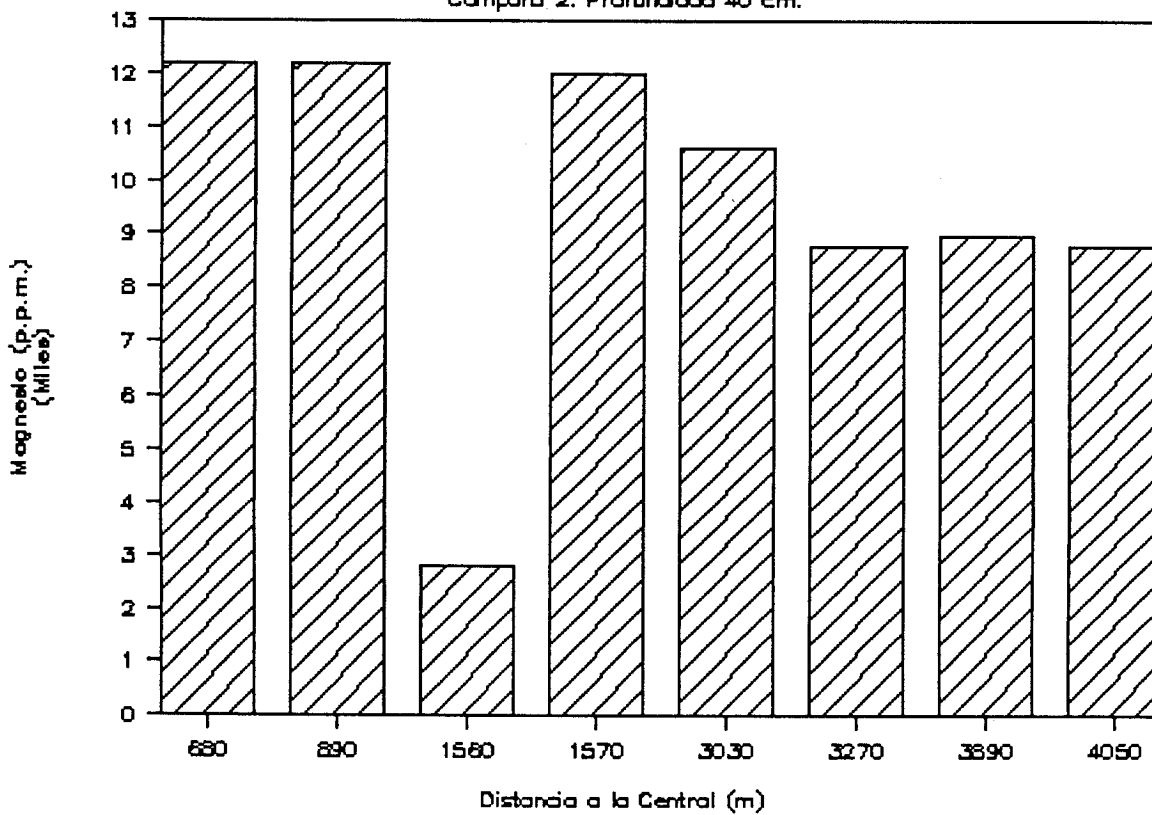


Gráfico 21. Muestras de suelos.

Campañas 1 y 2. Profundidad. 20 cm.

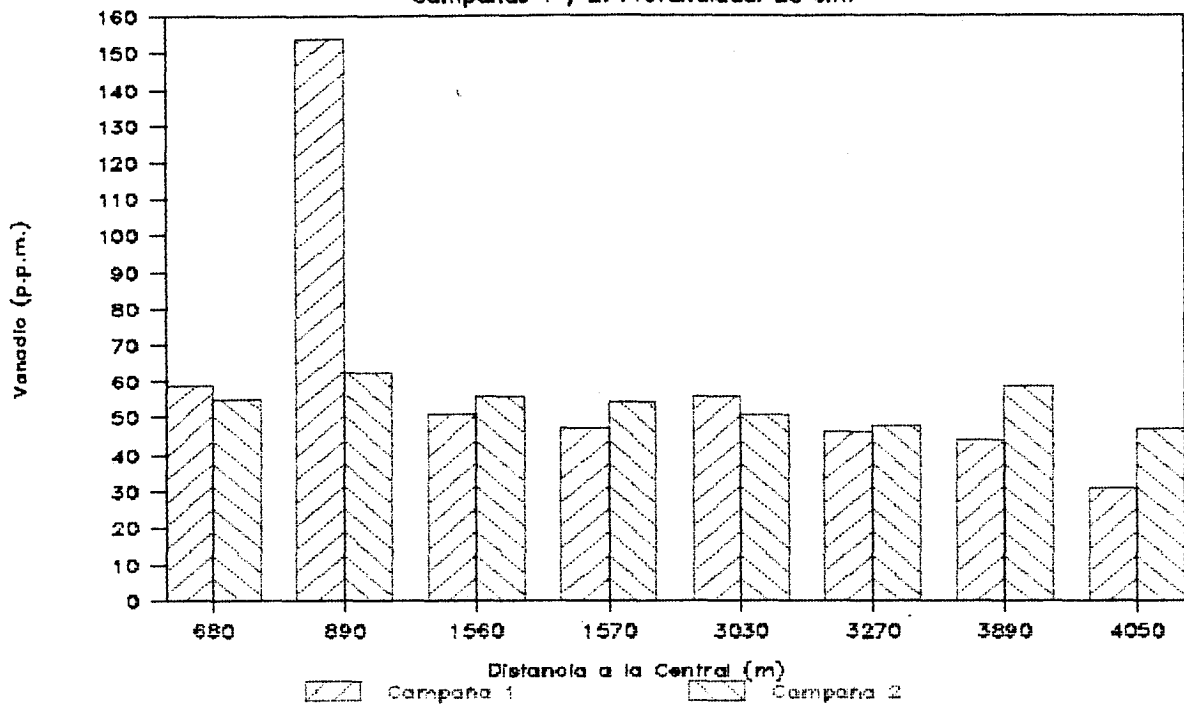


Gráfico 22. Muestras de suelos.

Campañas 1 y 2. Profundidad. 20 cm.

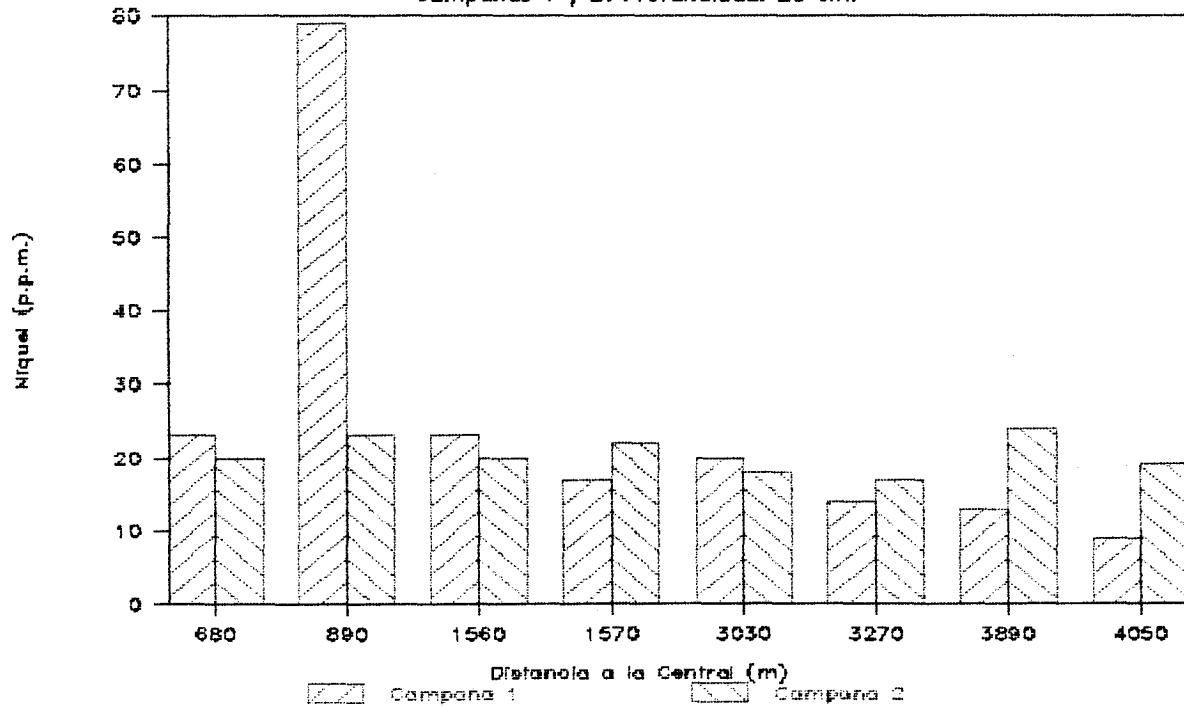


Gráfico 23. Muestras de suelos.

Campañas 1 y 2. Profundidad. 20 cm.

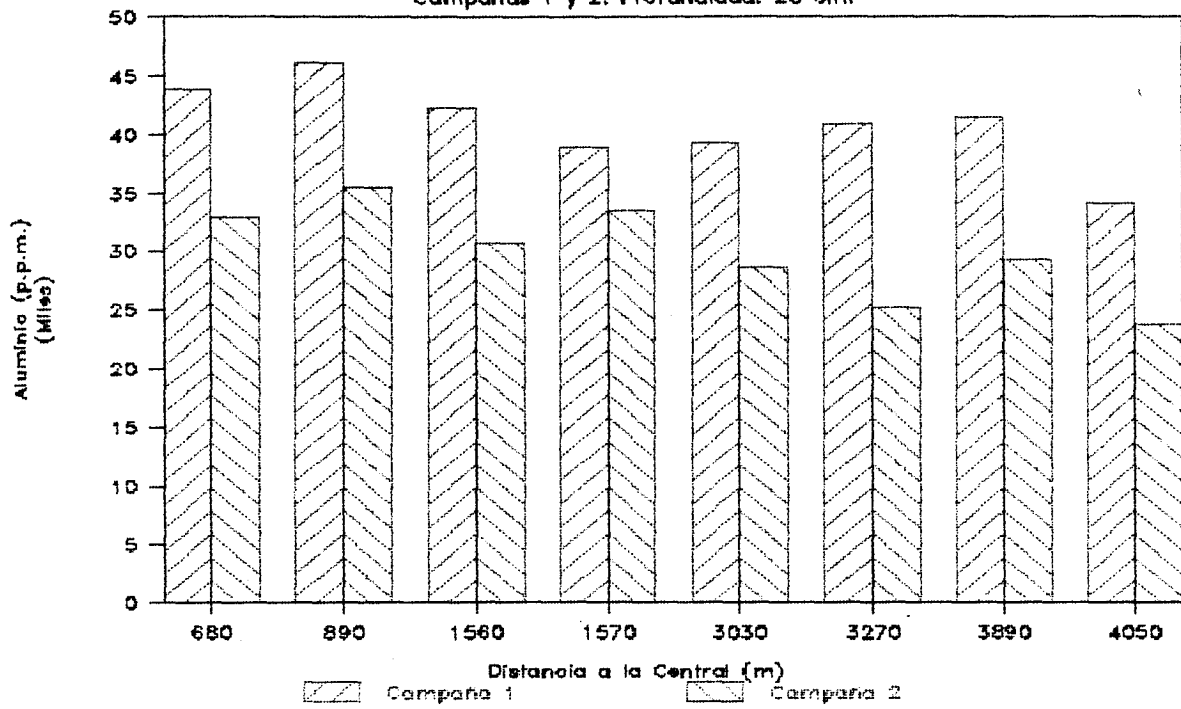


Gráfico 24. Muestras de suelos.

