



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

Estudio de los procesos de
Eutrofización y su influencia en la
calidad de las aguas subterráneas

TOMO II. Memoria



SECRETARIA GENERAL DE LA ENERGIA Y RECURSOS MINERALES
MINISTERIO DE INDUSTRIA, COMERCIO Y TURISMO

37067

MEMORIA

Tomo II.

INDICE.

Parte I: Selección de la balsa a estudiar.

1. Introducción.
2. Eliminación de balsas.
 - 2.1. Selección de variables.
 - 2.2. Variables escogidas y codificación.
3. Proceso estadístico.
 - 3.1. Planteamiento y métodos utilizados.
 - 3.2. Resultados.
 - 3.2.1. Análisis cluster.
 - 3.2.2. Análisis K-M.
 - 3.2.2.1. Clasificación de las balsas.
 - 3.2.2.2. Elección del grupo.
 - 3.2.3. Análisis discriminante.
 - 3.2.4. Clasificación grupo 2.
4. Selección definitiva.
 - 4.1. Planteamiento.
 - 4.2. Hidrogeología.
 - 4.2.1. Provincia de Madrid.
 - 4.2.2. Provincia de Valladolid.
 - 4.3. Estudio del impacto ambiental
 - 4.3.1. Matriz de impacto.
 - 4.3.2. Actividades consideradas.
 - 4.3.3. Variables.
 - 4.3.4. Cálculo del coeficiente de impacto ambiental.
 - 4.3.5. Comentarios.
 - 4.4. Elección de la balsa.

5. Geología e hidrogeología de la balsa escogida.

5.1. Geología regional.

5.1.1. Estratigrafía.

5.1.2. Edad de los materiales.

5.1.3. Tectónica.

5.2. Geología local.

5.3. Hidrogeología.

Parte II: Influencia de la eutrofización sobre la calidad de las aguas subterráneas.

1. Introducción.

1.1. Características de la balsa.

1.2. Metodología de trabajo.

1.2.1. Campañas de muestreo.

1.2.2. Material utilizado.

1.2.3. Incidencias del muestreo.

2. Descripción de los datos en función de la distancia.

3. Estudio de las correlaciones entre los parámetros.

3.1. Cl^- frente SO_4^{2-} .

3.2. Cl^- frente Na^+ .

3.3. SO_4^{2-} frente Na^+ .

3.4. SO_4^{2-} frente Mg^{2+} y Ca^{2+} .

3.5. Cl^- frente Mg^{2+} y Ca^{2+} .

3.6. PO_4^{3-} frente SO_4^{2-} .

3.7. Fósforo total frente SO_4^{2-} .

3.8. PO_4^{3-} frente NO_3^- .

3.9. PO_4^{3-} frente Ca^{2+} y Mg^{2+} .

3.10. NO_3^- frente nitrógeno total.

- 3.11. PO_4^{3-} y fósforo total.
- 3.12. DQO y fósforo total.
- 3.13. PO_4^{3-} y DQO.
4. Descripción multivariable de los datos.
 - 4.1. Análisis por componentes principales.
 - 4.2. Análisis factorial.
5. Construcción del modelo de eutrofización.
 - 5.1. Proceso de construcción.
 - 5.2. Descripción del modelo.
 - 5.2.1. Fosfatos y nitratos.
 - 5.2.2. Amonio.
 - 5.3. Papel del Mn y del Fe.
 - 5.4. Constituyentes del fósforo y nitrógeno total.
 - 5.4.1. Constituyentes del nitrógeno total.
 - 5.4.2. Constituyentes del fósforo total y equilibrio del fosfato.
6. Influencia de los procesos eutróficos sobre la calidad de las aguas subterráneas.
 - 6.1. Variación conjunta de los muestreos estudio de las coordenadas de PCA.
 - 6.2. Representación conjunta de los muestreos estudio de las coordenadas de FA.
7. Influencia de los sedimentos en el equilibrio de los fosfatos.
8. Análisis del fitoplancton.
9. Conclusiones.
 - 9.1. Clasificación de las balsas en España.
 - 9.2. Eutrofización.
 - 9.3. Estudios complementarios.

9.4. Influencia de la eutrofización sobre las aguas subterráneas.

Bibliografía.

Anexos.

- Anexo 1. Relación atómica/en peso entre el nitrógeno y el fósforo.
- Anexo 2. Características físico-químicas del río Jarama.
- Anexo 3. Vegetación.
- Anexo 4. Climatología.
- Anexo 5. Suelos de los alrededores de San Martín de la Vega.
- Anexo 6. Vertidos.
- Anexo 7. Balsas recopiladas.
- Anexo 8. Matriz de diseño de las balsas recopiladas.
- Anexo 9. Resultados KM (2 grupos).
- Anexo 10. Matriz de correlaciones, PCA y FA.

Parte I.

1. INTRODUCCION.

El primer objetivo de este proyecto consistía en la elección de una balsa representativa y al mismo tiempo de fácil acceso en la que realizar el desarrollo y comprobación del modelo que se construya para la gestión de la calidad de las aguas subterráneas con respecto a la eutrofización. Ahora bien, la simple enunciación de este objetivo plantea una serie de preguntas que es necesario contestar previamente:

- ¿ Qué representatividad podemos alcanzar ?
- ¿ Cuántos tipos de balsas existen en España ?
- ¿ Es posible clasificarlas ?
- ¿ Qué tipos son más abundantes ?
- ¿ Cuáles son potencialmente más peligrosas ?

Para contestar a estas preguntas resulta necesario realizar un estudio previo que permita clasificar las balsas existentes en España, conocer cuantos grupos existen y caracterizar cada grupo.

Tan solo después de cubrir este objetivo podemos plantearnos la elección de la balsa representativa del grupo más abundante susceptible de eutrofización, y/o del grupo potencialmente más peligroso, etc.

Para un trabajo de clasificación y caracterización es necesario partir de una base de datos y la única disponible es

la recogida en el **Inventario Nacional de Balsas y Escombreras (INBE)** del **Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE)**.

En el INBE, se recogieron todas las balsas y balsas mixtas clasificadas. Entendiendo por balsa mixta a aquella que tiene una escombrera cerca de ella.

Se han estudiado 24 provincias peninsulares españolas, debido a que las fichas de las restantes provincias presentaban deficiencias con respecto a la interpretación de coordenadas de localización y a la falta de mapas de vulnerabilidad de acuíferos, mapas que más adelante se comentan.

Para realizar la clasificación de estas balsas y balsas mixtas, se estimó oportuno realizar un análisis de agrupamiento de individuos dado el gran número de fichas recogidas. Aparte de las variables cuya introducción en el cálculo no se consideró necesario, tales como la localización, coordenadas, etc. Se realiza el agrupamiento teniendo en cuenta las variables siguientes:

- Tipo de minería y terreno.
- Tamaño: longitud, anchura, altura y volumen.
- Tipología del emplazamiento.
- Emplazamiento.
- Preparación del terreno.
- Aguas existentes.
- Tratamiento.

- Nivel freático.
- Estructura del sustrato.
- Grado de fracturación del sustrato.
- Permeabilidad del sustrato.
- Permeabilidad del recubrimiento.
- Naturaleza de la balsa.
- Sistema de recrecimiento.
- Naturaleza del muro sucesivo.
- Naturaleza de los lodos.
- Granulometría de la playa.
- Consolidación.
- Sistema de vertido.
- Punto de vertido.
- Tratamiento de los vertidos.
- Drenaje.
- Recuperación del agua.
- Sobrenadante.
- Depuración de las aguas.
- Existencia de costras en la estructura.
- Impacto ambiental en los acuíferos.

