

# Aspectos físico-químicos de la contaminación en la cuenca del río Mula

POR

ANTONIO SOLER ANDRES, JOSE SAEZ MERCADER,  
J. ANTONIO HERRAIZ ZAMBUDIO, LUIS MARTINEZ-  
MENA GARCIA y M<sup>a</sup> DOLORES MORENO GRAU

## SUMMARY

We have studied systematically during the period of one year (February 1979-January 1980) the factors affecting the contamination in the river Mula basin (Murcia, Spain). We have determined the most typical physico-chemical parameters, such as: water temperature, suspended solids, pH, conductivity, dissolved oxygen, BOD5, COD, and nitrogen as ammonia and nitrate. It has been checked a high level of contamination from organic materials, caused essentially by sewage and canning industries wastewaters, and by the slight and discontinuous river flow.

## RESUMEN

Se han estudiado de forma sistemática durante un año (febrero 1979-enero 1980) los factores que afectan a la contaminación en la cuenca del Río Mula, y se han determinado los niveles de los parámetros físico-químicos más característicos, como son: temperatura del agua, sólidos en suspensión, pH, conductividad, oxígeno disuelto, DBO5, DQO, nitrógeno amoniacal y nitrógeno de nitratos. Se comprueba un alto grado de contaminación de tipo orgánico, ocasionado fundamentalmente por vertidos de origen urbano e industrias conserveras, y por la escasez y discontinuidad de caudal en el río.



## INTRODUCCION

Hace aproximadamente dos años, la pertinaz contaminación de las aguas del Río Mula provocó una situación conflictiva por parte de agricultores y vecinos de los pueblos ribereños del cauce bajo del citado río, temerosos de perder sus campos y cultivos al ser regados con aguas evidentemente polucionadas.

La protesta llegó a su punto álgido el 9-3-79 con el corte de la circulación en la carretera Alcantarilla-Mula por parte de los habitantes de Albudeite y Puebla de Mula que exigían una solución inmediata al grave problema planteado.

Por este motivo, la Comisión de Medio Ambiente del Consejo Regional de Murcia nos encargó un Informe sobre la situación de la contaminación en la cuenca del Río Mula, que fue entregado en marzo de 1979 y que produjo nuestro contacto con el tema.

Al hacerlo, constatamos la total ausencia de datos físico-químicos referentes a la calidad de las aguas del Río Mula, ya que en los análisis periódicos realizados por la Comisaría de Aguas, solamente figura un punto en la cuenca de este río, situado en el pantano de La Cierva. Ello unido a que, como respuesta a la conflictiva situación planteada, se adoptaron por las Delegaciones de Sanidad e Industria medidas correctivas temporales (cloración de las aguas, cese de la actividad en las fábricas de conservas, desvío de las aguas residuales hacia regadíos), nos indujo a realizar el seguimiento a lo largo de un año.

El presente trabajo se apoya en los múltiples datos analíticos obtenidos a fin de poder calificar y cuantificar científicamente la contaminación de la cuenca en estudio, al tiempo que se establece un punto de partida para comparar con futuras situaciones teniendo siempre presente el principal uso de estas aguas, que es el de riegos agrícolas.

## EXPLORACIONES PREVIAS

La primera fase de este estudio se inició con un reconocimiento *in situ* y consiguiente recogida de muestras del cauce del río Mula a partir del pantano de La Cierva hasta su desembocadura en el río Segura, así como la de su afluente por la margen derecha, el río Pliego, y toda la red de acequias de la zona de Mula, a fin de tener un conocimiento real de la situación de los vertidos, tanto de origen urbano como industrial o agrícola, y así poder establecer de forma idónea la distribución de los puntos de muestreo.

Como resultado de tal exploración se comprobó que el río Mula, aguas abajo del embalse de La Cierva, se va constituyendo con un caudal mínimo a base de algún pequeño afloramiento de la capa freática y sobrantes de riego, recibiendo poco después del puente de la carretera Alcantarilla-Mula el cargadísimo vertido de la Acequia de las Tapias que, tras atravesar toda la Huerta Muleña, descarga casi continuamente las aguas residuales urbanas de la ciudad de Mula con un caudal varias veces superior al del río. Unos 800 m aguas abajo se produce la confluencia con el río Pliego.

En cuanto a éste, nacido en las estribaciones norte del Macizo de Sierra Espuña, recibe escasos vertidos urbanos de Pliego (ya que se usan mayoritariamente para riego) y posteriormente la Acequia del Molino que, ligada también ocasionalmente a los desagües de Mula, a su vez recoge vertidos de industrias conserveras.

Desde su confluencia con el Pliego, el río Mula recibe sucesivamente a lo largo de su recorrido los vertidos de Puebla de Mula y, a través de 6 canales muy próximos entre si, las aguas termales procedentes de Baños de Mula, estimados globalmente en un caudal de 200 l/seg, que es de una a dos veces superior al del propio río en aquel lugar. Después, tras un tramo de 700 m en los que el río discurre con el máximo caudal, se encuentra una presa que desvía el 80 % de aquél por una acequia que recorre la margen izquierda. Aproximadamente 1 km aguas abajo, luego de haber sido engrosado con pequeños aportes y sobrantes de riego de la citada acequia y el Barranco del Morro del Carrizal, una nueva presa capta las aguas para otra acequia de la margen derecha.

A partir de este punto el cauce queda con exiguo caudal, que en ocasiones se va recobrando aguas abajo merced al retorno de parte del agua de las acequias que circulan paralelas a ambas márgenes, especialmente en épocas de escasa demanda para riegos, llegando así hasta Albudeite, donde se produce el vertido del alcantarillado de este pueblo en el que van incluidas aguas residuales de industrias conserveras.

Siguiendo el curso del río, un kilómetro y medio después, una presa desvía prácticamente todo el caudal por una acequia que discurre por la margen izquierda. De nuevo se reconstruye el río antes de llegar a Campos del Río, con afloramientos subterráneos y sobrantes de riegos, produciéndose a la altura de este pueblo el vertido conjunto de las aguas de alcantarillado e industriales.

En el trayecto entre Campos del Río y Alguazas el río desaparece paulatinamente utilizado en la red de riegos de Los Rodeos, reconstituyéndose después, una vez más, para un breve tramo, en base a vertidos

urbanos de Alguazas y algunas industrias y explotaciones agrarias, para desembocar poco después en el Segura, con escaso caudal.

### PUNTOS DE MUESTREO

A la vista de la situación de los cauces y de la distribución de los vertidos, se seleccionaron para la recogida sistemática de muestras diez puntos o estaciones estratégicamente repartidos a lo largo de los cursos de los dos ríos objeto de estudio. Estos puntos están señalados en el plano y su identificación se describe en la tabla 1.

Las tomas de muestras se realizaron en las siguientes fechas: 14-2-79, 28-2-79, 24-4-79, 31-5-79, 27-9-79, 25-10-79, 13-12-79 y 9-1-80 entre las 10 y las 13 horas de los días correspondientes, sirviendo los resultados analíticos de los dos primeros muestreos, junto con los exploratorios, de base para la redacción del Informe encargado por el Consejo Regional, y los de la totalidad para la elaboración del presente trabajo.

### PARAMETROS ESTUDIADOS

Se han estudiado de forma sistemática los parámetros o características de tipo físico y químico siguientes:

- Temperatura del agua.
- Turbidez.
- pH.
- Conductividad.
- Oxígeno disuelto.
- Demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días (DBO5).
- Demanda química de oxígeno (DQO dicromato).
- Nitrógeno amoniacal.
- Nitrógeno de nitratos.