Campañas 1 y 2. Profundidad. 20 cm.

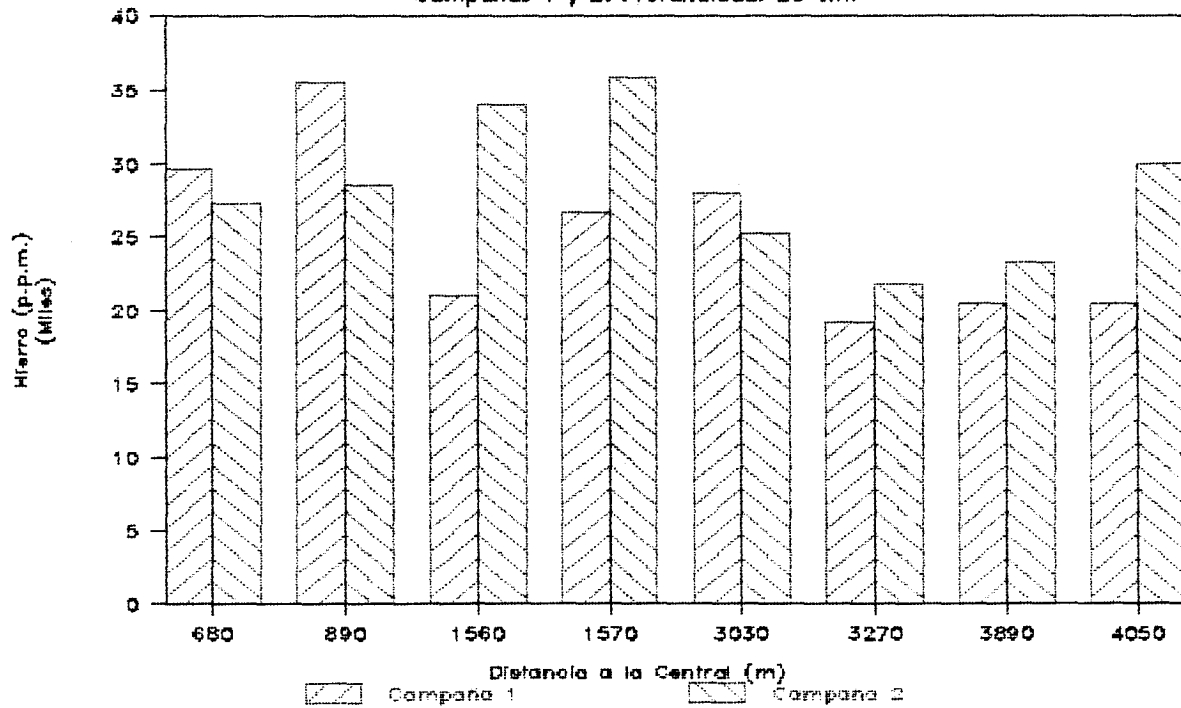


Gráfico 25. Muestras de suelos.

Campañas 1 y 2. Profundidad. 20 cm.

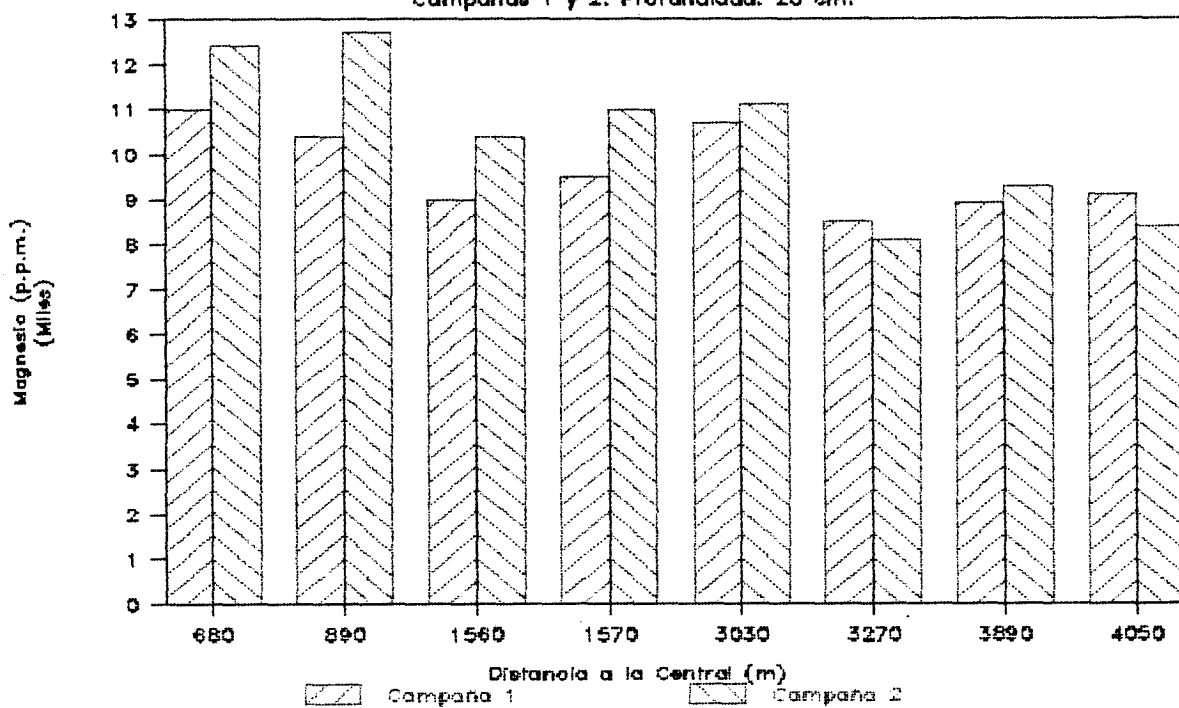


Gráfico 26. Muestras de suelos.

Campañas 1 y 2. Profundidad 40 cm.

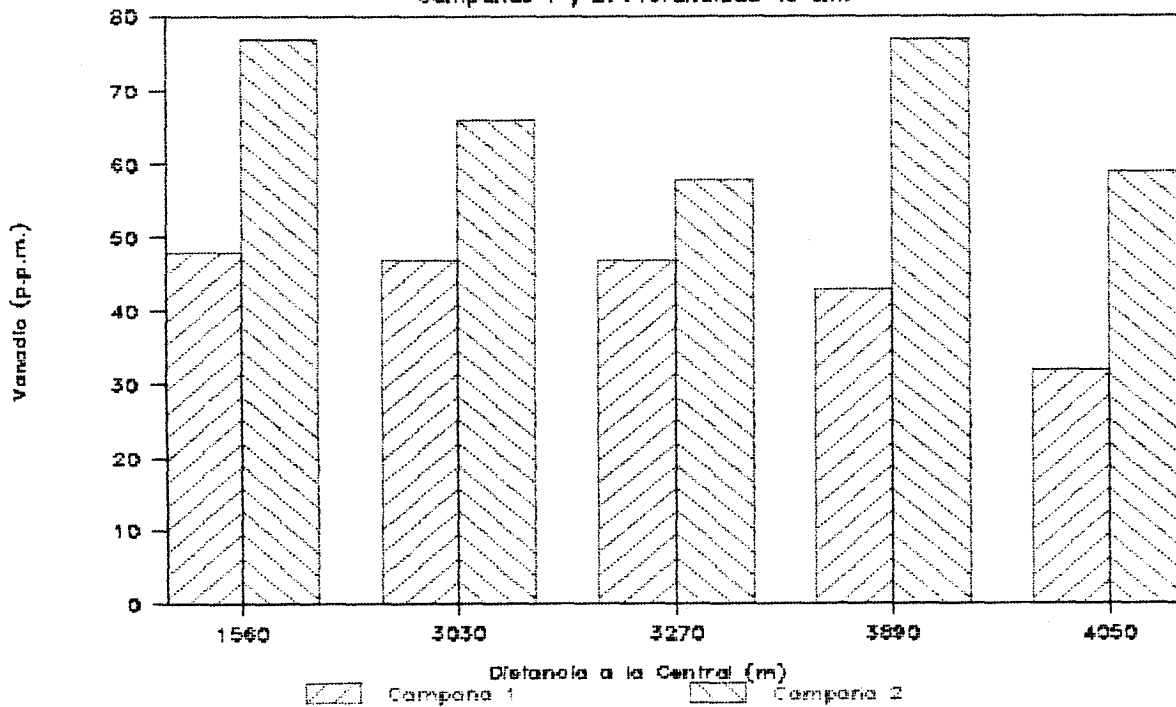


Gráfico 27. Muestras de suelos.

Campañas 1 y 2. Profundidad 40 cm.

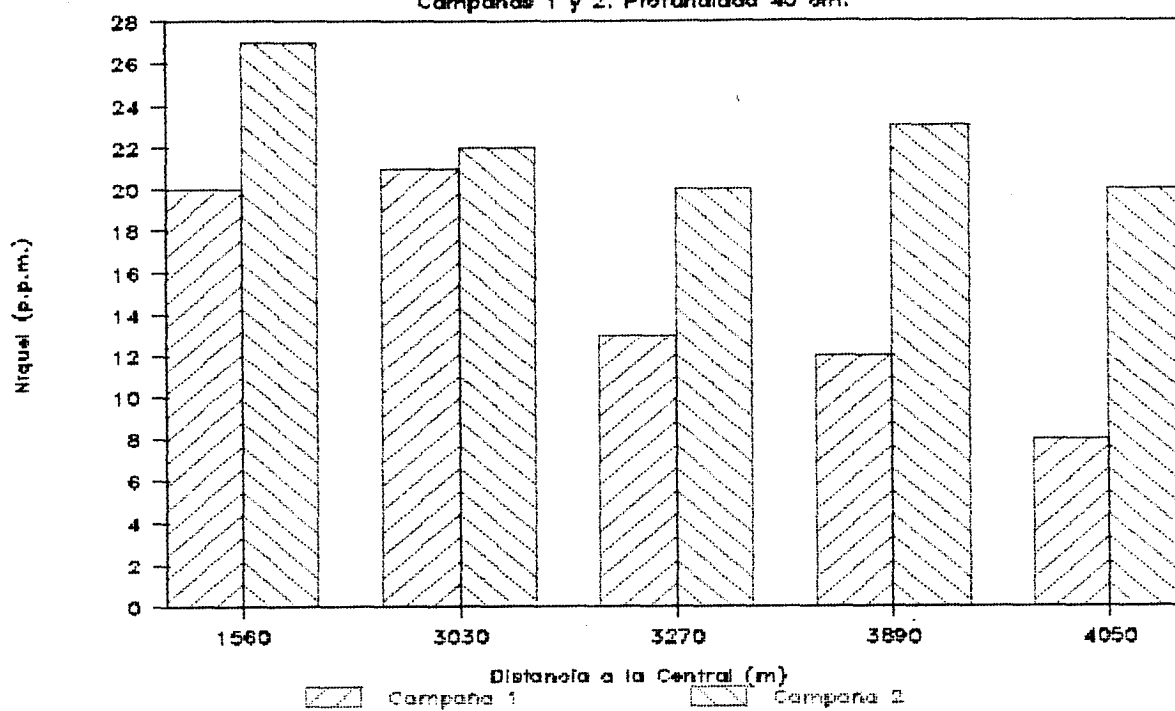


Gráfico 28. Muestras de suelos.