Teniendo en cuenta la magnitud de datos que representa la consideración de estas variables (800 balsas y 140 categorías de las variables, aproximadamente), se realizó una selección de datos en dos direcciones: disminución del número de balsas a estudiar y reducción del número de variables para poder realizar el agrupamiento según familias de éstas.

Con la reducción del número de variables también se consigue la disminución del número de datos desconocidos, generalmente conocidos en la literatura estadística anglosajona como "missing data", minimizando la pérdida de información de las fichas del INBE, dado que no todas las variables están determinadas para todas las balsas y balsas mixtas. Aun así, será necesario trabajar con una matriz con "missing data".

2. ELIMINACION DE BALSAS.

Todas las balsas recogidas en un primer momento del INBE se localizaron en los denominados "Mapas de Riesgo de Contaminación de las Aguas Subterráneas por Vertidos sobre el Terreno" y en los "Mapas de Orientación al Vertido de Residuos Sólidos Urbanos" para la provincia de Madrid.

En estos mapas existen tres tipos de zonas clasificadas según el grado de vulnerabilidad de los acuíferos subterráneos (bajo, medio y alto). La vulnerabilidad viene dada principalmente por la permeabilidad y la fracturación del sustrato. Sin embargo, solo están realizados la mitad aproximadamente de los mapas correspondientes a la España peninsular, por lo que se decidió completar la matriz de datos primaria basada en los mapas de vulnerabilidad con los datos de balsas situadas en zonas de alta permeabilidad dadas por el mapa de "Orientación a los vertidos urbanos" de la provincia de Madrid, debido a su alta importancia económica.

Todas las balsas situadas en zonas de alto riesgo de contaminación se han conservado para el posterior análisis estadístico. Esta acción también permite eliminar un alto número de variables que se consideran correlacionadas con la que se podría denominar variable "Alto Riesgo", tal y como se explicará en el apartado 2.1.

En las gráficas 1, 2 y 3 se exponen el número de balsas por provincia que se han recogido del INBE, junto con una clasificación en función del riesgo de vulnerabilidad de los acuíferos. En el anexo se incluye la codificación de cada una de las balsas escogidas junto con su localización en coordenadas geográficas y su provincia correspondiente. Sin embargo, no se han introducido dentro de la base de datos las balsas mixtas debido a dos razones:

- Con la selección de las balsas situadas en las zonas de alto riesgo se disminuyó el número inicial de balsas mixtas hasta 10, número muy reducido para considerarlo representativo del conjunto de las provincias españolas.

- No se ha podido calcular la profundidad de la balsa, debido a que en el apartado de la ficha caracterizado como VOLUMEN no se especifica si corresponde a la balsa o a la escombrera.

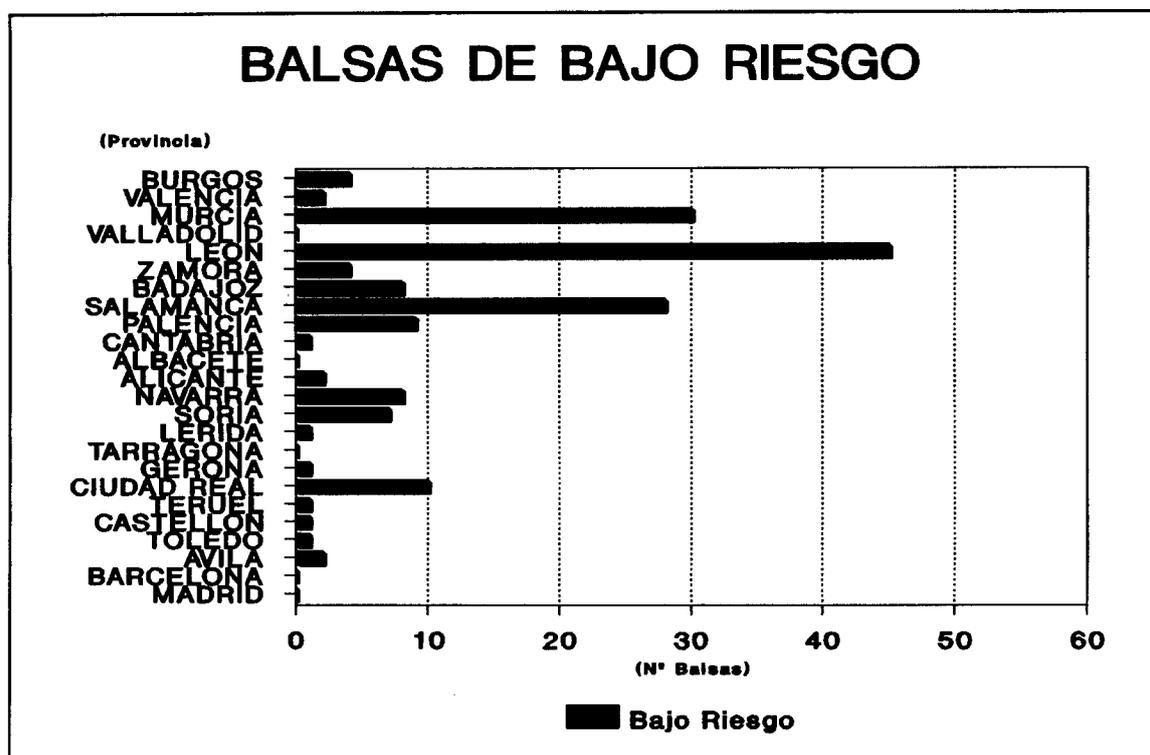


Figura 1. Distribución provincial de las balsas de bajo riesgo.