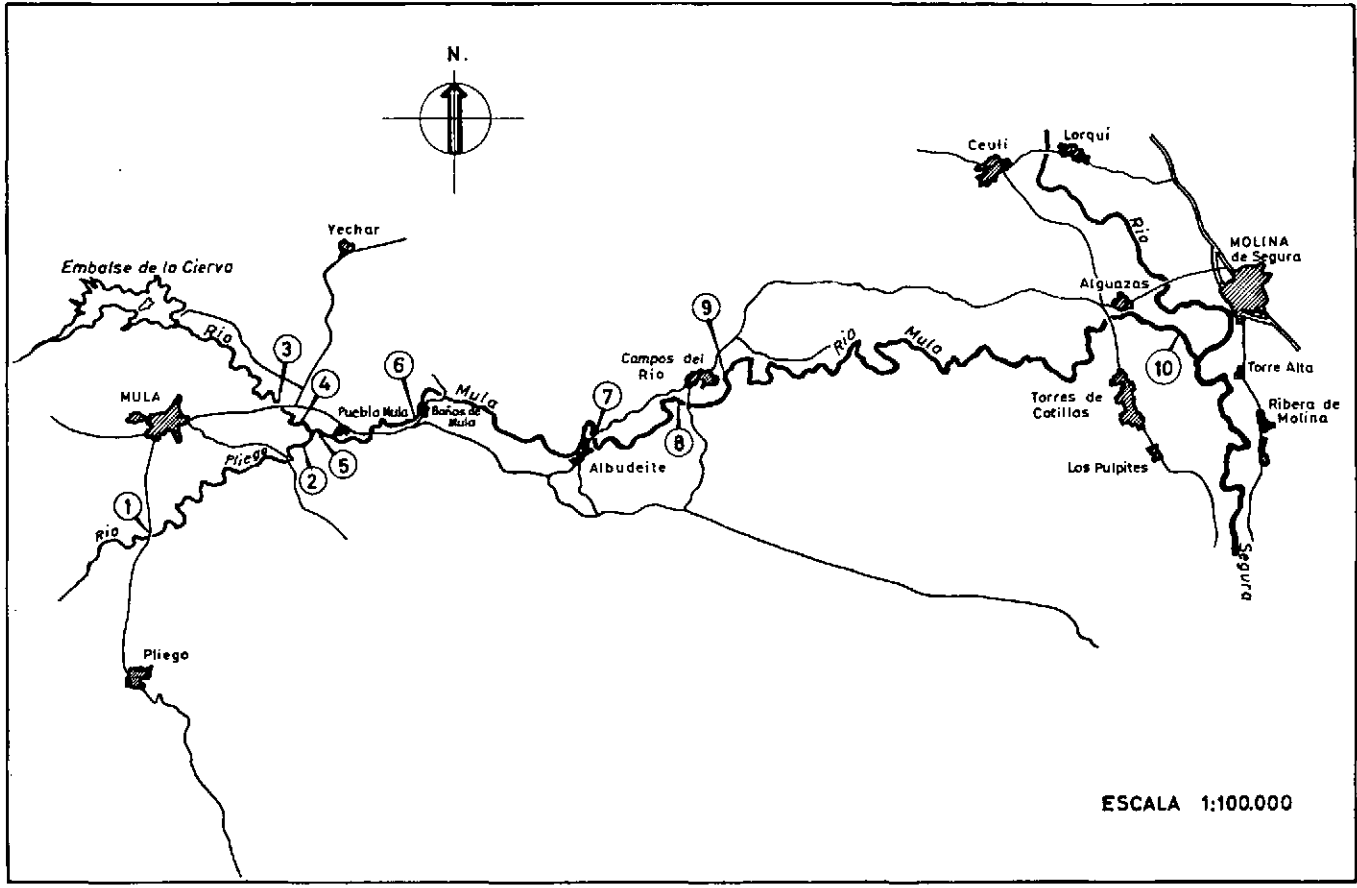
TABLA 1

#### DESCRIPCION DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO

*Número*

1	Río Pliego, en el puente de la carretera Pliego-Mula.
2	Río Pliego, 100 metros antes de la confluencia con el río Mula.
3	Río Mula, en el puente de la carretera Alcantarilla-Mula.
4	Río Mula, 100 metros antes de la confluencia con el río Pliego.
5	Río Mula, 200 metros después de la confluencia.
6	Río Mula, poco antes de Baños.
7	Río Mula, en el puente después de Albudeite.
8	Río Mula, en el puente antes de Campos del Río.
9	Río Mula, después de la depuradora de Campos del Río.
10	Río Mula, en la desembocadura al río Segura.





El criterio seguido en la selección de estos parámetros (de acuerdo con el objeto del trabajo) ha sido el de conseguir simultáneamente los datos analíticos necesarios para estimar el grado de contaminación en la cuenca del río Mula, así como para disponer de algunos elementos de juicio en orden a establecer la calidad de sus aguas para usos agrícolas.

De lo expuesto en el apartado «Exploraciones previas», puede deducirse lo tremendamente dificultosa que resulta la evaluación de los caudales; no obstante, a lo largo del período estudiado se hicieron algunas estimaciones de caudal en los puntos más estratégicos, que pueden ser indicativos, pero que no cubren puntas momentáneas.

Como resultado de tales estimaciones se encontró que el caudal en el río Pliego durante dicho período ha oscilado entre 10 y 80 l/seg. En el río Mula, antes de su confluencia con el Pliego, osciló entre 5 y 100 l/seg. Tras la unión de ambos, la zona de máximo caudal es la ya citada después de los vertidos de Baños de Mula. Las estimaciones realizadas en la desembocadura del río Mula en el Segura arrojaron unos valores comprendidos entre 15 y 40 l/seg.

Los límites fijados a estos parámetros por la Administración para el caso de cauces vigilados —cuyas aguas son utilizadas fundamentalmente para usos agrícolas— están reguladas por la Orden de 4 de septiembre de 1959 del Ministerio de Obras Públicas —«BOE» de 10-9-59—, e Instrucciones comunicadas de junio de 1960, son:

Temperatura... ..	Menor de 25° C
Turbidez ... ..	Comprendida entre 1,5 y 4° sílice
pH ... ..	Comprendido entre 5,3 y 9
Conductividad ... ..	Menor de 1.330 $\mu$ S/cm
Oxígeno disuelto ... ..	Mayor de 3 mg/l
DBO5 ... ..	Menor de 15 mg/l
DQO ... ..	—
N-NH <sub>3</sub> ... ..	Menor de 1 mg/l
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ... ..	Menor de 200 mg/l

## TECNICAS ANALITICAS

Algunos de los parámetros han sido determinados en campo con instrumental portátil, así:

- Conductividad: Se ha medido con un conductivímetro marca «Ysi».
- pH: Medidor marca «Radiometer».

- Oxígeno disuelto: Mediante un medidor marca «Ysi».
- Temperatura: Medida con termómetro con graduación en décimas de grado.

Los restantes parámetros fueron determinados en el laboratorio tomando las precauciones descritas en los métodos analíticos respectivos para preservar las muestras, en tanto fuese necesario.

- Turbidez: Medida con un turbidímetro marca «Hach».
- DBO5: Se ha utilizado el método de dilución de la APHA tomado del «Standard Methods».
- DQO: Entre los distintos procedimientos que aparecen en la bibliografía, se ha utilizado el método que utiliza como agente oxidante dicromato potásico (Normas AFNOR y APHA) tomadas de DEGREMONT y «Standard Methods».
- Nitrógeno Amoniacal: Se ha utilizado la determinación colorimétrica del método de Nessler tomado de RODIER.
- Nitrógeno-Nitratos: Se ha realizado determinación colorimétrica siguiendo el método de la brucina tomado de «Standard Methods».

## RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados de los análisis de los distintos parámetros efectuados a todas las muestras se recogen en las tablas 2 y 10.

Al observar de forma global dichos resultados, y particularmente en el caso de los parámetros más significativos, tales como DBO5, DQO,  $\text{NH}_3$ , Turbidez (figuras 1, 2, 3 y 4), puede apreciarse la existencia de tres situaciones diferenciadas, correspondientes a distintas épocas. La primera comprende los dos primeros muestreos, de fechas 14-2-79 y 28-2-79. En las citadas tablas, junto a los datos analíticos correspondientes a estas dos fechas, se hallan sus respectivos valores medios. Estos datos, según se indicó anteriormente, se utilizaron para la redacción del Informe al Consejo Regional, y denotan de hecho las pésimas condiciones que provocaron la situación conflictiva ya comentada.

La segunda fase comprende los cuatro muestreos correspondientes a las fechas 24-4-79, 31-5-79, 27-9-79 y 25-10-79. Sus resultados analíticos, junto a sus valores medios, se incluyen en las tablas, y reflejan una notable mejoría en los citados parámetros como consecuencia de la cloración en determinados puntos del cauce del río y de la adopción de algunas de las recomendaciones incluidas en el Informe, tales como limpieza de los

tanques de decantación de alcantarillado, pretratamiento de vertidos en algunas fábricas, etc.

TABLA 2

## TEMPERATURA, °C

	14/2	28/2	Media	25/4	31/5	27/9	25/10	Media	13/12	9/1	Media
1	8,0	10,0	9,0	15,0	—	—	16,0	10,5	10,0	5,0	7,5
2	10,5	10,0	10,3	15,0	22,0	25,0	17,2	19,8	11,0	7,5	9,3
3	11,2	8,0	9,6	14,0	17,5	16,0	16,0	15,9	9,5	13,0	13,3
4	10,5	9,0	9,8	15,5	18,0	20,5	16,2	17,6	12,0	8,0	10,0
5	13,0	10,0	11,5	16,0	27,0	25,5	18,7	21,8	14,0	11,3	12,7
6	13,0	10,0	11,5	16,0	27,0	25,5	18,7	21,8	14,0	11,3	12,7
7	16,0	13,0	14,5	19,0	29,0	26,0	21,0	23,8	20,0	15,0	17,5
8	—	—	—	17,0	23,0	—	20,0	15,0	17,0	10,5	13,8
9	—	—	—	17,0	23,0	24,0	22,0	21,5	17,0	14,0	15,5
10	—	13,0	13,0	17,5	—	20,0	19,0	14,1	17,0	14,0	15,5

Finalmente, la tercera fase, que abarca los dos muestreos que se efectuaron en las fechas 12-12-79 y 9-1-80, ofrece valores medios que indican de nuevo un empeoramiento con retorno a situaciones de partida e incluso peores, debido al abandono de las medidas anteriormente tomadas.

En cuanto a la evolución de los distintos parámetros dentro del ciclo estudiado, tenemos:

## TEMPERATURA

Los valores correspondientes a la temperatura del agua en las distintas estaciones están recogidos en la tabla 2.

De forma general, puede apreciarse en dicha tabla la lógica influencia de la temperatura ambiental en cada estación, máxime cuando se trata de una masa de agua tan exigua, y la no menos lógica de los distintos vertidos que se van produciendo.

En este último sentido, merece destacarse el aumento que en la temperatura del agua del río se produce por el vertido de las aguas termales en Baños de Mula, dando lugar en conjunto, en invierno, a una temperatura media próxima a los 20° C, hecho favorecedor de los procesos biológicos de autodepuración que se desarrollan en el seno del agua.

El examen de la tabla 2 revela que sólo en contados casos se supera el límite de temperatura menos exigente (25° C) establecido para cursos de agua vigilados no salmoneros.





En la confluencia de los ríos Mula (por la izquierda) y Pliego (por la derecha) se aprecia el grado de contaminación del primero.



Poco antes de la Puebla de Mula éste es el aspecto del río.





La actual depuradora de Mula, colmatada de materiales sólidos, evidencia su inutilidad.



En la poceta de descarga al río Mula de la Acequia de las Tapias, se aprecian los residuos de pulpa de naranja que pone de manifiesto la incidencia de la contaminación de origen industrial.



TABLA 3  
TURBIDEZ (NTU)

	14/2	28/2	Media	25/4	31/5	27/9	25/10	Media	13/12	9/1	Media
1	28,5	13,5	21,0	5,3	—	—	80,0	42,6	15,0	2,2	8,6
2	39,0	4,8	21,9	6,8	18,0	—	46,0	23,6	28,0	3,2	15,6
3	8,0	1,4	4,7	3,5	12,0	—	10,0	8,5	12,0	3,8	7,9
4	130,0	115,0	122,5	13,0	7,2	—	17,0	12,4	125,0	64,0	94,5
5	42,0	27,0	34,5	11,0	14,0	—	26,0	17,0	110,0	45,0	77,5
6	53,0	7,7	30,3	8,7	8,6	—	75,0	30,7	87,0	40,0	63,5
7	53,0	13,0	33,0	12,0	10,0	—	15,0	12,3	37,0	50,0	43,5
8	—	—	—	25,0	18,0	—	12,0	18,3	32,0	2,5	17,2
9	—	—	—	70,0	28,0	—	65,0	54,3	72,0	60,0	66,0
10	—	20,0	20,0	10,0	—	—	13,0	11,5	48,0	40,0	44,0

TABLA 4

pH

	14/2	28/2	Media	25/4	31/5	27/9	25/10	Media	13/12	9/1	Media
1	8,0	8,2	8,1	8,2	—	—	7,5	7,8	7,8	8,2	8,0
2	7,9	8,3	8,1	8,1	7,8	7,8	7,3	7,7	7,2	8,1	7,6
3	7,7	8,0	7,8	8,1	7,8	7,6	7,7	7,8	7,4	6,9	7,6
4	6,8	7,4	7,1	8,1	7,6	7,8	6,9	7,6	7,1	6,8	6,9
5	7,2	8,0	7,6	8,1	7,8	7,8	7,6	7,8	7,1	6,9	7,0
6	7,2	8,2	7,7	8,0	8,1	7,7	8,2	8,0	5,0	6,7	5,8
7	7,3	—	7,3	7,6	7,5	6,7	8,1	7,4	7,3	7,3	7,3
8	—	—	—	8,0	7,8	—	7,8	7,9	7,4	8,1	7,7
9	—	—	—	7,3	7,2	7,0	6,8	7,0	5,4	7,3	6,3
10	—	7,7	7,7	6,7	—	7,7	8,1	7,5	6,0	6,1	6,1

TURBIDEZ

Teniendo en cuenta que la Organización Mundial de la Salud califica como excesiva una turbidez de 25 Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU) en un agua, puede deducirse al observar la tabla 3 que en el río Mula existen zonas representadas por las estaciones de muestreo 4, 5, 6, 7 y 9, en las que durante la 1.<sup>a</sup> y 3.<sup>a</sup> fases se dan valores de turbidez preocupantes, no sólo desde el punto de vista estético, sino por el peligro que puede acarrear para los suelos al utilizar estas aguas para riego.