Campañas 1 y 2. Profundidad 40 cm.

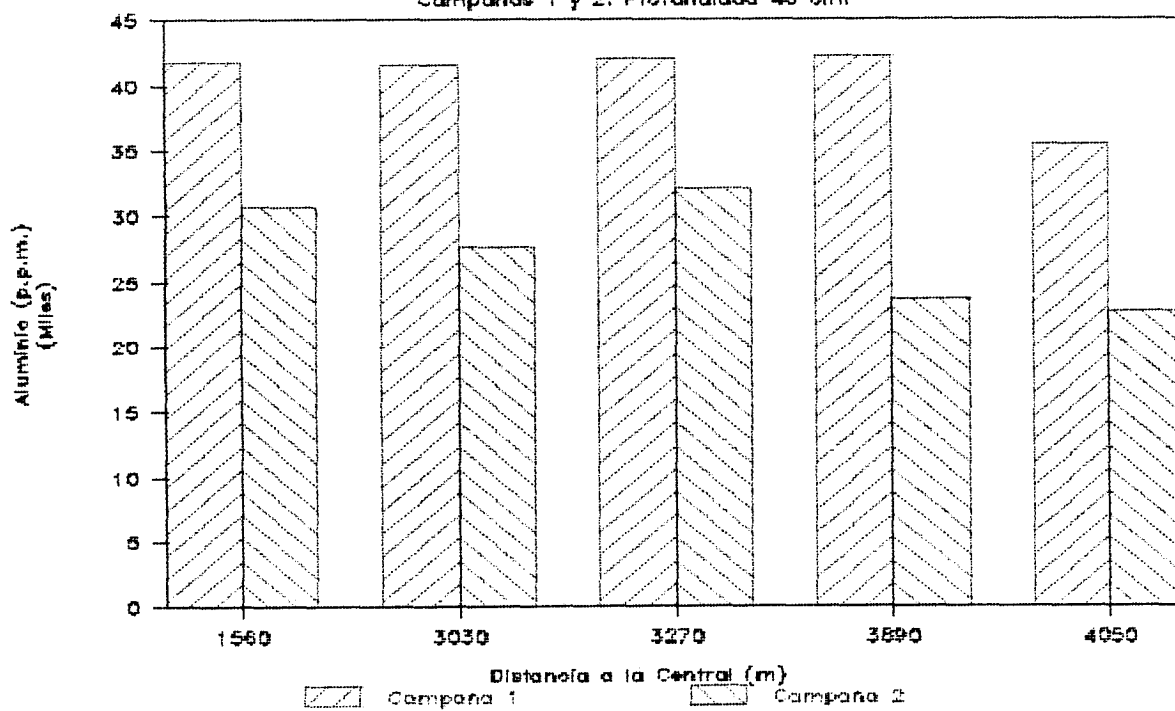


Gráfico 29. Muestras de suelos.

Campañas 1 y 2. Profundidad 40 cm.

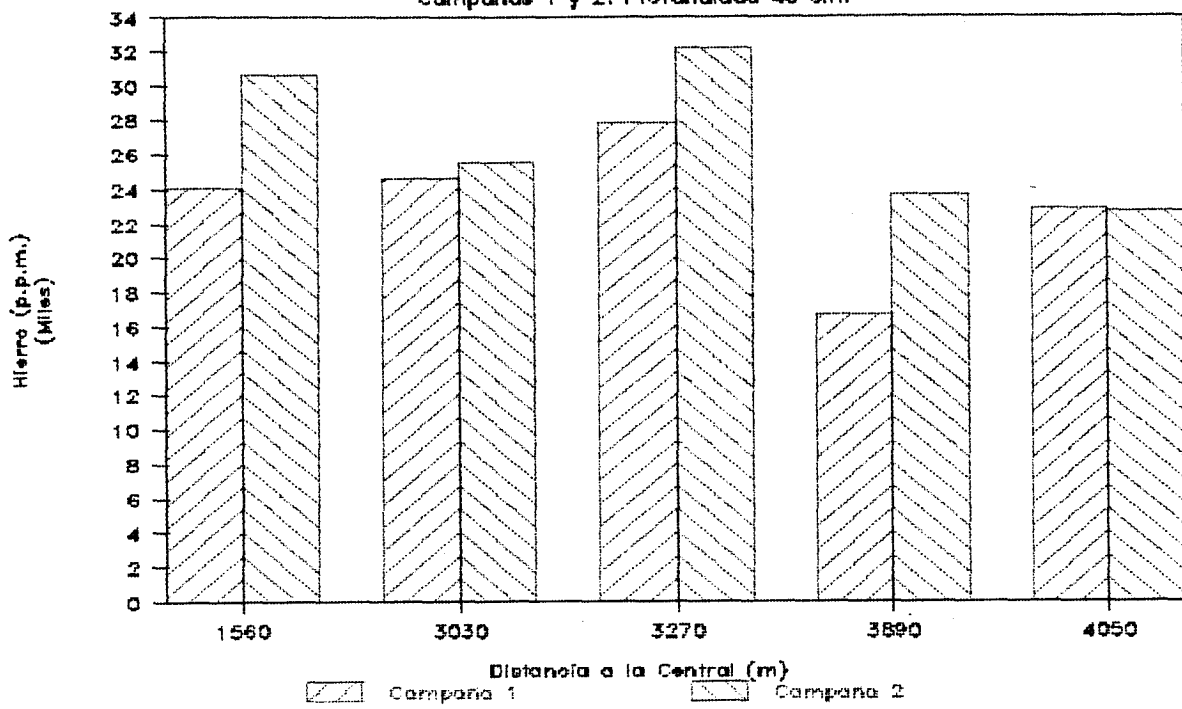


Gráfico 30. Muestras de suelos.

Campañas 1 y 2. Profundidad 40 cm.

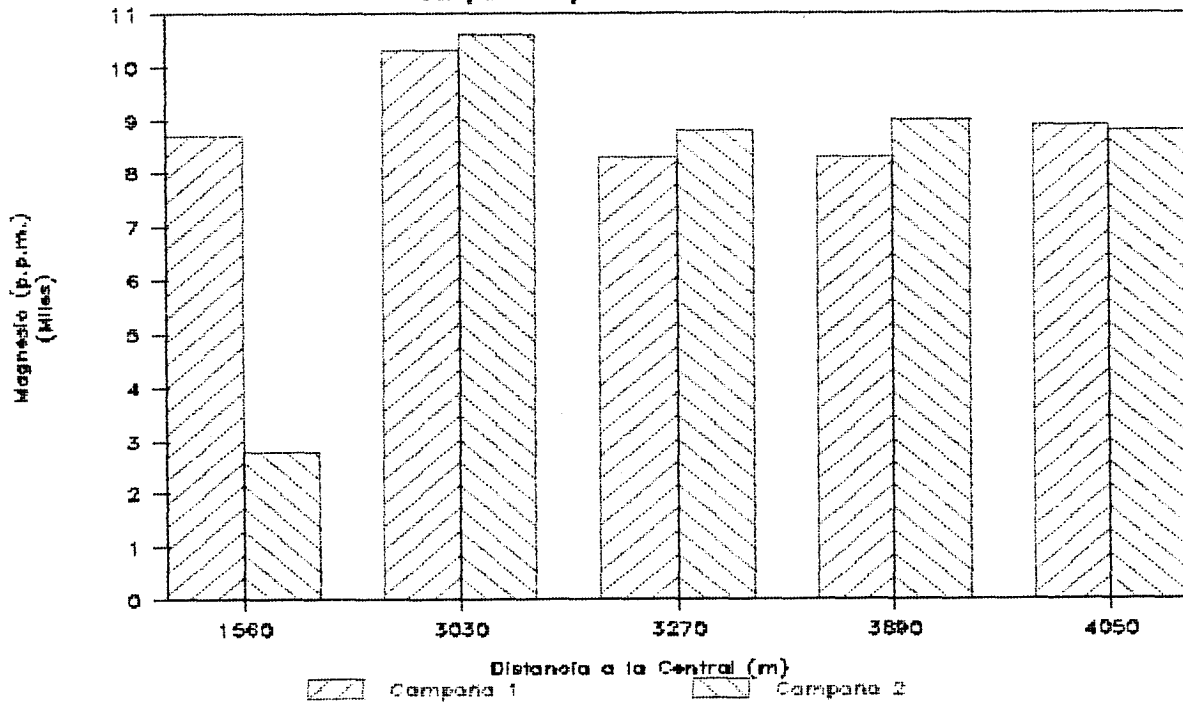


Gráfico 31. Campaña 1

Relación Concentración-profundidad.

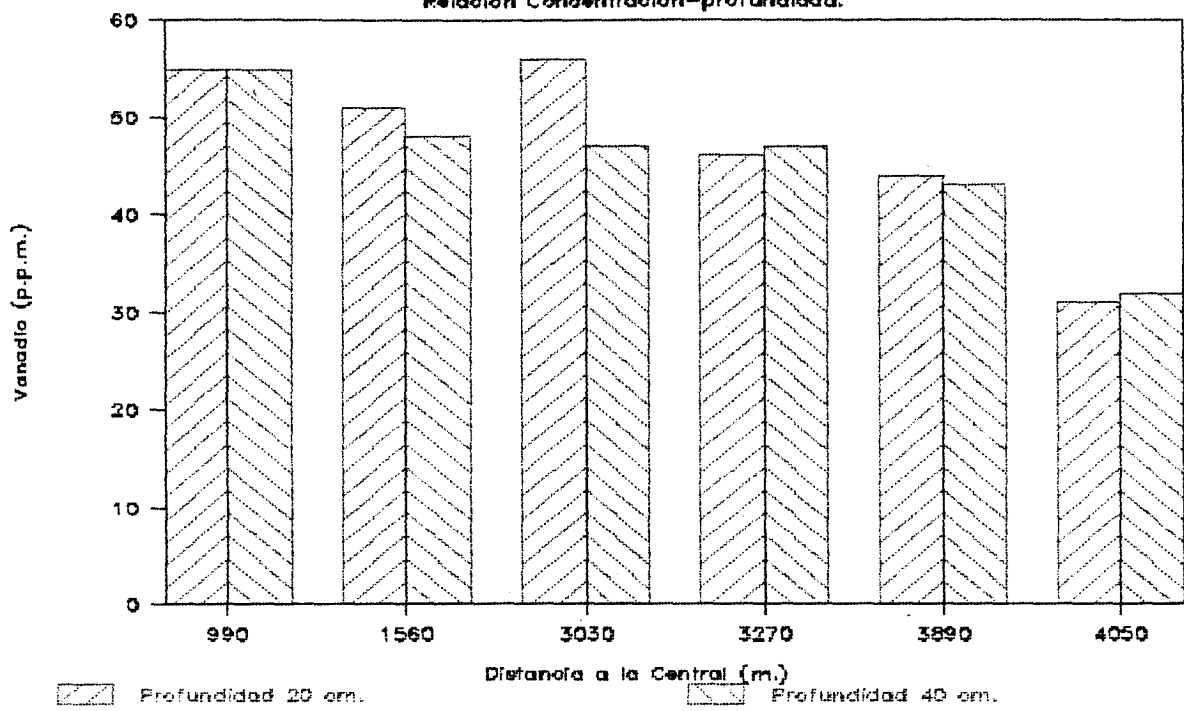


Gráfico 32. Campaña 2.