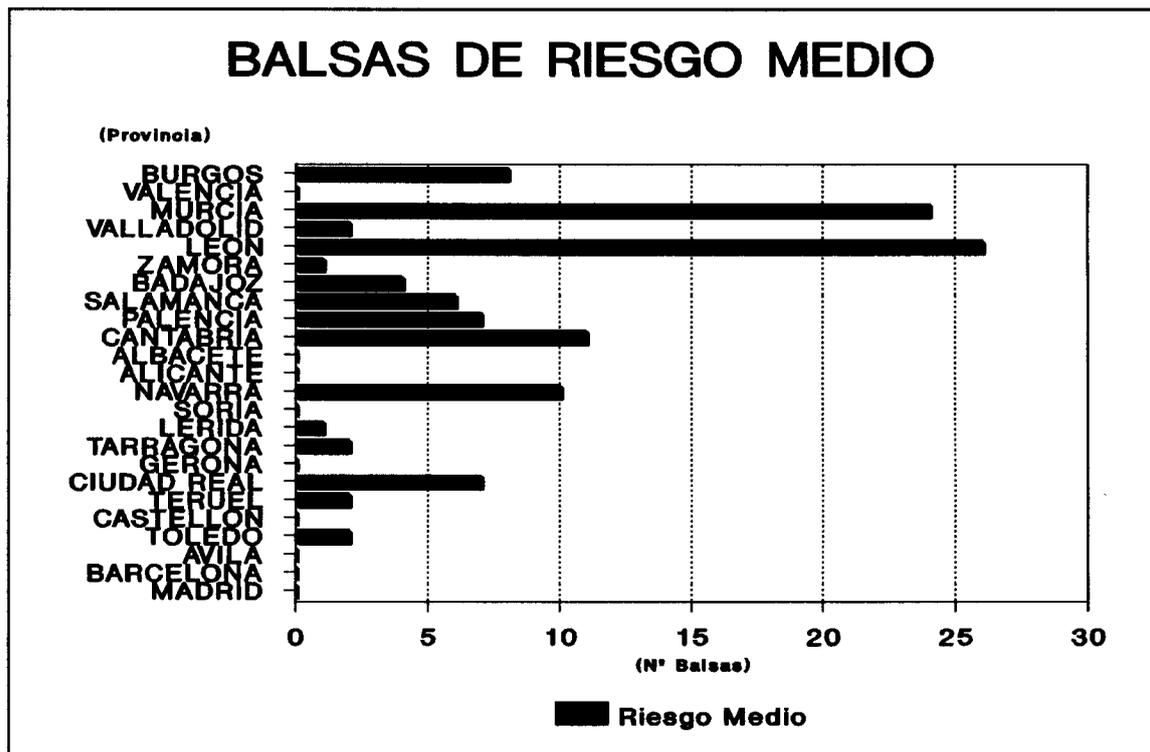


Figura 2. Distribución provincial de las balsas de riesgo medio.

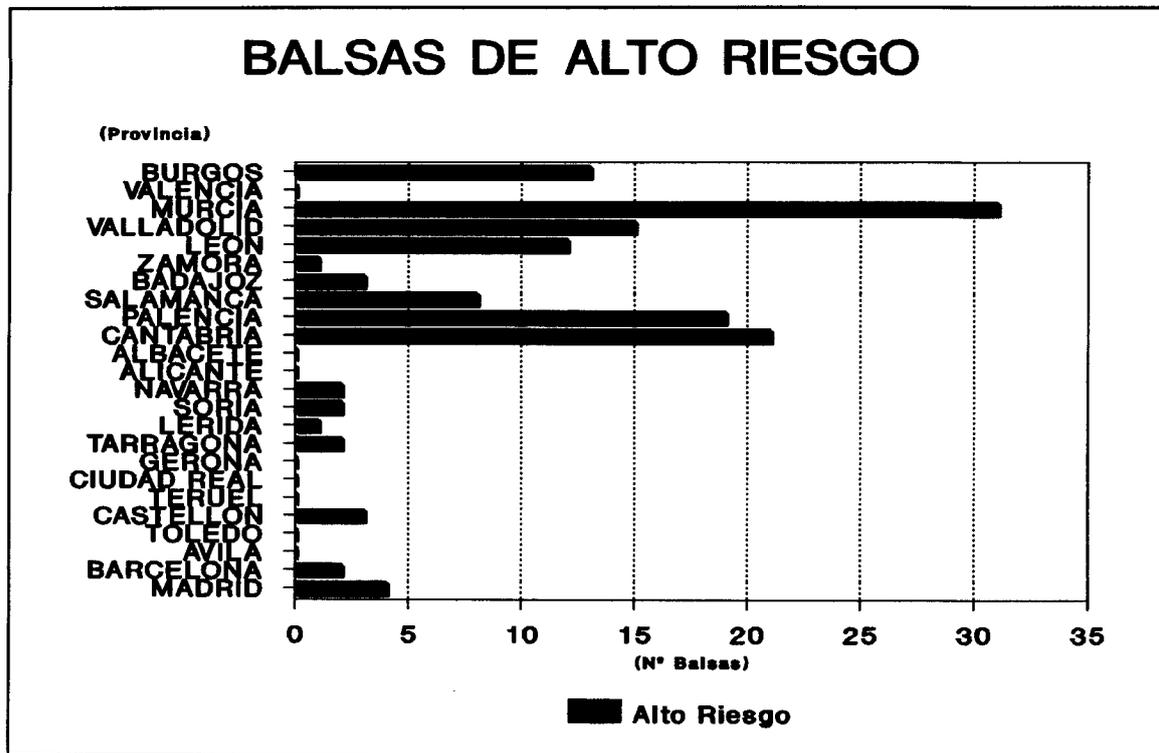


Figura 3. Distribución provincial de las balsas de alto riesgo.

2.1. Selección de variables.

Se han analizado todas las variables que aparecen en el apartado 1. El análisis se basa en la correlación de las diferentes variables con la clasificación "alto riesgo" de los mapas de vulnerabilidad de acuíferos. Se estima que una variable es redundante con "alto riesgo", si ella implica la existencia de cierto riesgo de contaminación de acuíferos.

Es necesario resaltar que las decisiones que a continuación se toman son univariantes, es decir, única y exclusivamente se tiene en cuenta una determinada variable junto con "alto riesgo" sin tener en cuenta las demás.

AGUAS EXISTENTES.

Se considera redundante con la localización de las balsas sobre las zonas con acuíferos de alto riesgo de contaminación, una zona de este tipo implica la existencia de acuíferos. No incluida en el análisis estadístico.

NIVEL FREÁTICO.

Si la zona sobre la que se localiza la balsa es de alto riesgo, se asume que el nivel freático está relativamente cerca de la superficie, y por lo tanto es más vulnerable a la contaminación que otro que no lo esté. Todas las balsas incluidas para el análisis estadístico están sobre zonas de alto riesgo, luego el valor de esta variable se puede considerar constante y no se incluirá en el análisis estadístico.

GRADO DE FRACTURACION DEL SUSTRATO.

Es evidente que si el sustrato está fuertemente fracturado, la posibilidad de que el acuífero se contamine es mayor que en el caso que no lo esté. Por esta razón, esta variable no se ha incluido en el análisis estadístico, está correlacionada con el grado de contaminación del acuífero.

PERMEABILIDAD DEL SUSTRATO.

Correlacionada con el grado de contaminación del acuífero. Cuanto más permeable sea el sustrato sobre el cual se asienta la balsa mayor riesgo de contaminación existirá. Análogo caso que la variable anterior. No incluida en el análisis estadístico.

PERMEABILIDAD DEL RECUBRIMIENTO DE LA Balsa.

En este caso la localización de las balsas sobre las zonas de alto riesgo, es totalmente independiente del recubrimiento del fondo de la balsa, por esta razón esta variable se incluirá en el proceso de selección.

Las diferentes categorías de la variable son:

- Alta.
- Media.
- Baja.

NATURALEZA DE LOS LODOS.

Esta clasificación no añade información al posible proceso de eutrofización en la balsa. La clasificación es de tipo mecánico y no químico. Para ilustrar esta aseveración se da la clasificación, para esta variable, que aparece en el Inventario de Balsas y Escombreras.

- Finos de flotación.
- Finos de separación magnética.
- Finos de lavado.
- Finos de clasificación hidráulica.
- Finos de clasificación mecánica.
- Finos de ciclonado.
- Finos de procesos industriales.

Por esta razón, no se incluye en el estudio.

GRANULOMETRIA DE LA PLAYA Y DE LA Balsa.

Se han incluido estas dos variables debido a que según la naturaleza de la región que rodea a la balsa y de la propia balsa, será posible o no, la infiltración del agua de la balsa.