Otro aspecto negativo de tan altos valores de turbidez es que se dificulta la realización de la fotosíntesis por la microflora acuática, por disminución de la transparencia que reduce la penetración de la luz.

pH

Los valores de pH encontrados en casi todos los casos, tabla 4, son adecuados para los procesos biológicos que tienen lugar en el agua. De

igual forma, no revisten peligrosidad para la utilización de estas aguas en riegos, si exceptuamos algunos casos esporádicos, tales como los del muestreo de fecha 13-12-79 para las estaciones 6 y 9 con valores muy ajustados al límite inferior señalado para este tipo de aplicaciones.

TABLA 5  
CONDUCTIVIDAD ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )

	14/2	28/2	Media	25/4	31/5	27/9	25/10	Media	13/12	9/1	Media
1	1300	1208	1254	1950	—	—	480	1215	1996	1660	1828
2	2370	2380	2375	2700	3670	3230	970	2642	3110	2700	2905
3	2840	2720	2780	2880	2930	3180	1850	2710	2790	1200	1995
4	2710	2760	2735	3370	3450	4400	2300	3380	3590	1970	2780
5	2530	2480	2505	3340	3610	3700	1150	2950	3490	2030	2760
6	2570	2530	2550	3370	4190	3370	960	2297	3230	2300	2760
7	2410	2520	2465	3040	3180	3100	1220	2635	2820	2000	2410
8	—	—	—	2610	2430	—	1550	2196	2500	2470	2485
9	—	—	—	3560	3840	3650	1900	3237	3130	2530	2830
10	—	1610	1610	1440	—	1200	1000	1213	1858	1500	1679

En general, tanto en el río Pliego como en el Mula hay un predominio de valores de pH ligeramente alcalinos.

#### CONDUCTIVIDAD

Son de destacar los altos valores de conductividad que presentan las aguas de estos ríos ya desde el principio, tabla 5, y muy especialmente el Mula, que ya en la estación de muestreo núm. 3 denota una elevada salinización natural, debida, sin duda, al origen subterráneo de sus aguas, y que después, salvo en la dilución con el Pliego, se va incrementando merced a los vertidos y a los procesos de mineralización de la materia orgánica.

Los valores de conductividad superan prácticamente en casi todos los casos el límite establecido para cauces vigilados, por lo que el uso de estas aguas en riegos puede acarrear efectos perjudiciales directos a los cultivos y diferidos por salinización de los suelos.

#### OXÍGENO DISUELTO

El contenido de oxígeno disuelto presentó en varias zonas de muestreo, tabla 6, valores no sólo próximos al límite marcado por la ley, sino claramente inferiores, lo que provoca condiciones anaerobias con desprendimiento de malos olores, tan característicos en determinados lugares del río Mula.

La existencia de oxígeno disuelto es de gran trascendencia en los procesos que ocurren dentro del medio acuático y está estrechamente ligado con la estabilización de la materia orgánica presente en este medio; por esta razón, se han correlacionado los valores de este parámetro y los de los más directamente implicados con la carga orgánica,  $\text{NH}_3$ , DBO5 y DQO, obteniéndose buenos coeficientes de correlación con un alto nivel de significación, tabla 12.

TABLA 6  
O<sub>2</sub> DISUELTO (mg/l)

	14/2	28/2	Media	25/4	31/5	27/9	25/10	Media	13/12	9/1	Media
1	10,6	8,8	9,7	8,9	—	—	7,5	8,2	10,5	11,8	11,1
2	9,8	10,6	10,2	8,7	7,8	7,7	7,0	7,8	10,5	11,8	11,1
3	8,0	9,6	8,8	8,2	6,8	6,5	5,4	6,7	8,0	1,0	4,5
4	0,7	1,7	1,2	7,8	6,6	7,9	4,2	6,6	5,0	3,1	4,0
5	5,8	8,8	7,3	8,3	7,8	7,1	6,8	7,5	5,5	7,4	6,4
6	3,2	9,5	6,3	8,2	8,6	7,8	7,1	7,9	3,5	7,0	5,2
7	4,6	9,8	7,2	7,1	4,7	6,8	7,1	6,4	7,1	3,8	5,4
8	—	—	—	8,3	7,4	—	6,8	7,5	6,8	11,0	8,9
9	—	—	—	0,0	0,8	2,1	1,5	1,1	8,0	7,8	7,9
10	—	4,8	4,8	1,8	—	6,7	5,9	3,2	3,3	0,5	1,9

#### DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO5)

Los valores de DBO5 detectados prácticamente en todas las estaciones del río Mula son superiores al nivel señalado para cauces vigilados, y sólo en contados momentos a lo largo del periodo estudiado en el río Pliego son inferiores, tabla 7.

Por los valores medios de DBO5 en las tres fases, todos los puntos muestreados en el sistema Pliego-Mula corresponden a zonas polisaprobias o de fuerte contaminación orgánica.

Dentro de la grave contaminación orgánica comprobada merece destacarse que el río Pliego, de caudal igual y en algunos casos superior al Mula en el momento de la confluencia, presenta una situación aceptable, particularmente cuando no se produce el ya poco frecuente pero cargadísimo vertido de la Acequia del Molino, a la que van a parar en ocasiones los efluentes de determinadas industrias conserveras. Por otra parte, se aprecia como —cuando no encaja el citado vertido— su corriente, de aguas relativamente claras, frescas y con disponibilidad de oxígeno, posee un cierto grado de capacidad autodepuradora entre las dos estaciones muestreadas.

En cuanto al río Mula, pasa de una situación mediana por su carga orgánica y buena por su turbidez y O<sub>2</sub> disuelto en el punto de muestreo

número 3 en el puente de la carretera Alcantarilla-Mula, a un estado de fortísima contaminación antes de la confluencia con el Pliego, y después de haber recibido el alcantarillado de Mula a través de la Acequia de las Tapias. Este punto ha de considerarse como uno de los más críticos a lo largo de toda la cuenca, presentando índices de DBO<sub>5</sub>, DQO, NH<sub>3</sub> y turbidez altos y O<sub>2</sub> disuelto muy bajo.

Después de la confluencia con el río Pliego se aprecia en la estación número 5 un lógico fenómeno de dilución con leve mejoría en todos los parámetros, a excepción de los nitratos. Desde aquí y hasta el próximo punto de muestreo en Baños de Mula el río recibe los vertidos de Puebla de Mula, y los valores de las distintas características permanecen al mismo nivel o empeoran levemente.

TABLA 7

DBO<sub>5</sub> (mg O<sub>2</sub>/l)

	14/2	28/2	Media	25/4	31/5	27/9	25/10	Media	13/12	9/1	Media
1	46	3	24,5	5,0	—	—	78,4	41,7	47	21	34,0
2	30	101	65,5	6,0	16,0	35,0	13,0	17,5	50	295	172,5
3	36	198	117,0	9,0	15,0	54,0	28,3	26,5	325	28	176,5
4	275	623	449,0	48,0	25,0	94,4	34,0	50,3	248	275	261,5
5	260	470	365,0	30,5	24,0	92,0	31,0	44,3	75	280	177,5
6	225	210	217,5	31,0	77,4	75,3	26,4	52,5	300	158	229,0
7	60	208	134,0	46,0	52,0	164,4	35,0	74,3	110	86	96,0
8	—	—	—	17,0	19,0	—	37,0	24,3	94	27	60,5
9	300	—	300,0	204,5	261,5	181,0	294,0	235,2	350	133	241,5
10	—	450	450,0	91,0	—	25,0	36,0	50,6	204	251	227,0

Entre Baños y Albudeite (estación núm. 7) el río experimenta, en términos globales, una ligera autodepuración enmascarada en ocasiones por algunos valores puntuales de DBO<sub>5</sub> un tanto elevados durante la 2.<sup>a</sup> fase, que fue de notable mejoría (y esto a pesar de la importante dilución producida por el vertido de los Baños).