Relación Concentración-profundidad.

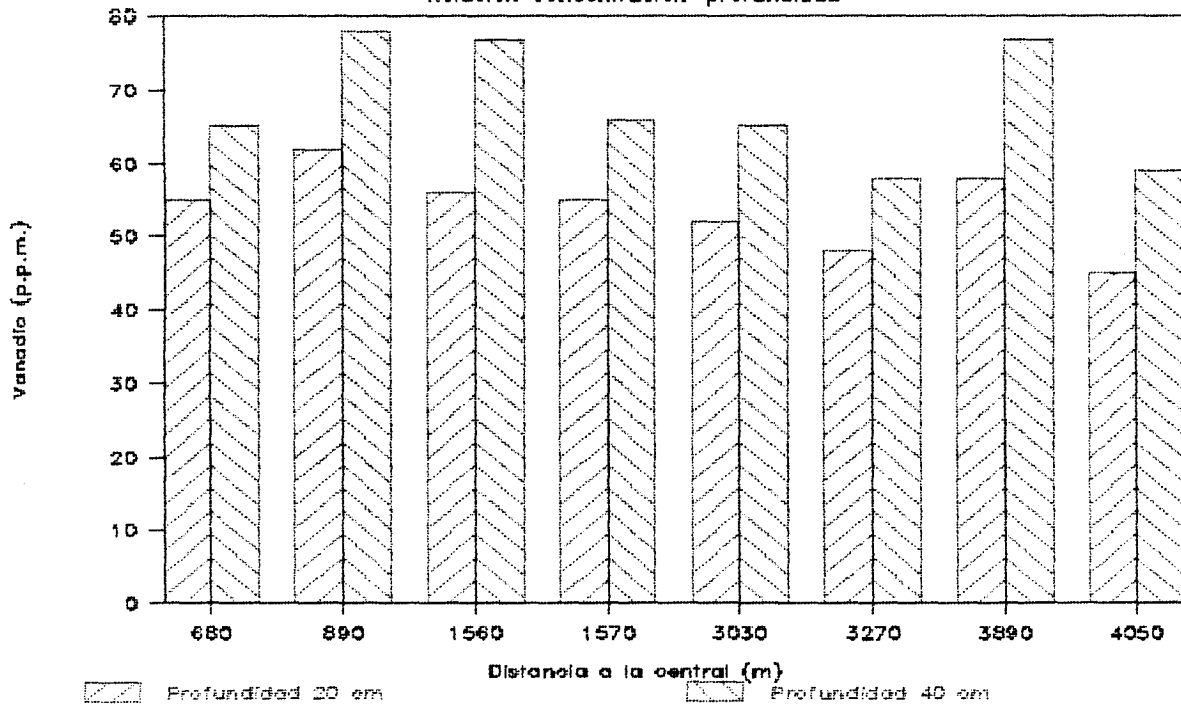


Gráfico 33. Campaña 1.

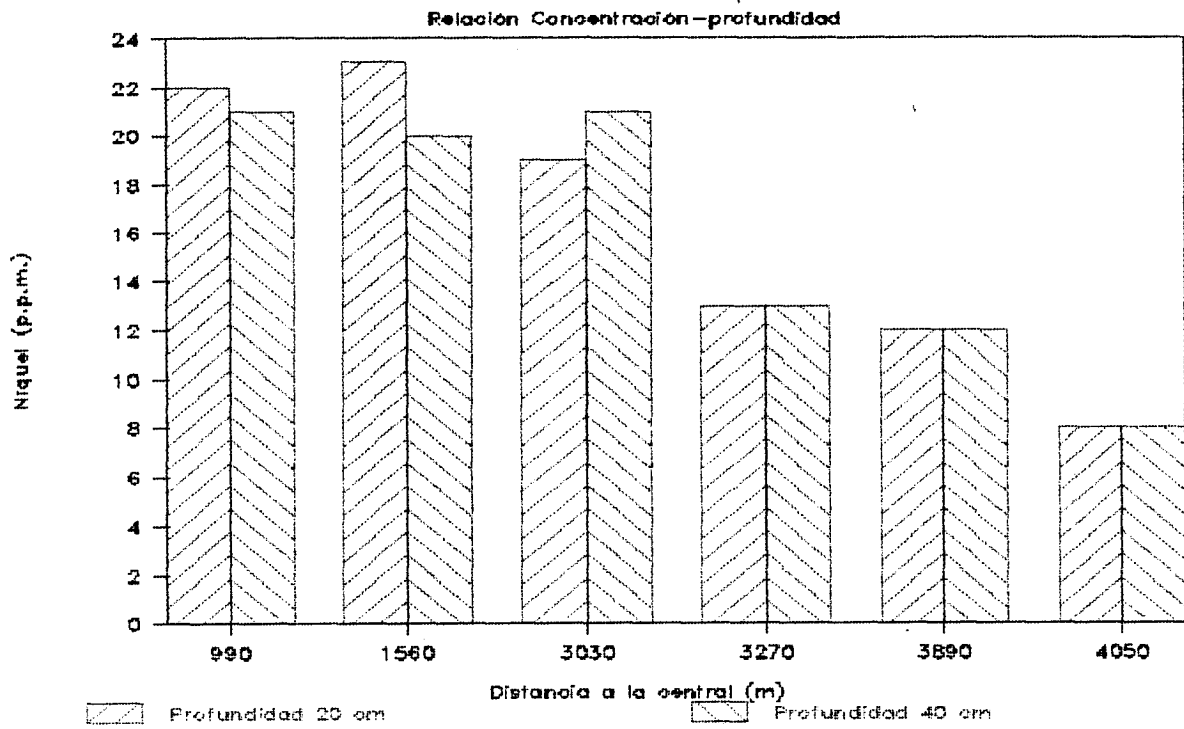


Gráfico 34. Campaña 2.

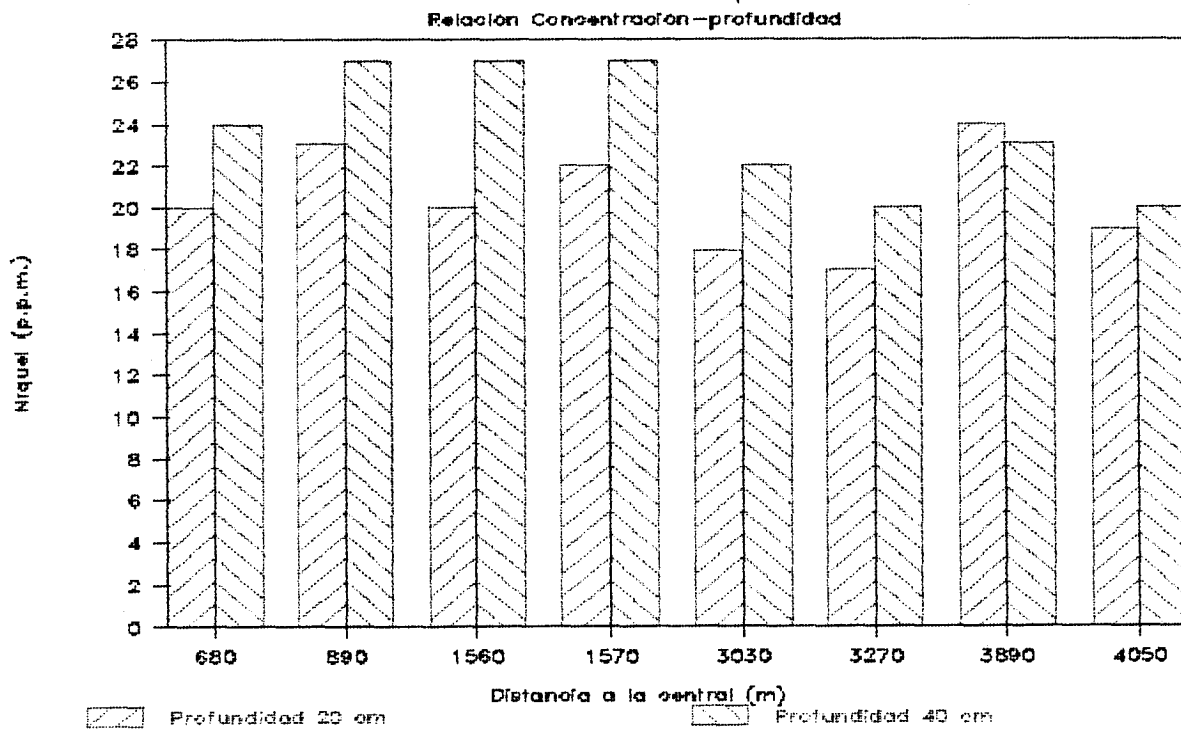


Gráfico 35. Campaña 1.