Las categorías para esta variable son:

- Arena.
- Limo.
- Arcilla.

DRENAJE.

Evidentemente, el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas es mucho mayor si el drenaje es mediante infiltración natural, que si no lo es. Esta variable se ha

incluido para realizar el análisis estadístico.

Según la ficha del Inventario de Balsas y Escombreras existen las siguientes categorías para esta variable:

- Infiltración natural.
- Drenaje por chimenea.
- Aliviadero.
- Drenaje horizontal.
- Drenaje por el pie.
- Bombeo.
- Evaporación forzada.
- Ninguno.

SOBRENADANTE.

Por sobrenadante se entiende la existencia o no de un líquido claro o de un precipitado, en el fondo de una probeta, al dejar reposar una muestra de agua de la balsa. Se ha incluido en el proceso.

Las categorías son:

- Sí.
- No.

IMPACTO AMBIENTAL SOBRE LOS ACUIFEROS.

Si se escogen las balsas sobre zonas de alto riesgo, el impacto sobre los acuíferos será alto. En el Inventario de Balsas y Escombreras no se hace distinción entre acuíferos someros y profundos. No se ha incluido en el análisis estadístico.

TIPO DE TERRENO.

En los procesos de eutrofización es muy importante en que tipo de terreno está localizada la masa de agua. Si el terreno está dedicado a la agricultura, la aportación de fosfatos y nitratos es determinante en la aparición de la eutrofización, por lo tanto se incluye. Existen las siguientes categorías:

- Baldío.
- Agrícola.
- Monte bajo.
- Forestal.

TIPO DE MINERIA.

Esta variable no se ha incluido en el proceso estadístico. Posteriormente, se tendrá en cuenta una vez agrupadas las balsas en familias según el método estadístico utilizado. Se buscará una explicación a los agrupamientos que aparezcan teniendo en cuenta las variables introducidas en la matriz de diseño e incluyendo aquellas que en un principio no se habían incluido en el análisis

pero que posteriormente se juzguen necesarias para obtener una explicación completa de los agrupamientos. Una de estas variables a tener en cuenta "a posteriori" será el tipo de minería, debido al alto número de categorías (58) que aparecen en las fichas del INBE.

TAMAÑO.

Esta variable será sustituida por PROFUNDIDAD. Será una medida cualitativa debido a que se desconoce la forma exacta de la balsa y no aparece la profundidad en los ficheros del INBE. Se supondrá que la balsa tiene forma de paralelepípedo rectangular, tomándose las medidas máximas de longitud, anchura y volumen que aparezcan en la ficha correspondiente del Inventario de Balsas y Escombreras.

Se asignarán las siguientes categorías:

- Mayor o igual de 1 m.
- Menor de 1m.

TIPOLOGIA DEL EMPLAZAMIENTO.

Los parámetros geomorfológicos vienen ligados al tipo de suelo y son importantes en los estudios de eutrofización. En suelo agrícola, la utilización de fertilizantes fosfatados y nitrogenados se arrastrarán mejor en un terreno en ladera que en llano. Se ha incluido en el proceso estadístico y sus categorías

son las siguientes:

- Llano.
- Ladera.
- Vaguada.

EMPLAZAMIENTO.

Se ha considerado que esta variable está relacionada con la anterior. De esta forma se ha considerado oportuno eliminarla del análisis estadístico.

EXCAVACION (PREPARACION DEL TERRENO).

Esta variable se ha incluido en el análisis estadístico para observar si existe alguna influencia de la preparación del terreno en el posible desarrollo de la eutrofización.

Categorías de la variable:

- Desbroce.
- Tierra vegetal.
- Suelos.
- Sin preparación.

TRATAMIENTO.

Esta variable simplemente se refiere a como se arrastran los residuos de las diferentes actividades industriales hacia la balsa, por lo tanto no se ha incluido.

ESTRUCTURA DEL SUSTRATO.

Relacionada con el grado de vulnerabilidad del acuífero. En las zonas de poco riesgo de contaminación la estructura del sustrato será masiva. No se ha incluido.

NATURALEZA DEL DIQUE DE LA Balsa.

La posible infiltración del agua de la balsa a través del dique, no afecta al desarrollo de la eutrofización en ella. No se ha incluido.

SISTEMA DE RECRECIMIENTO.

Se refiere a la forma de aumentar la capacidad de la balsa una vez que ésta ha alcanzado un determinado límite. No se ha introducido.

NATURALEZA DEL MURO SUCESIVO.

Análoga a la naturaleza del dique de la balsa. No se ha incluido.

CONSOLIDACION DE LA ESTRUCTURA.

Se refiere a la resistencia de los muros de la balsa. No incluida.

SISTEMA DE VERTIDO.

El sistema de vertido sobre la balsa no tiene ninguna influencia en la posible eutrofización. No incluido.

PUNTOS DE VERTIDO.

Referido a donde se realiza el vertido en la balsa. No incluido.

TRATAMIENTO DE LOS VERTIDOS.

La información que sobre esta variable se recoge en el INBE, es únicamente de tipo mecánico y no aporta ninguna información al posible desarrollo de la eutrofización. Si esta variable tuviese alguna referencia a un tratamiento químico o biológico, si se debería haber incluido.

RECUPERACION DEL AGUA.

No incluida.

DEPURACION DEL AGUA.

Correlacionada con la anterior. No incluida.

COSTRAS EN LA ESTRUCTURA.

Relacionada con la composición del agua de la balsa, y ésta a su vez con el tipo de minería, por lo tanto esta variable no se incluye en el análisis estadístico por las mismas razones por las cuales no se ha incluido la variable "Tipo de Minería".

2.2. Variables escogidas y codificación.

A continuación se exponen las variables finalmente escogidas, con sus correspondientes categorías y codificación. La matriz de datos corresponde en sus filas a las diferentes balsas escogidas en el apartado 1 y las columnas a las variables indicadoras correspondientes.

TIPO DE TERRENO.

CATEGORIAS

Balsa	Baldío	Agrícola	Monte Bajo
Baldío	1	0	0
Agrícola	0	1	0
M. Bajo	0	0	1
Forestal	0	0	0

PREPARACION DEL TERRENO.

CATEGORIAS

Balsa	Desbroce	Tierra Vegetal	Suelos
Desbroce	1	0	0
T.Vegetal	0	1	0
Suelos	0	0	1
Sin preparación	0	0	0

PERMEABILIDAD DEL RECUBRIMIENTO.

Arcilla.....: 1

Arena o limo: 0

GRANULOMETRIA DE LA Balsa Y DE LA PLAYA.

CATEGORIAS

Balsa	Alta	Baja
Alta	1	0
Baja	0	1
Media	0	0

DRENAJE.

Infiltración natural: 1

Otros.....: 0

SOBRENADANTE.

Existencia de sobrenadante: 1

No existencia: 0

PROFUNDIDAD DE LA BALSA.

Mayor o igual de 1 m: 1

Menor de 1 m.....: 0

TIPOLOGIA DEL EMPLAZAMIENTO.

CATEGORIAS

Balsas	Llano	Ladera
Llano	1	0
Ladera	0	1
Vaguada	0	0

VARIABLES INDICADORAS.

TIPO DE TERRENO.

1. Baldío.
2. Agrícola.
3. Monte bajo.

EXCAVACION (PREPARACION DEL TERRENO).