En el tramo comprendido entre Albudeite y el puente antes de Campos del Río, debido a la discontinuidad en la corriente de agua provocada por la presa existente y a los diversos afloramientos freáticos se produce una cierta mejoría en la calidad del agua.

Poco dura esta situación, pues, aproximadamente a unos 2 km aguas abajo, se produce el vertido del alcantarillado de Campos del Río —que también incluye efluentes de fábricas de conservas de la localidad— el cual, tras pasar a través de una depuradora de tanques Ihmoff que no funciona, ocasiona en conjunto un agua residual muy cargada cuyo impacto en el río provoca de forma permanente la zona más contaminada



de todo el curso fluvial, con valores medios de DBO5 superiores a 230 mg/l, tabla 7.

Entre Campos del Río y Alguazas —trayecto más largo entre dos estaciones de muestreo consecutivas— el río es exhaustivamente aprovechado en regadíos, y prácticamente desaparece en determinadas épocas, engrosándose de nuevo en los últimos metros de su recorrido, como ya se citó, en base a los vertidos del alcantarillado de Alguazas, Barrio de San Pedro y de algunas industrias conserveras. Ello hace que en la última estación de muestreo, próxima a su desembocadura en el río Segura, los valores de DBO5 sean muy altos, tabla 7.

#### DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

Los valores de DQO determinados, tabla 8, son en todos los casos superiores a los de DBO5 y, además, la relación DQO/DBO5 para todas las estaciones muestreadas está dentro del rango (1,25 a 2,5), que según Metcalf y Eddy es característico de aguas residuales domésticas, tabla 11. Ello revela un predominio de la contaminación de origen urbano y agrícola, con una pequeña proporción de materia orgánica que no es biodegradable o a lo sumo lo es muy lentamente (tales como cierto tipo de detergentes, grasas, ligninas, residuos de plaguicidas, etc.).

Este mismo hecho indica que en las estaciones 6 y 7, con valores de la relación DQO/DBO5 próximos al límite superior antes citado, y en la estación núm. 9, con un valor de dicha relación claramente superior, se da un fuerte aumento de la materia orgánica no biodegradable, lo que se puede confirmar con la simple observación visual de las aguas en aquellos puntos, en los que es frecuente la existencia de residuos vegetales con esta característica, tales como semillas de tomate y pimiento, pulpa de naranja, mondaduras de frutas y alcachofas, etc. Por otra parte, deben aumentar asimismo las sustancias químicas reductoras de tipo inorgánico. Unos y otros contaminantes son originados por los efluentes de industrias conserveras ubicadas en dichas zonas.

#### NITRÓGENO AMONICAL

Los valores correspondientes a la concentración de nitrógeno amoniacal, tabla 9, presentan una distribución concordante con los de la DBO5, como lo demuestra el coeficiente de correlación entre ambos parámetros ( $r = 0,817$ ), con un nivel de seguridad o significación muy alto ( $p = 0,99$ ). Este hecho es explicable, ya que los tipos de vertidos que recibe el río son fundamentalmente de origen urbano y de industrias agro-

alimentarias, en los que predomina la materia orgánica, con el nitrógeno en las formas predominantes de urea y proteínas, que rápidamente son transformables por las bacterias en amoníaco.

TABLA 8

DQO (mg O<sub>2</sub>/l)

	14/2	28/2	Media	25/4	31/5	27/9	25/10	Media	13/12	9/1	Media
1	48	13	30,5	8	—	—	95	51,5	48	82	65,0
2	73	137	105,0	14	56	52	25	36,7	60	310	185,0
3	42	232	137,0	20	26	84	41	42,7	298	582	440,0
4	322	652	487,0	52	48	103	57	65,0	590	611	600,5
5	306	593	449,5	52	51	98	49	62,5	585	511	548,0
6	443	266	354,5	48	88	93	73	75,5	780	701	740,5
7	170	235	202,5	50	65	616	54	196,2	180	261	220,5
8	—	—	—	116	45	—	49	70,0	120	35	77,5
9	—	—	—	518	306	256	1456	634,0	2200	438	1319
10	—	515	515	200	—	36	42	92,6	480	682	581

TABLA 9

N — NH<sub>3</sub>/mg N/l)

	14/2	28/2	Media	25/4	31/5	27/9	25/10	Media	13/12	9/1	Media
1	0,37	0,73	0,55	1,59	—	—	0,49	1,04	1,10	0,49	0,79
2	1,83	2,07	1,95	3,17	2,44	1,95	0,73	2,07	1,71	3,29	2,50
3	3,29	21,45	12,37	15,60	3,29	12,25	10,15	10,32	15,86	20,34	18,10
4	28,53	23,75	26,14	18,14	4,32	14,63	12,35	12,36	17,08	10,50	18,79
5	28,53	23,75	26,14	18,14	4,32	14,63	12,35	12,36	17,08	20,50	18,79
6	7,35	10,20	8,77	6,95	3,80	2,71	0,85	3,57	10,98	12,20	11,59
7	1,59	2,92	2,25	5,70	3,42	4,57	1,10	3,69	3,66	8,54	6,10
8	—	—	—	1,46	1,34	—	0,98	1,26	1,22	7,85	4,53
9	—	—	—	30,84	12,63	17,73	18,00	19,80	24,40	28,65	26,52
10	—	7,34	7,34	4,95	—	5,37	1,10	3,80	2,44	8,54	5,49

También está relacionado este parámetro con la existencia de oxígeno disuelto. En nuestro caso se ha obtenido un coeficiente de correlación de  $-0,670$  con un límite de seguridad de  $0,95$ , indicando el signo negativo del coeficiente la relación inversa que existe entre ambos.

En efecto, si hay suficiente disponibilidad de oxígeno disuelto y las condiciones de temperatura y pH son adecuadas, intervienen las bacterias de la nitrificación (*Nitrosomonas* y *Nitrobacter*) transformando el amoníaco primeramente en nitritos y finalmente en nitratos.

El pH óptimo de estas reacciones es de 7 a 8,2, estando los valores encontrados de este parámetro (salvo alguna excepción puntual) comprendidos dentro de este rango.

La nitrificación, como todos los procesos biológicos, se ve afectada por la temperatura, de manera que un aumento de la misma acelera la velocidad de la reacción, pero debe tenerse en cuenta que al mismo tiempo se perjudica la solubilidad del oxígeno en el agua. En este estudio, salvo algún caso en que se ha bajado de los 10° C, las condiciones han sido favorecedoras de un buen ritmo en el proceso.

Sin embargo, como en la nitrificación 1 mg de nitrógeno amoniacal requiere para su oxidación aproximadamente 4,5 mg de oxígeno, esta exigencia limitaría el proceso biológico en determinadas zonas conflictivas de máxima contaminación.

Los valores de la concentración de nitrógeno amoniacal encontrados, a excepción de los correspondientes al primer punto de muestreo situado en el río Pliego, son superiores al límite establecido para cursos de agua de este tipo.