Relación Concentración-profundidad

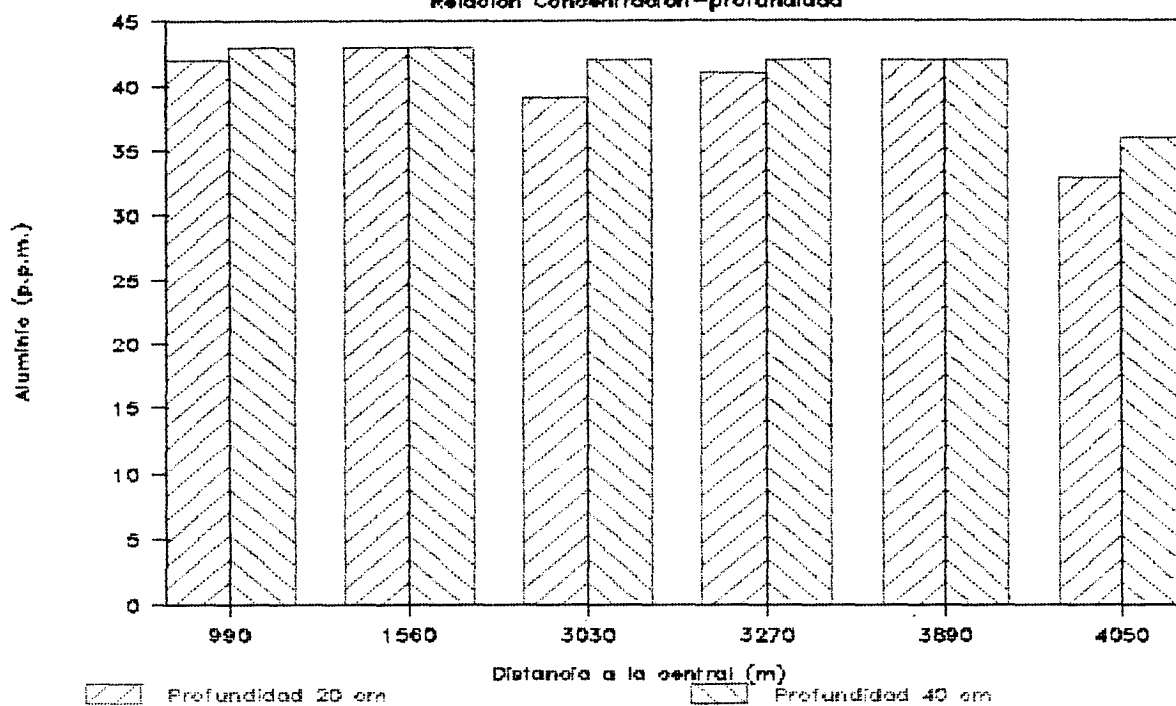


Gráfico 36. Campaña 2.

Relación Concentración-profundidad

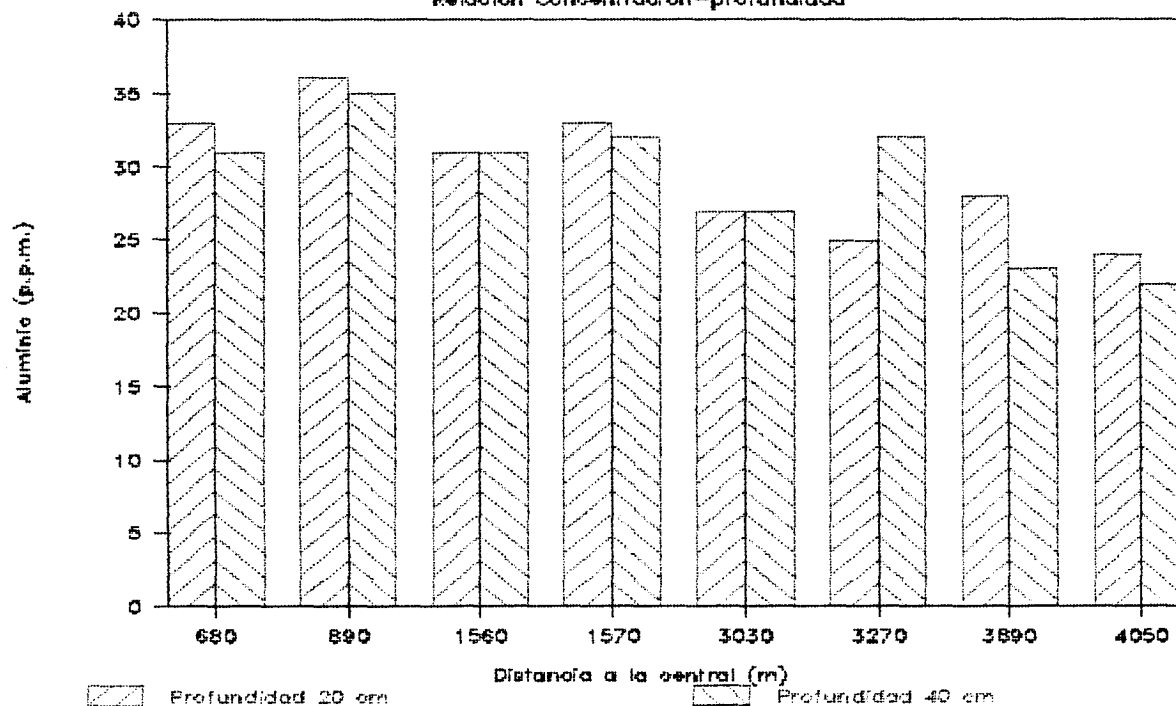


Gráfico 37. Campaña 1.

Muestras de vegetales

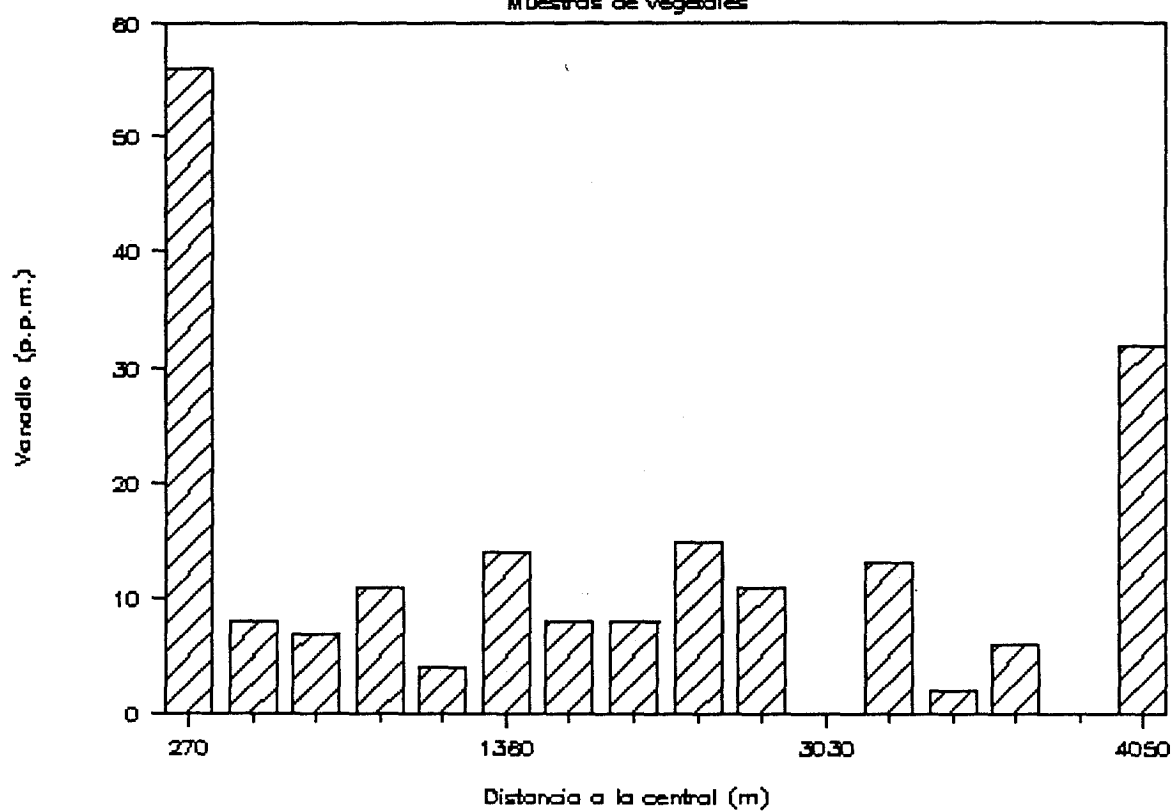


Gráfico 38. Campaña 1.

Muestras de vegetales

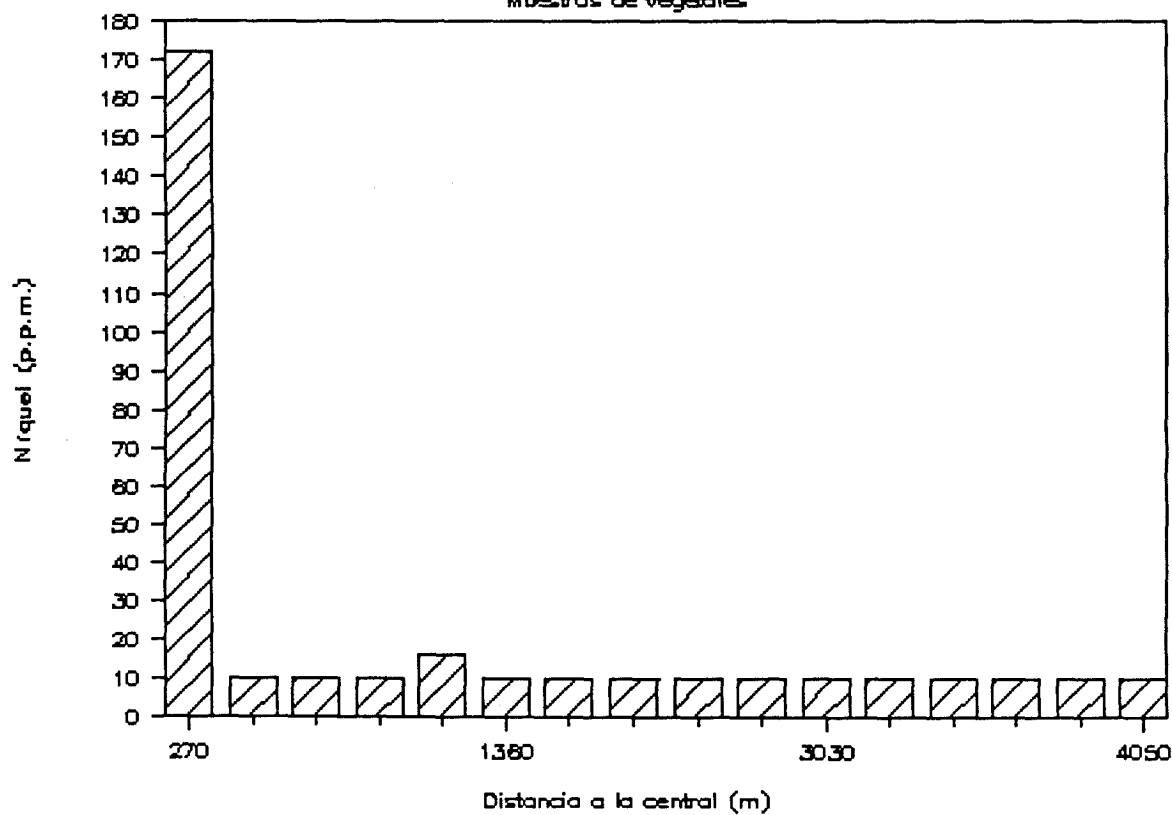


Gráfico 39. Campaña 2.