4. Desbroce.
5. Tierra vegetal.
6. Suelos.

PERMEABILIDAD.

7. Permeabilidad alta.
8. Permeabilidad baja.

GRANULOMETRIA.

9. De la Playa.
10. De la Balsa.

DRENAJE.

11. Drenaje.

SOBRENADANTE.

12. Sobrenadante.

PROFUNDIDAD Balsa.

13. Profundidad balsa.

TIPOLOGIA.

14. Llano.

15. Ladera.

3. PROCESO ESTADISTICO

3.1. Planteamiento y métodos utilizados.

En este primer paso de selección de la balsa, se ha operado de tal forma que finalmente se obtenga una clasificación de un gran número de balsas en función de su representatividad con respecto al proceso objeto de la investigación: los posibles procesos de eutrofización en las balsas.

Debido a la naturaleza de la información disponible (cualitativa en forma de tabla lógica) se han escogido varios métodos de análisis multivariante adaptados específicamente a esta necesidad, **Análisis Cluster de Casos, K-Mean (K-grupos) y Análisis Discriminante.**

El análisis Cluster se basa en la adopción de una medida de similaridad adecuada para la representación de un conjunto extenso de observaciones multidimensionales. En este trabajo las observaciones son las balsas y las variables las seleccionadas en los apartados anteriores.

La matriz de datos que representa al conjunto de balsas está

constituida por elementos que pueden ser 1 ó 0 (presencia o ausencia), es decir la matriz tiene una disposición de tabla lógica. Adecuado a este tipo de matriz es el análisis Cluster de Casos, donde la medida de similaridad para el análisis ha sido la "simple matching coefficient" [143].

El método de los K-grupos, es un complemento al análisis anterior. En éste se intenta confirmar los posibles grupos sacados del Análisis Cluster. Se intenta maximizar las distancias inter-grupo y minimizar las distancias intra-grupo. Da idea también de la importancia de las variables en cada grupo.

Por último, el análisis discriminante describe funciones que maximicen la separación entre los grupos que anteriormente se han formado con el análisis cluster y con el K-grupos más cercanos. A partir de estas funciones de los grupos iniciales es posible clasificar un objeto cualquiera en uno de estos grupos. De esta forma se puede clasificar una balsa cualquiera en función de sus características, en el grupo que se encuentre más cercano a ella.

3.2. Resultados.

3.2.1. Análisis cluster.

Tal y como se observa en el dendograma de la figura 4, a simple vista pueden apreciarse hasta un máximo de siete grupos diferentes. No obstante, desde un punto de vista estadístico este método no resulta operativo, ya que debemos seleccionar un valor de la distancia y ver el número de grupos que se forman en dicho corte. En el caso de poblaciones muy diferentes esto es fácilmente aplicable ya que la distancia entre dichas poblaciones es más grande (incluso de otro orden de magnitud) que la observada dentro de cada población.

En nuestro caso, no es posible establecer un criterio objetivo que nos permita determinar que la opción de cortar a una distancia, por ejemplo, de 0.45 que daría lugar a tres grupos de 3, 8 y 98 individuos es mejor, o peor, que la de cortar a 0.32 con lo que se nos formarían 8 grupos de 3, 8, 8, 1, 12, 10, 30 y 37 individuos. Para estos casos es mejor utilizar el análisis K-M que es lo que a continuación se ha aplicado.

La matriz de correlaciones, que se encuentra en los anexos, muestra solamente una correlación significativa entre las variables V9 y V10 ($r= 0.882$) correspondientes a la granulometría de la playa y de la balsa respectivamente. Esto se puede interpretar como que, en general, el material de la playa y de la balsa es el mismo.

3.2.2. Análisis K-M.

Tal y como se ha explicado en el apartado 3.1., el método K-M consiste en formar k-grupos de datos de tal forma que las distancias entre los objetos de cada grupo sean mínimas y las distancias entre los objetos de diferentes grupos sean máximas. Se ha probado con diferentes números de grupos, hasta 6, y se ha considerado que el número óptimo de grupos es solamente de dos. Se ha llegado a esta conclusión observando los histogramas de individuos para cada número de casos, viéndose que a partir de tres grupos los solapamientos entre los clusters formados eran excesivos.

Por otra parte, también se muestra la matriz de correlación de las variables escogidas después del proceso de selección, para cada grupo. En los anexos, figuran los resultados del K-M.

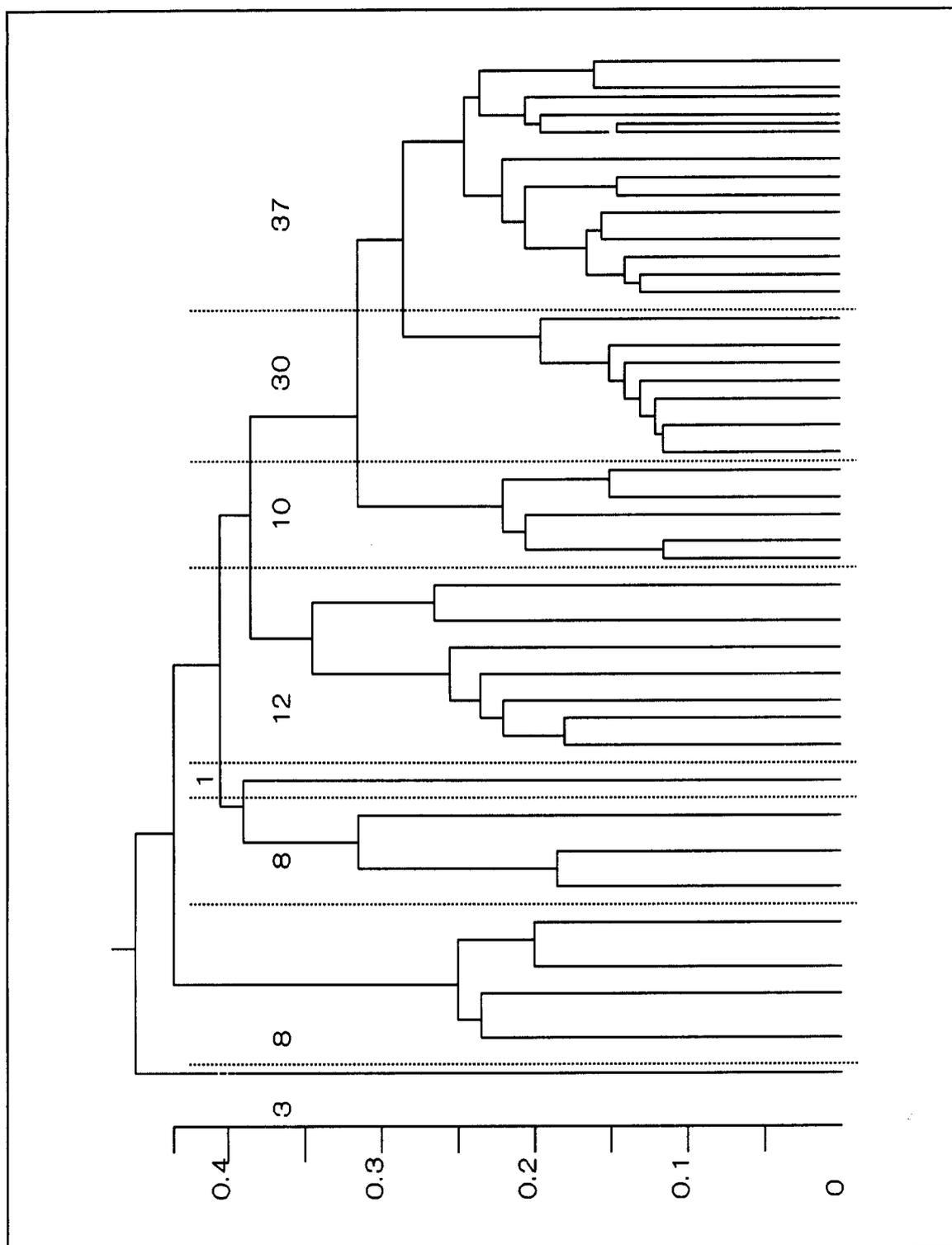


Figura 4. Cluster de las balsas recopiladas. Distancia de corte , 0.32. Esquema no realizado a escala.