TABLA 10  
N — NO<sub>3</sub> (mg N/l)

	14/2	28/2	Media	25/4	31/5	27/9	25/10	Media	13/12	9/1	Media
1	7,48	8,36	7,92	15,21	—	—	0,00	7,60	1,32	2,64	1,98
2	11,00	16,72	13,86	13,20	11,00	12,32	4,40	10,23	8,80	14,52	11,66
3	27,72	16,12	21,92	17,16	11,88	26,40	22,00	19,36	4,40	3,54	3,97
4	—	0,88	0,88	5,28	8,80	12,32	5,28	7,92	1,32	6,62	3,97
5	6,00	12,35	9,17	5,80	8,75	17,60	4,40	9,13	26,40	5,28	15,84
6	0,00	7,93	3,96	2,64	5,28	—	3,08	3,66	5,28	3,50	4,39
7	1,76	5,28	3,52	6,60	6,16	2,20	1,95	4,22	2,50	2,20	2,35
8	—	—	—	3,52	3,08	—	0,88	2,49	1,20	3,00	2,10
9	—	—	—	8,36	5,72	2,64	3,55	5,06	9,24	3,60	6,42
10	—	6,16	6,16	3,58	—	3,60	17,60	8,26	6,60	10,56	8,58

#### NITRÓGENO-NITRATOS

Los valores encontrados para este parámetro están en todos los casos muy por debajo del límite establecido para cursos vigilados, tabla 10.

En medios tan cargados de materia orgánica, con abundancia de nitrógeno amoniacal y condiciones aerobias, la mayor parte de los nitratos proceden de la última etapa del ciclo de la nitrificación, de ahí que en las zonas de vertido importante y reciente, estaciones 4 y 9, con escasa disponibilidad de oxígeno, las concentraciones de nitratos son relativamente más bajas que aguas abajo de dichas zonas en las que el ciclo se va completando.

Es preciso destacar el alto contenido de nitratos en el punto de muestreo núm. 3 debido al origen subterráneo del agua, como se apuntó ante-

riormente. El brusco descenso que se aprecia en la estación siguiente, se explica por la fuerte reducción (desnitrificación) que se produce en el río al recibir el vertido de la Acequia de las Tapias, creando abundantes depósitos de fango en el lecho y condiciones de anoxia. Esta situación mejoró relativamente durante la segunda fase de estimable recuperación en el río, como puede apreciarse al observar la tabla 10.

Resulta difícil correlacionar la concentración de nitratos con los restantes parámetros determinados de forma sistemática, ya que el nitrato puede ser asimilado como nutriente por la flora acuática, o reducido cuando las bacterias heterótrofas capaces de efectuar la desnitrificación encuentran las condiciones adecuadas para ello.

## MUESTREO RECIENTE

A punto de finalizar la redacción del presente trabajo, con fecha 14-1-81, se realizó una recogida de muestras en los mismos puntos en los que se había efectuado el estudio, con el fin de constatar la situación actual, transcurrido un año ya desde el último muestreo sistemático.

TABLA 11

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
DQO	1,47	1,33	1,92	1,49	1,78	2,27	2,12	1,88	3,44	1,85
DBO5										

TABLA 12

## COEFICIENTES DE CORRELACION Y NIVEL DE SIGNIFICACION

	$NH_3$	DBO5	DQO
$NH_3$	—	0,817	0,768
P		0,99	0,95
$O_2$	-0,670	-0,887	-0,791
P	0,95	0,99	0,95

Los resultados obtenidos para todos los parámetros se han recogido en la tabla 13, en la que puede apreciarse la persistencia de las pésimas condiciones, ya detectadas a lo largo del estudio, en todas las zonas del río Mula. En cambio, el Pliego, con caudal muy bajo en este muestreo, mantienen un buen nivel en todos los parámetros.

TABLA 13

	<i>t</i> °C	Turbidez NTU	pH	Conduc. μs/cm	O <sub>2</sub> disuelto mg/l	DBO5 mgO <sub>2</sub> /l	DQO mgO <sub>2</sub> /l	N-NH <sub>3</sub> mgN/l	N-NO <sub>3</sub> mgN/l
1	6	2	8,4	1400	11,8	10	15	0,4	2,0
2	7	3	8,2	2600	10,6	16	20	0,8	3,5
3	7	4	8,1	2460	7,6	22	35	1,4	7,5
4	11	75	7,2	2350	4,3	390	1100	20,2	5,4
5	9	52	7,2	2690	4,5	343	985	19,8	3,1
6	7	47	7,5	2260	6,2	312	1050	12,4	2,9
7	14	50	7,8	2480	4,8	260	748	7,8	27,0
8	14	35	7,4	2100	5,4	172	430	5,4	4,3
9	12	78	7,3	2140	2,2	325	720	29,3	2,7
10	13	47	7,8	1870	4,8	216	468	7,1	11,6

## CONCLUSIONES

— Los resultados de nuestro estudio, en su primera fase, corroboran técnicamente la pésima situación alcanzada por las aguas del río Mula. Las fuertes cargas reductoras de carácter orgánico y amoniacal justifican plenamente la escasez de oxígeno en varias zonas, con lógica aparición de olores. La turbidez y la salinidad son asimismo ostensibles, aunque en la segunda tiene gran incidencia el contenido original en sales de los ríos Pliego y Mula.

— Creemos poder afirmar que existen dos grandes causas originarias de contaminación: los vertidos de la ciudad de Mula y los de Campos del Río. Ambos son núcleos con incidencia de industrias conserveras y sin depuración final efectiva. Ninguna de las otras localidades: Pliego, La Puebla y Albudeite, afectan seriamente al río.

— La incorporación de los vertidos citados al cauce ve agudizado sus efectos por el exhaustivo aprovechamiento que se hace de su caudal para riegos en repetidas ocasiones. En cada una, casi se rompe la continuidad del río al desviar el agua desde puntos de represa, lo que provoca amplias zonas de anaerobiosis y estabilización de sedimentos.

— Las medidas que se tomaron sobre las industrias y, sobre todo, la vigilancia y aplicación para riegos de la Acequia de las Tapias —desagüe urbano de Mula—, han sido efectivas durante los seis meses de su vigencia. Pasado ese tiempo y hasta el momento de redactar este trabajo, la situación ha vuelto a ser mala, prácticamente comparable a la inicial, lo que evidencia el abandono que con el tiempo suelen tener los temas en la Administración española.

— No existe vinculación alguna entre las características del río Mula en su desembocadura al Segura y hasta pocos kilómetros aguas abajo de Campos del Río. Por ello, cualquier análisis de la influencia del afluente en el Segura puede prescindir de los fenómenos que se dan en la zona a cuyo estudio nos hemos dedicado fundamentalmente.