Muestras de vegetales

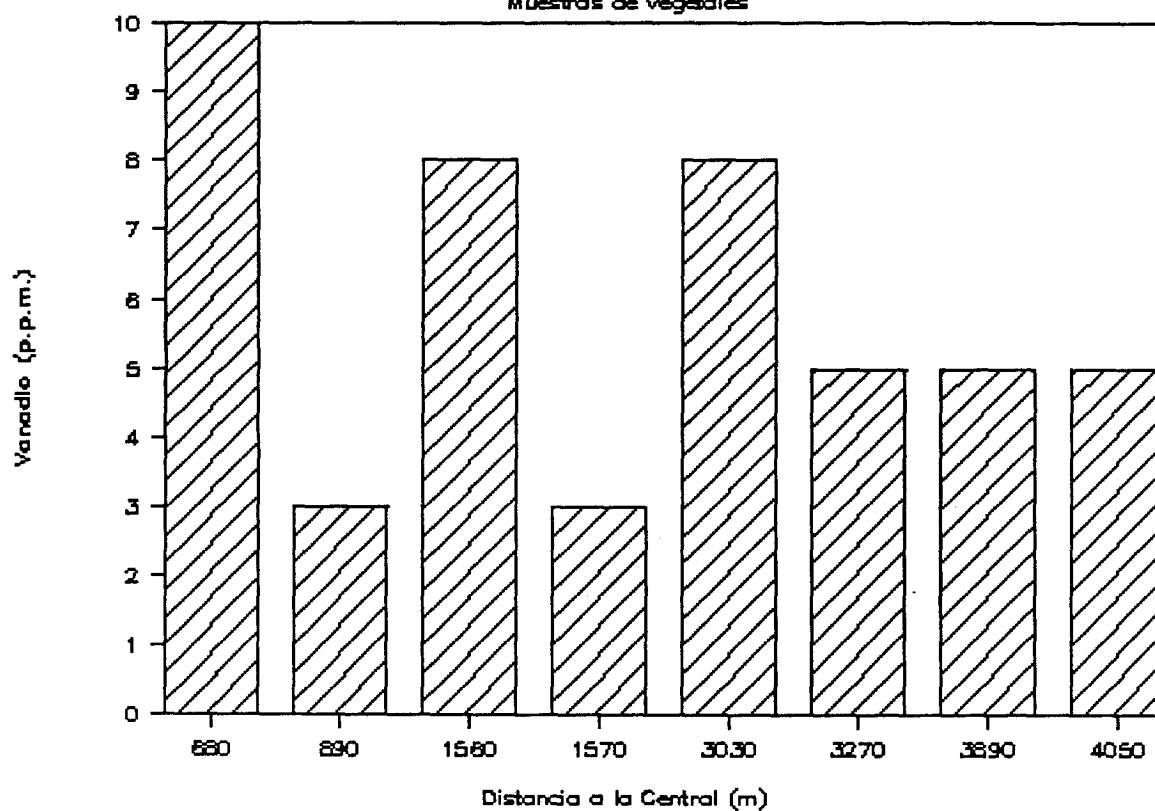


Gráfico 40. Campaña 2.