3.2.2.1. Clasificación de las balsas.

Como ya se ha comentado, se escogió la clasificación resultante de considerar una división en dos grupos de balsas. Cada grupo está caracterizado de la siguiente manera (los listados con los valores de medias y desviaciones típicas para cada variable en cada grupo se encuentran en el anexo correspondiente):

GRUPO 1.

Tipo de terreno:

Las medias de las tres variables indicadoras (Baldío, Agrícola y Monte Bajo) no varían demasiado entre sí, además sus desviaciones típicas son bastante altas. De estos resultados se deduce que estas variables no caracterizan de forma significativa a este grupo, es decir, en él existe todo tipo de terreno.

Preparación del terreno:

Valores de medias de las tres variables indicadoras (desbroce, tierra vegetal y suelos) muy cercanas a 0, esto significa que estas balsas están principalmente asentadas sobre el terreno sin ninguna preparación.

Permeabilidad (alta y baja):

Sobre todo alta (ver valores de la media y de la desviación típica de éstas en los anexos), esta variable caracteriza al grupo.

Granulometría de la Playa y de la Balsa:

Valores bajos de la media de las dos variables. Por lo tanto, la playa como la balsa estarán fundamentalmente formadas por limos y arenas. Sin embargo, las relativamente altas desviaciones típicas indican que estas variables no caracterizarán al grupo.

Drenaje:

La media está cercana a 0, luego la principal forma de drenaje no es mediante infiltración natural. La desviación típica de la variable es alta, luego ésta no caracteriza al grupo como puede hacerlo la permeabilidad.

Sobrenadante:

Variable cercana a 1, pero con alta desviación típica. Las balsas se reparten entre las de lodos poco y muy densos. No caracteriza al grupo.

Profundidad de la balsa:

La media de la variable es cercana a 0.5 y la desviación típica es la más alta de todas las del cluster. No caracteriza en absoluto al grupo.

Tipología (llano y ladera):

La media de "Tipología: Llano" , es la más alta de todas y además, su desviación típica no es muy alta. Esta variable caracteriza al grupo, estando formado éste por balsas situadas en terreno llano.

En resumen, el grupo A puede considerarse que está caracterizado por estar formado sistemáticamente por balsas asentadas sobre el terreno sin ninguna preparación, con una alta permeabilidad del recubrimiento de la balsa y sobre terreno de fácil accesibilidad.

El grupo está formado por los siguientes códigos de balsas:
4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 22,
23, 26, 27, 30, 35, 50, 51, 61, 65, 66, 67, 68, 72, 73, 74, 75,
78, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 96, 106, 108, 109, 110, 111, 116,
127, 128, 129, 131, 132, 81, 82, 121, 122, 17, 125, 80.

GRUPO 2.**Tipo de terreno:**

Observando las medias de las tres variables indicadoras, existen muy pocas balsas en el grupo sobre terreno agrícola. Predomina ligeramente el terreno baldío aunque su desviación típica es alta. Esta variable no caracterizará al grupo.

Preparación del terreno:

Predominantemente sin preparación, debido a las bajas medias de las tres variables indicadoras. Las desviaciones típicas son pequeñas excepto para "Desbroce". Sin embargo, con estos datos esta variable puede caracterizar al grupo.

Permeabilidad (alta y baja):

Predomina la permeabilidad media, debido a que los promedios de las variables que figuran en la matriz de datos, permeabilidad baja y alta, están cercanos a 0.

Granulometría de la Playa y de la Balsa:

Valores medios de las variables cercanos a 0 y desviaciones típicas grandes. La granulometría está muy repartida. Estas variables no caracterizan al grupo.

Drenaje:

Valor cercano a 0.5 y desviación típica alta. Existe todo tipo de drenaje. Esta variable no caracteriza al grupo.

Sobrenadante:

Igual que la variable anterior. No caracteriza al grupo.

Profundidad:

Profundidad mayor de 1 m. y además, desviación típica pequeña. Esta variable caracteriza fuertemente al grupo.

Tipología del emplazamiento:

Se reparten entre vaguada, principalmente, y llano. Esta última con una alta desviación típica. Caracterizará al grupo la existencia de balsas en vaguada principalmente.

En resumen este grupo estará definido sistemáticamente por las características siguientes: la balsa está implantada sobre un terreno sin preparación alguna, con una permeabilidad media del recubrimiento de la balsa, una profundidad mayor de 1m. y además situadas predominantemente en vaguada.

El grupo está formado por los restantes códigos de balsa no incluidos en el grupo 1.

3.2.2.2. Elección del grupo.

Los dos grupos tienen características comunes entre sí. Sin embargo, hay dos caracteres que las diferencian: la facilidad de acceso a la balsa y la profundidad de ésta.

La accesibilidad de la balsa respecto a la eutrofización, se debe tener en cuenta porque una balsa situada en vaguada sufre más el efecto de las aguas de escorrentía superficiales que otra situada en llano. Por otra parte, los modelos desarrollados por la OCDE, asumen que es el fósforo total disuelto en las aguas el factor que controla la eutrofización. Se ha demostrado que si las aguas de un lago son poco profundas (en general lagos hiper-eutróficos) hay muchas posibilidades de que la eutrofización, medida por la concentración de clorofila-a, no esté limitada por el fósforo, sino por la luz que llega al fitoplancton. En este caso los modelos desarrollados por la OCDE no sirven.

Por estas razones se ha escogido la balsa de estudio dentro de las que se integran en el grupo 2. Es decir, se ha elegido una balsa que pueda estar influenciada por los materiales arrastrados por las aguas de escorrentía y que además, sea el fósforo el factor controlante de la eutrofización y no la luz debido a la poca profundidad de la balsa.

Si además tenemos en cuenta que en nuestro país la mayoría de las balsas poco profundas en verano se secan, la probabilidad

de secado será mayor, si no están situadas en una zona de vaguada que mantenga un nivel freático elevado, por ejemplo, cerca de un arroyo.

Por todas estas razones es desaconsejable la elección del primer grupo para el estudio.

Según lo expuesto, ya sabemos el grupo del cual debe ser representativa la balsa que se elija. Nos falta conocer cuando una balsa pertenece o no a dicho grupo; para ello utilizamos, a continuación, el Análisis Discriminante.