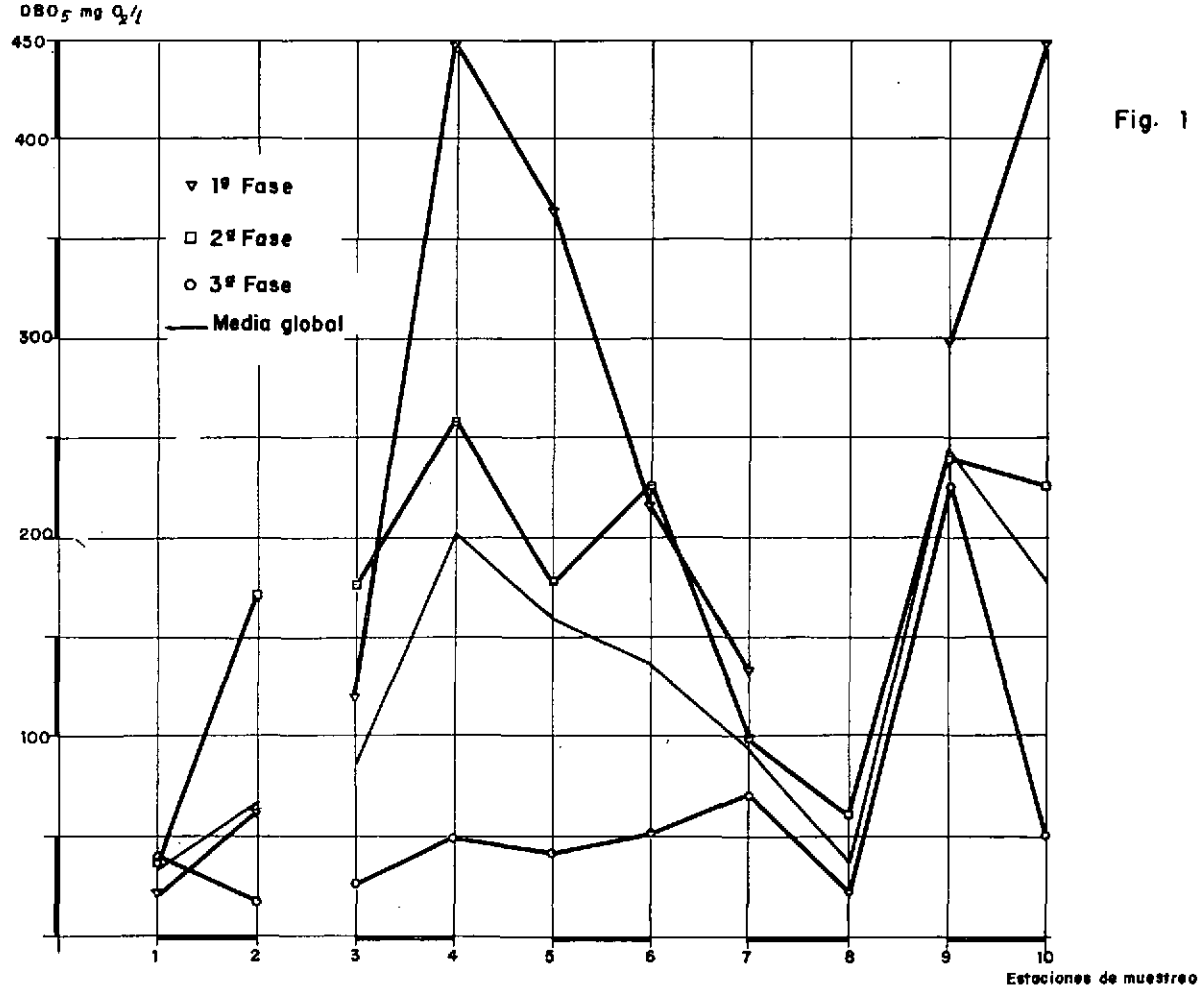


Fig. 1



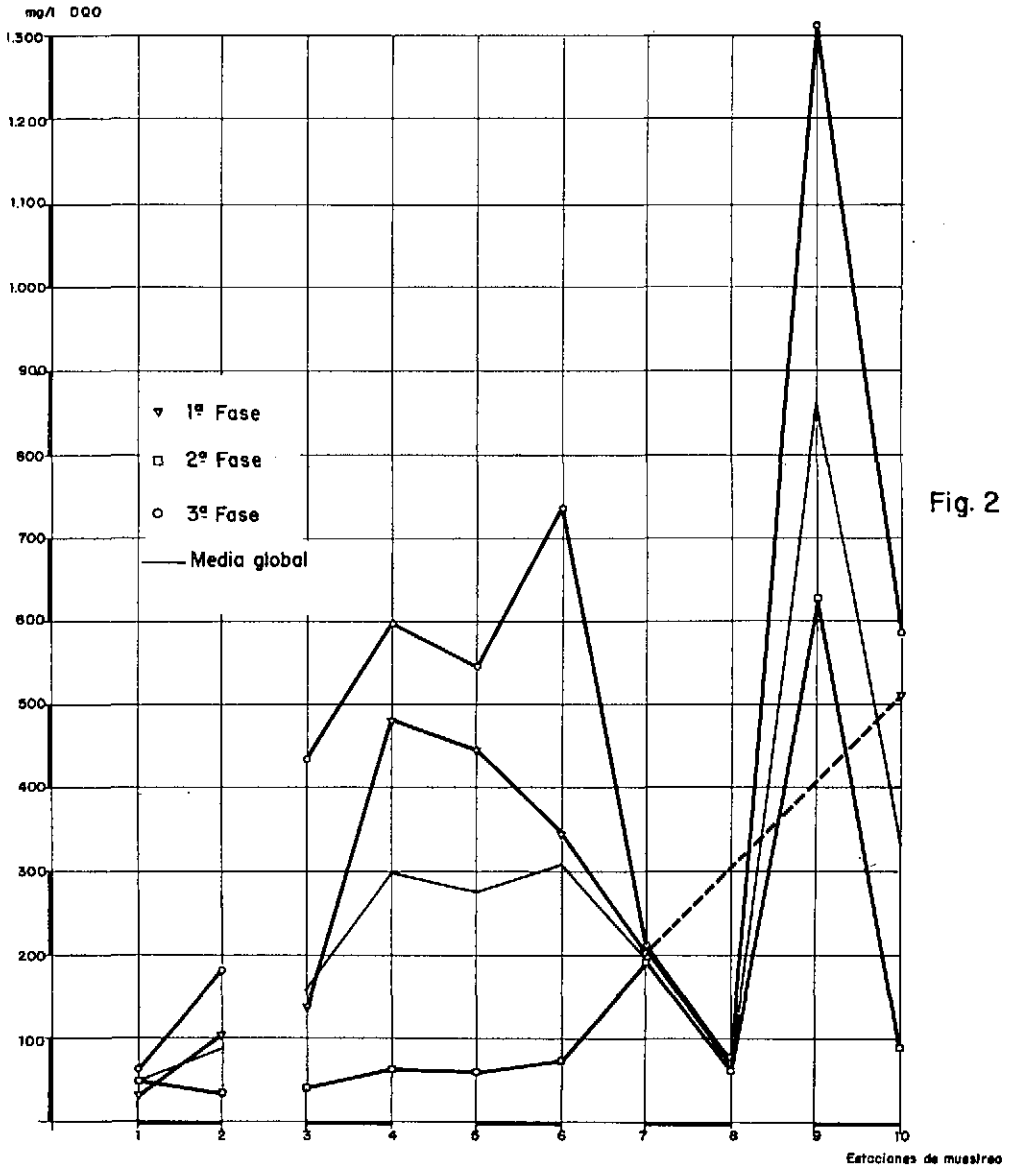
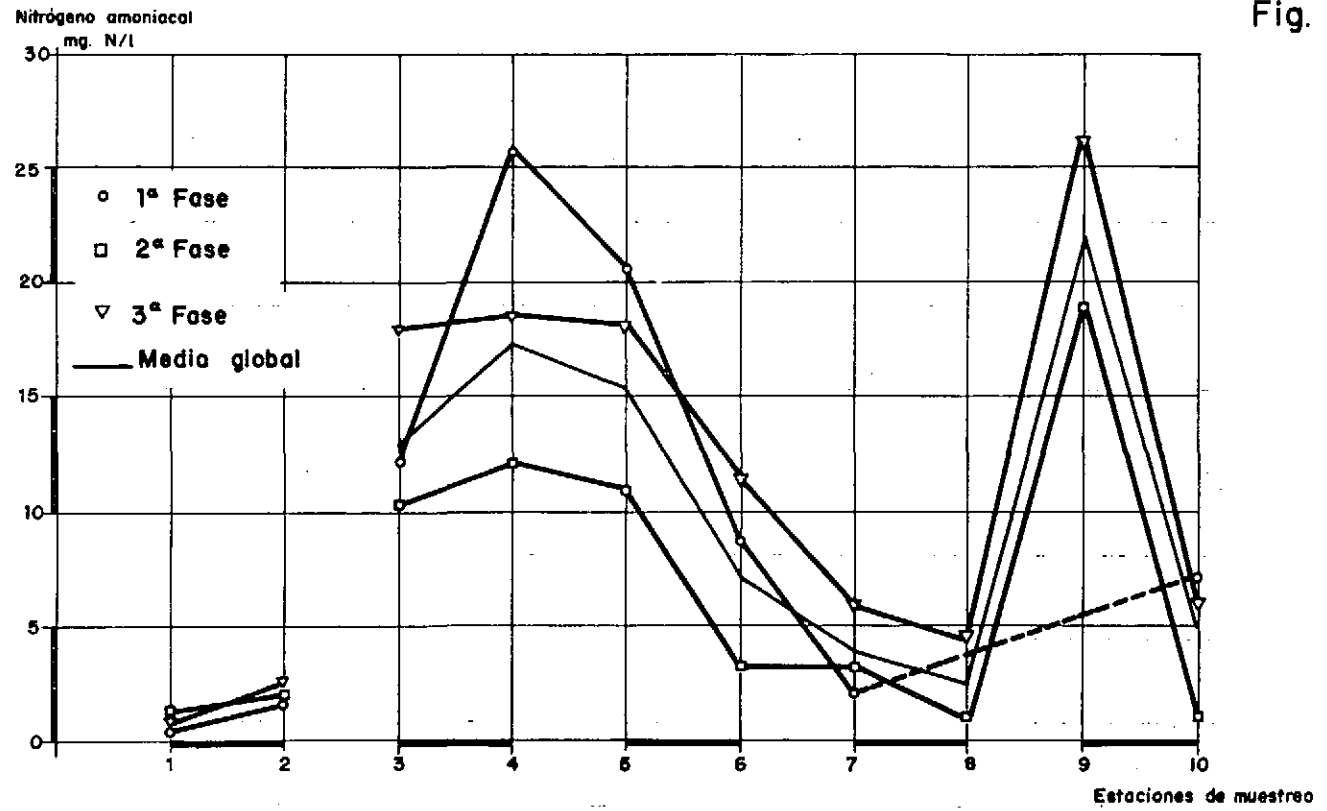