Muestras de vegetales

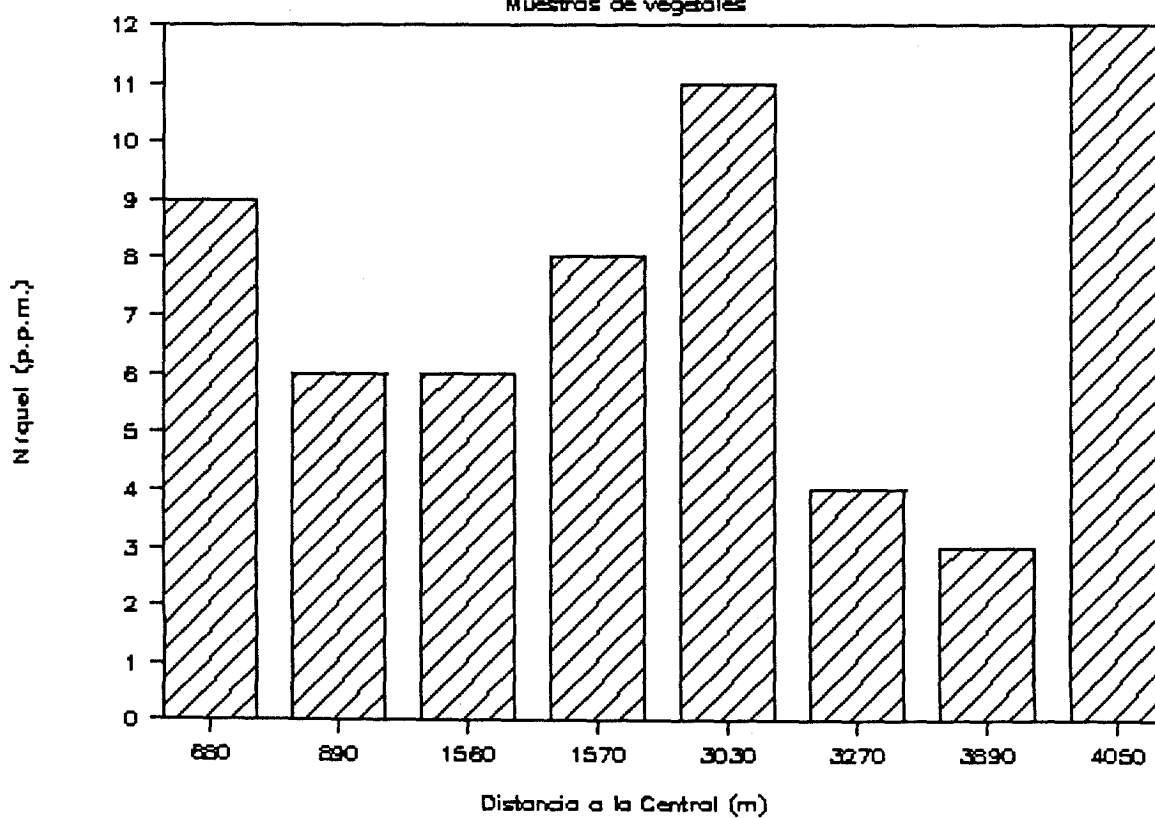


Gráfico 41. Muestras de vegetales

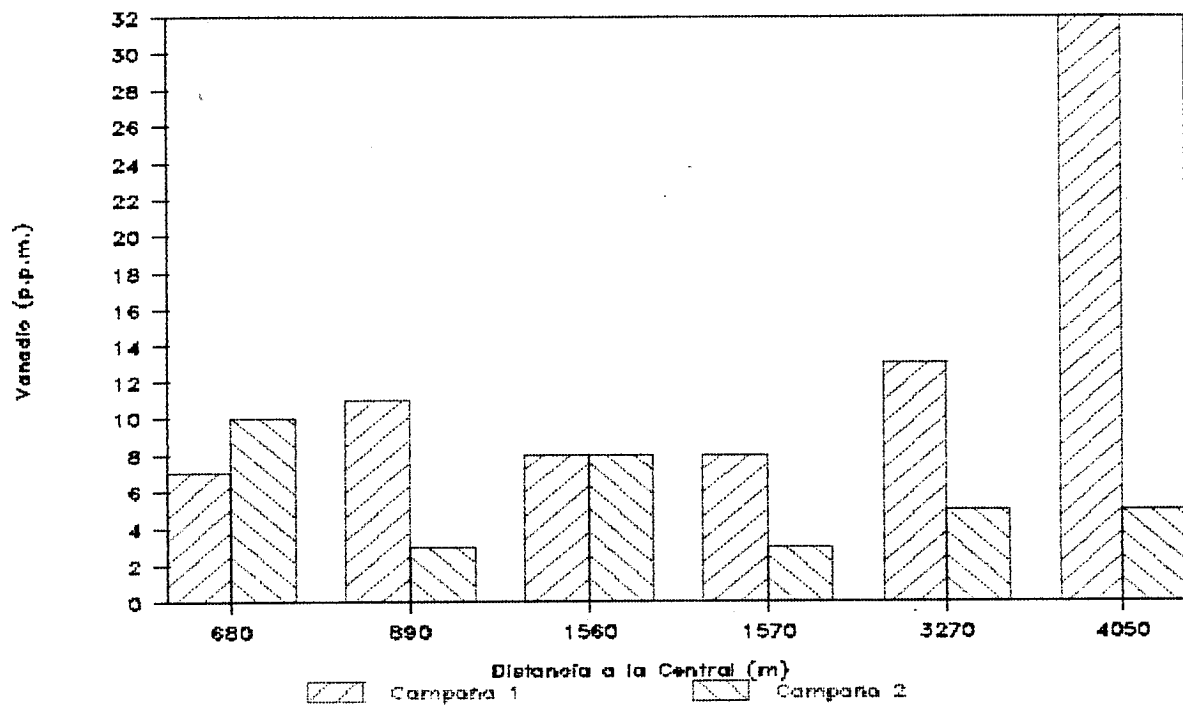


Gráfico 42. Muestras de vegetales

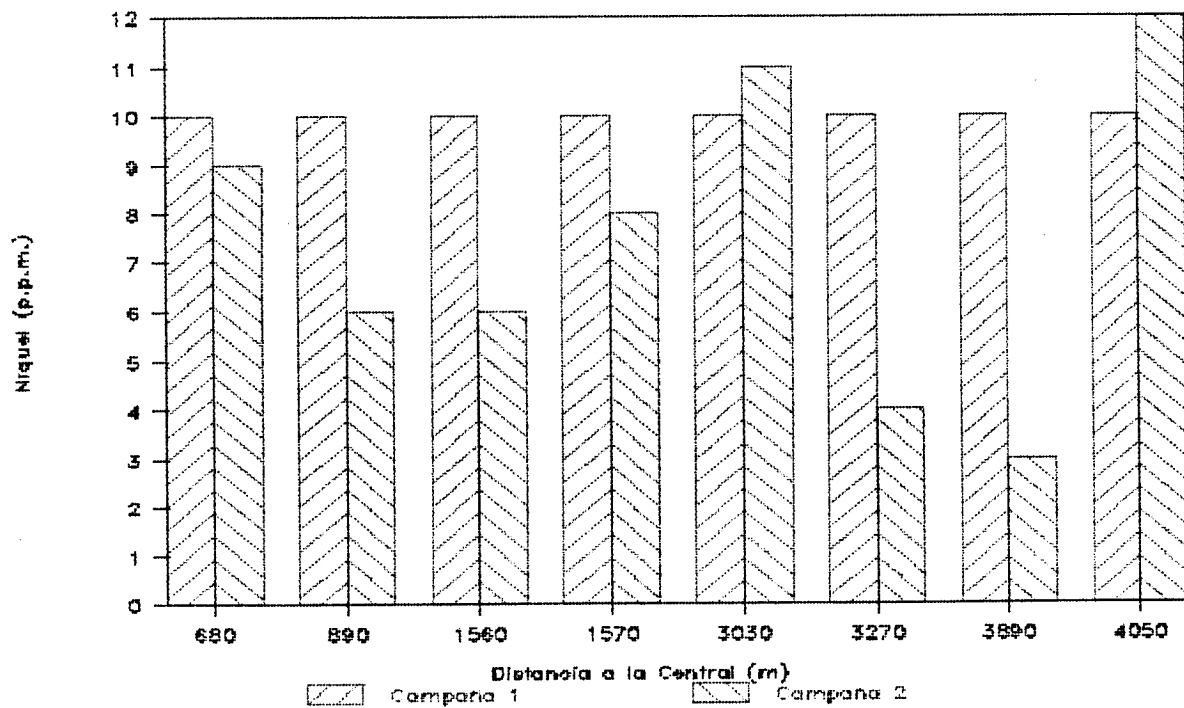
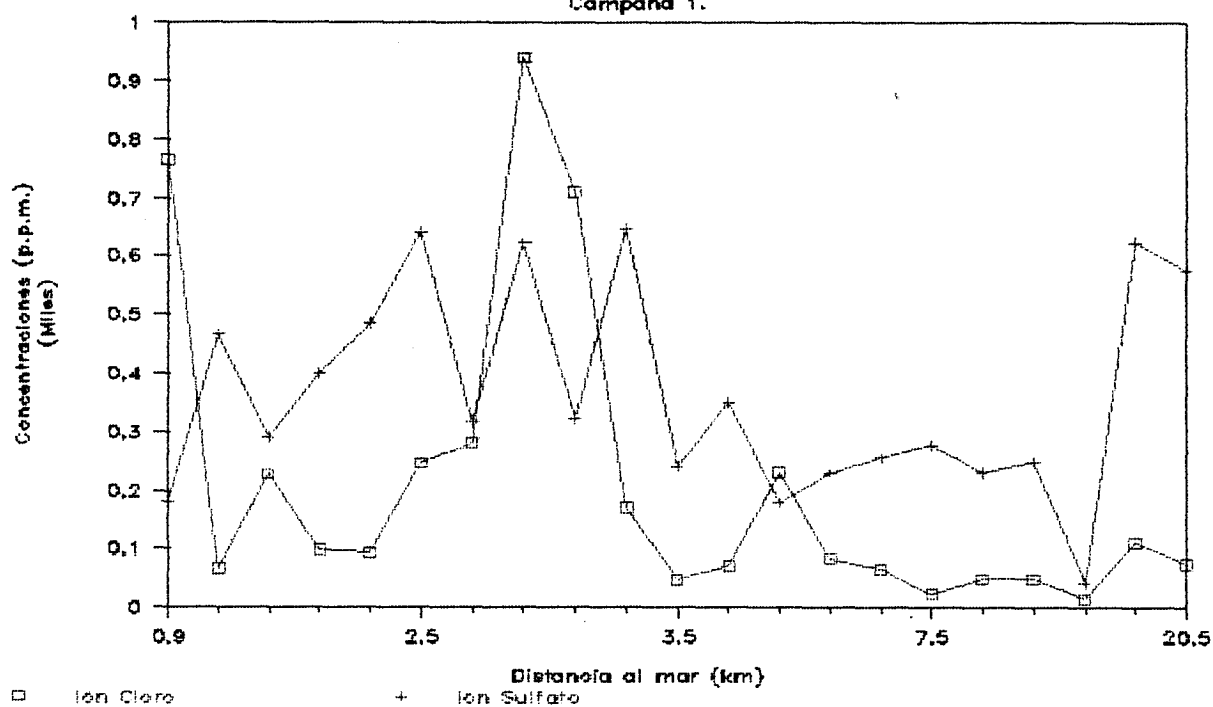


Gráfico 44. Muestras de Agua.

Campaña 1.

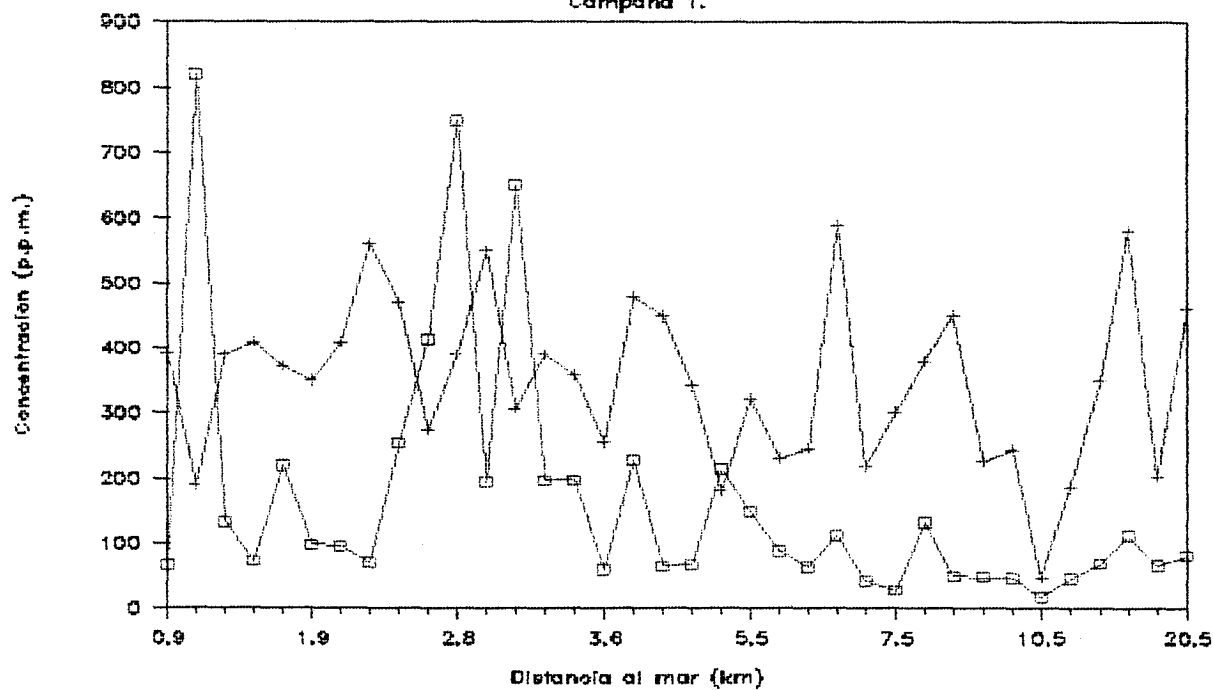


□ Ion Cloro

+ Ion Sulfato

Gráfico 43. Muestras de Agua.

Campaña 1.



□ Ion Cloro

+ Ion Sulfato

Gráfico 45.- Isolneas de contenidos en V de los suelos (p.p.m.)