3.2.3. Análisis discriminante.

Con el análisis discriminante se obtienen unas funciones de clasificación para los grupos que se hayan formado con los análisis estadísticos anteriormente realizados. Con estas funciones es posible clasificar una balsa que no haya estado inicialmente en el análisis estadístico dentro de uno de los grupos. Por otra parte, en realidad se ha efectuado un análisis discriminante con selección de variables para las funciones. En la literatura estadística anglosajona se le denomina a este proceso, *Stepwise Analysis Discriminant*, es decir en cada paso del análisis se incluyen variables, una a una, de forma que se maximice la correcta clasificación de los objetos de cada uno de los grupos formados con el menor número de variables posibles.

Las funciones que proporcionan las coordenadas de la primera

variable canónica para una balsa con respecto a los dos grupos son:

$$\text{grupo-1: } Y_1 = -15.51 + 9.55*V_3 + 19.95*V_8 + 7.01*V_{13} + 4.67*V_{14}$$

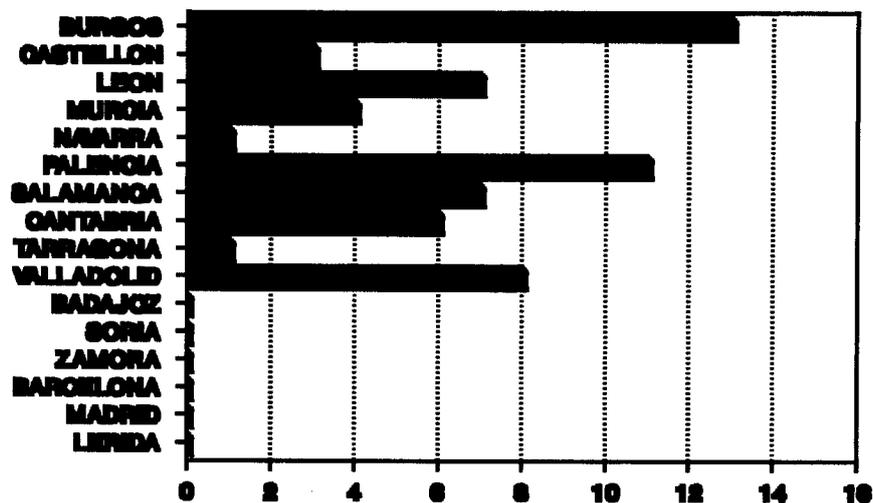
$$\text{grupo-2: } Y_2 = -5.16 + 2.55*V_3 + 0.74*V_8 + 3.60*V_{13} + 7.36*V_{14}$$

El tanto por ciento de observaciones correctamente clasificadas ha sido:

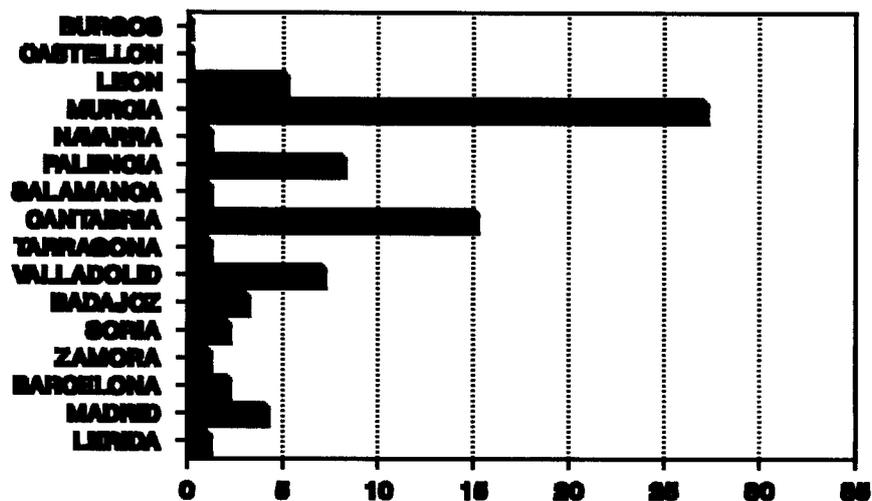
	%correcto	grupo-1	grupo-2	
grupo1	94.2	49	3	
grupo2	98.2	1	56	
total	96.3	50	59	109

El número de observaciones totales no es igual a 139 porque en el análisis discriminante no es posible trabajar con datos desconocidos (missing data). Todo el desarrollo correspondiente se encuentra en los anexos. En las figuras 5 y 6 se representa la distribución provincial de las balsas para cada grupo.

GRUPO 1 BALSAS ALTO RIESGO



GRUPO 2 BALSAS ALTO RIESGO



Figuras 5 y 6. Distribución provincial.

3.2.4. Clasificación grupo 2.

Se ha tomado como parámetro de referencia la distancia de Mahalanobis de las balsas al centroide del grupo. Esta clasificación servirá para escoger la balsa del estudio de eutrofización en función de sus características. Sin embargo, esta clasificación por distancias no será el único criterio que se siga, también se tendrán en cuenta algunos parámetros en particular, sobre todo, el tipo de minería.

A continuación, se incluye la distribución de las balsas, por distancias de Mahalanobis, al grupo 2.

Abreviaturas:

No/I. natural: no infiltración natural, infiltración natural.

P. baja/alta: permeabilidad baja, permeabilidad alta.

PB/ZN/PI : minería de plomo/zinc/pirita.

OtrosCa. : otros productos de cantera.

OtrosEn. : otros productos energéticos.

Distancia	Código	Comentario.	Minería.
1.0570	62	No interesa, no I.natural	PB-ZN-PI
1.0802	33	No interesa, no I.natural	PB-ZN-PI
1.0699	48	No interesa, P. baja	PB-ZN-PI
1.1432	76	No interesa, no I.natural	OtrosEn.
1.1432	77	No interesa, no I.natural	Antracita
1.1432	124	No interesa, no I.natural	OtrosCa.
1.1584	38	No interesa, no I.natural	PB-ZN-PI
1.1601	56	Poca accesibilidad.	PB-ZN-PI
1.1720	119	Sí interesa.	OtrosCa.
1.1720	120	Sí interesa.	OtrosCa.
1.1720	126	Sí interesa.	OtrosCa.
1.1950	84	Sí interesa.	OtrosCa.
1.2113	118	No interesa. Bloques.	OtrosCa.
1.2503	28	No interesa, no I.natural	Hulla.
1.2658	43	No interesa, por minería	PB-ZN-PI
1.2759	44	No interesa. P. baja	PB-ZN-PI
1.2759	97	Sí interesa.	Dolomita
1.3085	69	No interesa, no I.natural	Antracita
1.3085	70	No interesa, no I.natural	OtrosEn.
1.3085	71	No interesa, no I.natural	OtrosEn.
1.3678	130	No Interesa.	OtrosCa.
1.3820	137	Sí interesa.	OtrosCa.
1.3820	138	Sí interesa.	OtrosCa.
1.3820	139	Sí interesa.	OtrosCa.
1.4152	24	No interesa, no I.natural	Hulla

Las balsas pertenecen a las provincias de Valladolid (3), Cantabria (1), Palencia (1) y Madrid (3). Ahora bien, para escoger la balsa definitiva donde se haga el estudio que nos ocupa, teniendo en cuenta que son prácticamente igual de representativas, solo se escogerán las provincias de Valladolid y Madrid, ya que son las de mayor número de balsas.