Fig. 3



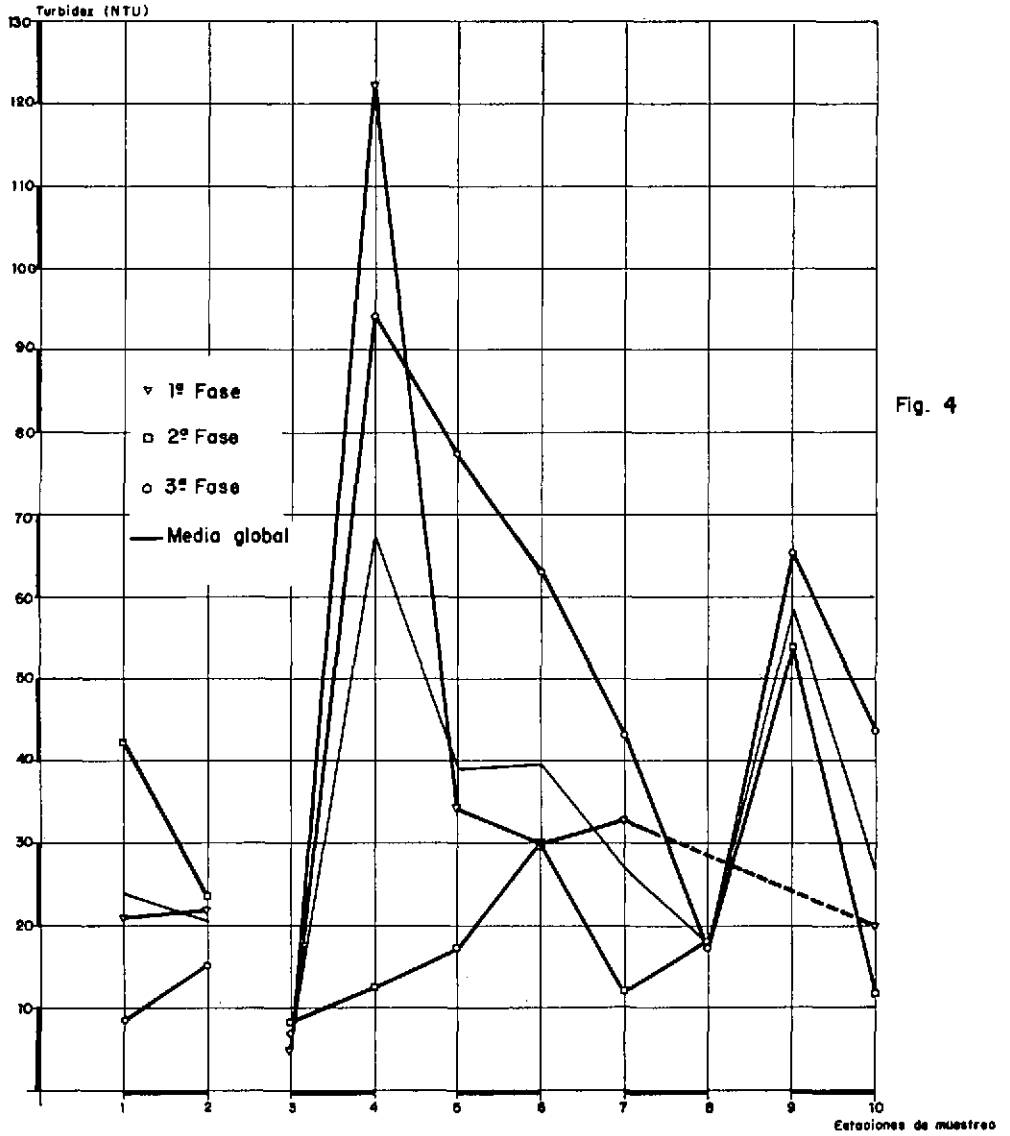


Fig. 4



## BIBLIOGRAFIA

- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. APHA, AWWA, WPCF, 13 edic., Washington, 1971.
- DEGREMONT, *Manual técnico del agua*, Grijelmo, Bilbao, 1979.
- RODIER, J., *L'analyse de l'eau*, Dunod, Paris, 1976.
- METCALF, L.; EDDY, H. P., *Tratamiento y depuración de aguas residuales*, 3.ª edic., Edit. Labor, Barcelona, 1977.
- DE LORA, F., y MIRÓ, J., *Técnicas de defensa del medio ambiente*, Ed. Labor, Barcelona, 1978.
- CATALÁN LAFUENTE, G., *Química del agua*, Ed. Blume, 1969.
- SEOANEZ CALVO, M., *Aprovechamiento y tratamientos agrarios de las aguas residuales urbanas*. Publicaciones de INIA, Madrid, 1978.
- NEMEROW, N. L., *Aguas residuales industriales. Teoría. Aplicaciones. Tratamientos*, Ed. Blume, Madrid, 1977.
- Handbook of Environmental Control*, vol. 3. Water Supply and Treatment, CRC Press, 1973.
- SCHROEDER, E. D., *Water and Wastewater Treatment*, McGraw-Hill, Nueva York, 1977.