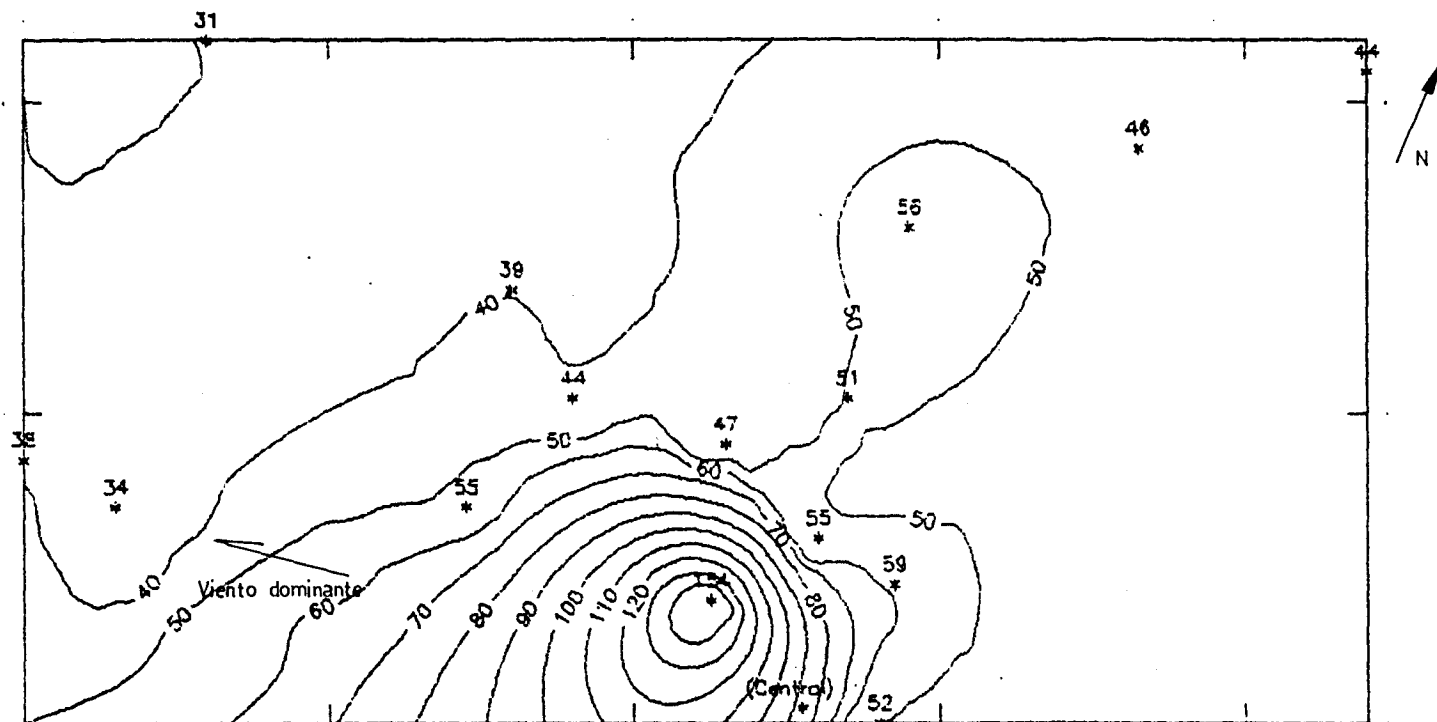
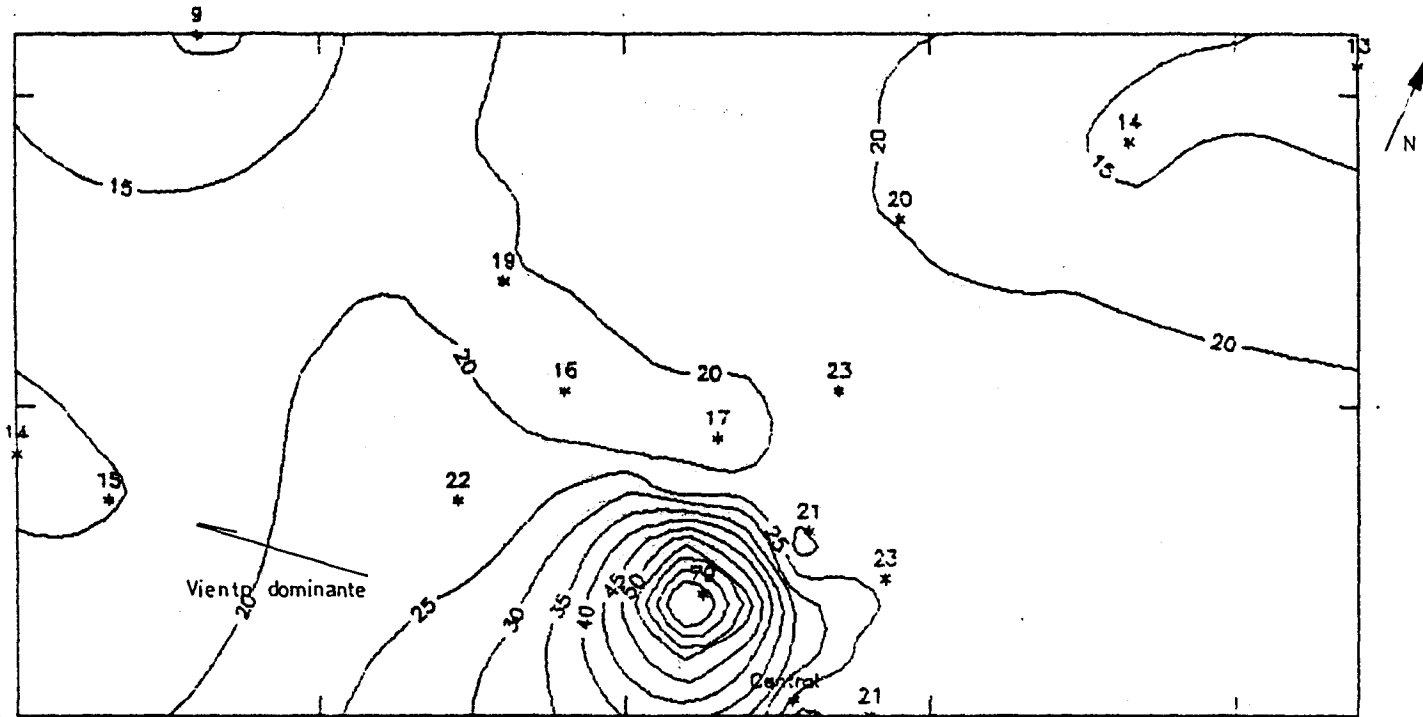
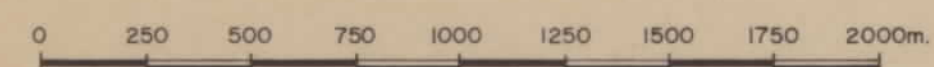
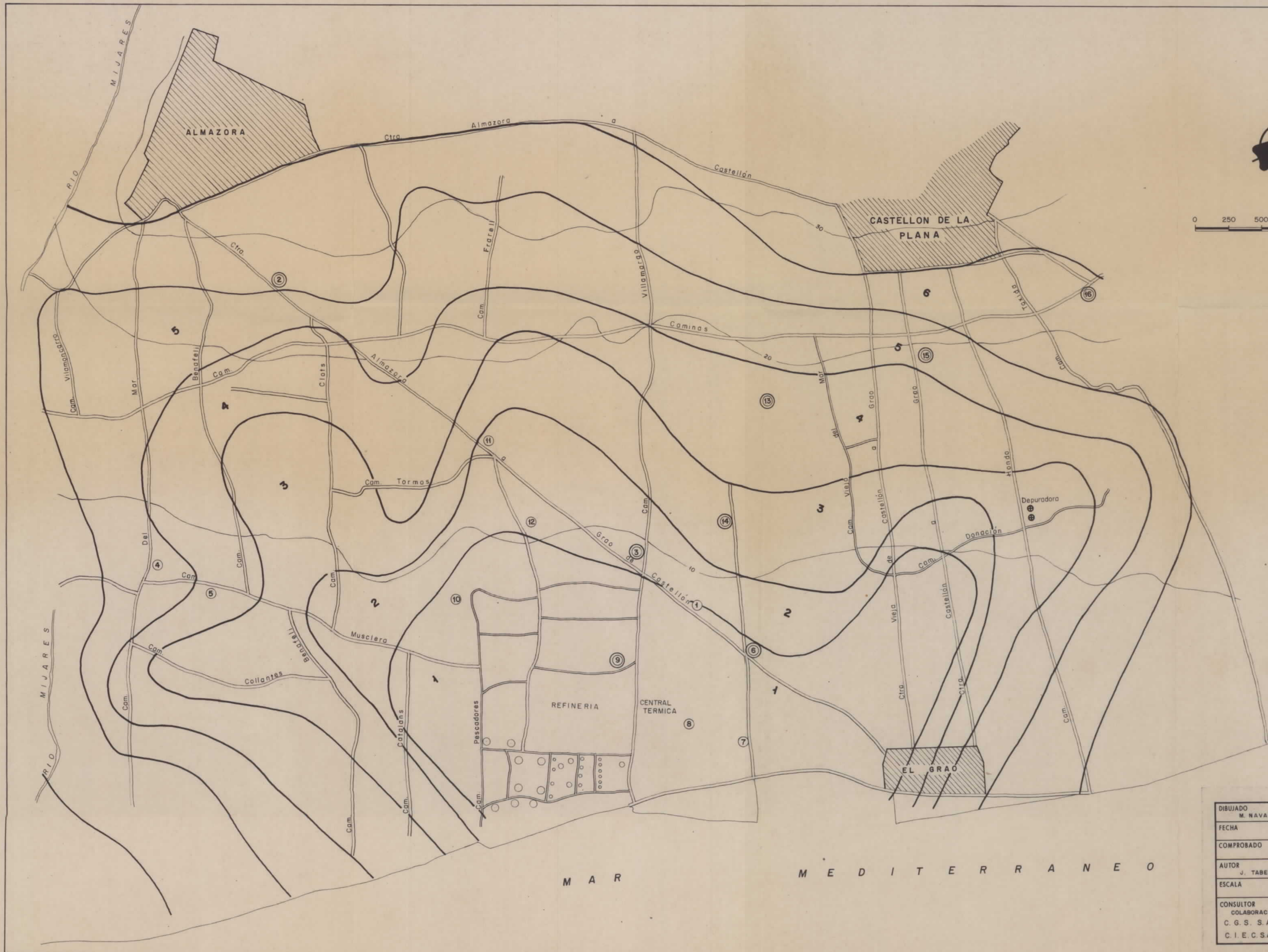


Grafico 4E.- Isolines de contenidos en Ni de suelos (p.p.m.)





SIMBOLOGIA

- I campaña
- ⊙ I - II campaña
- f Denominación Zona de Influencia

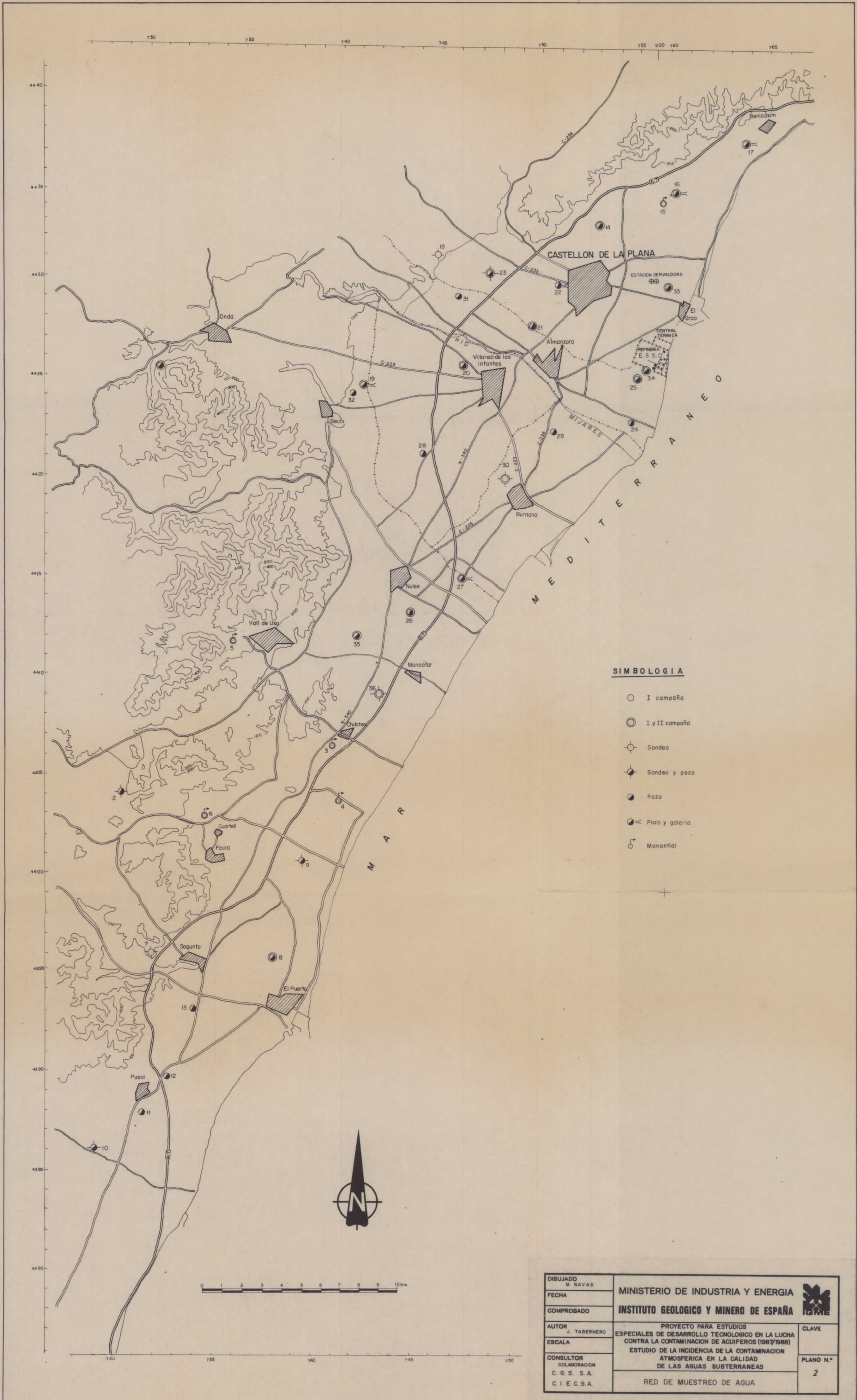
DIBUJADO	M. NAVAS
FECHA	
COMPROBADO	
AUTOR	J. TABERNERO
ESCALA	
CONSULTOR	C. G. S. S. A.
COLABORACION	C. I. E. C. S. A.

MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA
INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

PROYECTO PARA ESTUDIOS
 ESPECIALES DE DESARROLLO TECNOLÓGICO EN LA LUCHA
 CONTRA LA CONTAMINACION DE ACUIFEROS (1987/1990)
 ESTUDIO DE LA INCIDENCIA DE LA CONTAMINACION
 ATMOSFERICA EN LA CALIDAD
 DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS


RED DE MUESTREO DE SUELOS Y VEGETALES

M A R M E D I T E R R A N E O



SIMBOLOGIA

- I campaña
- ⊙ I y II campaña
- ⊕ Sondeo
- ⊕ Sondeo y pozo
- Pozo
- ⊕ Pozo y galería
- Manantial

DIBUJADO M. NAVAS	MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA	
FECHA	INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA	
COMPROBADO	PROYECTO PARA ESTUDIOS ESPECIALES DE DESARROLLO TECNOLÓGICO EN LA LUCHA CONTRA LA CONTAMINACION DE ACUIFEROS (1967/1988)	CLAVE
AUTOR J. TABERNERO	ESTUDIO DE LA INCIDENCIA DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA EN LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS	PLANO N.º
ESCALA	RED DE MUESTREO DE AGUA	2
CONSULTOR COLABORACION C. G. S. S. A. C. I. E. C. S. A.		