4. SELECCION DEFINITIVA.

4.1. Planteamiento.

Tomando en consideración el tratamiento estadístico realizado, se ha procedido a la selección definitiva de la balsa a estudiar. No obstante, ha sido necesario establecer los siguientes criterios previos:

- Se debe seleccionar una balsa representativa del grupo 2.
- Para comprobar el punto anterior se dispone de un modelo matemático elaborado a partir del INBE, el cual permite determinar las coordenadas de una balsa cualquiera sobre la coordenada canónica.

La elección de la balsa definitiva se realizará teniendo en cuenta los siguientes puntos:

- a. Estudio hidrogeológico de las dos zonas elegidas.
- b. Estudio medioambiental de las mismas.
- c. Análisis químicos de las aguas de las balsas de la zona

escogida teniendo en cuenta los dos primeros puntos.

Se estudiará la hidrogeología de las dos zonas y se realizará un estudio de impacto ambiental, para de esta manera y teniendo en cuenta los dos análisis, escoger la zona donde se elija la balsa definitiva de estudio. Posteriormente se realizarán una serie de análisis químicos para averiguar el estado trófico de las masas de agua comprendidas dentro de los límites de la misma.

La metodología utilizada constituye una herramienta válida para cualquier balsa, esté o no incluida en el inventario. Como ya se ha mencionado comprende los años 1985-1989, y por lo tanto, no responde a una realidad actual respecto a las balsas existentes. Además de ello, como también se dijo en un principio, se permite contemplar otros factores de orden operativo como accesibilidad y distancia de la balsa, que facilitan el seguimiento continuo de su evaluación.

4.2. Hidrogeología.

A partir del Mapa Geológico Nacional serie MAGNA, a escala 1:50.000, se ha realizado una aproximación al medio físico de las balsas en estudio.

4.2.1. Provincia de Madrid.

En las proximidades del río Jarama aflora el Cuaternario Holoceno, caracterizado por una litología de gravas, arenas y limos.

Muy próximo se encuentra el Pleistoceno, a 200-300 m en dirección Este, con una litología muy similar que puede presentar fracciones o intercalaciones arcillosas.

La potencia media aproximada del Cuaternario en su conjunto está en torno a los 10 m.

El Mioceno subyacente aflora 2 Km. al E. y 2 Km. al O., como el Burdigaliense Superior, caracterizado por yesos masivos, yesos especulares y margas yesíferas. Concordante con esta formación se encuentra el Mioceno Superior Vindoboniense. En este nivel ya aparecen, junto a las arenas y yesos laminares, margas blancas y calizas. Los yesos laminares forman niveles diferenciados. Las calizas de esta formación son el inicio del tránsito al Pontiense, el cual yace en discordancia y se presenta a modo de conglomerado, arenas y areniscas calcáreas, sin ser aún la

formación caliza del Páramo terminal del Mioceno y que caracteriza los relieves planos o "mesas", libres de todo depósito cuaternario.

Desde un punto de vista hidrogeológico, existen dos acuíferos importantes, el nº 14 y el nº 15. El primero constituido por materiales permeables por porosidad y que abastece a Madrid, y el segundo por materiales permeables por fisuración y denominado "Calizas del Páramo de La Alcarria".

El acuífero nº 14 caracteriza el Terciario detrítico de Madrid-Toledo-Cáceres, y es el más extenso y complejo de los de la Cuenca del Tajo. La orografía general es plana, con una ligera pendiente hacia el SO. Este acuífero está integrado por unas serie de lentejones irregulares de gravas y de arenas arcillosas, de moderada permeabilidad, dispersas en una potente serie arcillosa-arenosa detrítica de permeabilidad francamente baja.

El comportamiento del acuífero es irregular y cambiante de unas zonas a otras, y ha sido modelizado matemáticamente para obtener una aproximación a su funcionamiento. La potencia media de los depósitos miocenos es considerable: 1500 m que puntualmente puedan alcanzar los 3 Km. (NE de El Pardo). Como aproximación, en San Martín de la Vega, la potencia del relleno tiene unos 2 Km. Tampoco es uniforme la profundidad del agua en los pozos. Esta varía de modo muy apreciable tanto con la posición respecto a las zonas de recarga y descarga del acuífero, como con el número de tramos arenosos atravesados.

No obstante, pueden establecerse algunas generalidades:

- La profundidad del nivel del agua suele ser inferior a los 10 m., aunque en áreas del SE y N de Madrid no aparece hasta los 60 m. Por otra parte, pueden darse también pozos surgentes en las proximidades de algunos ríos.

- En su lenta circulación, las aguas subterráneas se dirigen hacia los ríos Alberche, Guadarrama, Jarama, Manzanares, Henares y otras áreas donde se concentra la actividad de bombeo.

La variación en los niveles del agua se debe a la explotación estacional (subida de los niveles en invierno por cese de las extracciones) y a la tendencia al descenso progresivo frente a la extracción de aguas.

Es importante destacar la elevada inercia general del acuífero, solo bombeos concentrados y prolongados tienen efectos apreciables. Las lluvias elevadas o sequías de hasta 1 año no parecen influir notablemente. Muchas de estas conclusiones proceden de la simulación que se ha hecho del acuífero.

La alternancia de niveles portadores (arenas/gravas) con limos y arcillas impermeables, hace conflictiva la explotación del acuífero. Solo el avance en técnicas de perforación hizo viable el bombeo de caudales que pudieran tener destinos no meramente domésticos.

Los caudales medios obtenidos por pozo (7-17 l/s) resultan

muy apropiados para pequeñas industrias o explotaciones agrícolas. Excepcionalmente se consiguen hasta 100 l/s en la cuenca del Manzanares. Los bombeos más importantes se realizan en la zona de Fuencarral, con destino al Canal de Isabel II.

4.2.2. Provincia de Valladolid.

Se asienta sobre la formación de materiales cuaternarios, en particular Pleistoceno Medio. La formación define la terraza del interfluvio Duero-Pisuerga, cuya litología se compone de gravas cuarcíticas y de caliza, con una matriz areno-limosa. La proporción de caliza es menor del 20%

La potencia aproximada de este Cuaternario es de 10 m. En la proximidad norte aflora el Pleistoceno Inferior consistente en terrazas de gravas cuarcíticas frecuentemente encostradas. Las gravas de caliza están en una proporción <10%

En la proximidad Sur aparece el Holoceno (Cuaternario Superior). Se trata de un manto eólico, con arenas de cuarzo redondeadas y bien seleccionadas.

El terciario aflora 2 Km. en dirección SE y 2.5-3 Km. en dirección NO. Se trata del Orleaniense Superior (Neógeno Mioceno). Se presenta como una formación con una facies de fangos arcósicos y arcosas rojizas y gris verdosas con algún nivel de gravas cuarcíticas.

Debe mencionarse la proximidad del río Pisuerga, a 2 Km. aproximadamente, al NO.

El río Adaja discurre aproximadamente 2 Km. al Norte, originando una litología de arcosas blanqueadas fluviales con gravilla de cuarzo.

Las balsas consideradas se ubican sobre el acuífero nº 8, que integra, junto con el nº 12, la cuenca Terciaria del Duero y constituyen la mayor unidad hidrogeológica de la Península. La orografía general es una altiplanicie distribuida entre las provincias de León, Burgos, Avila, Valladolid Salamanca y Zamora. Referente al clima, la temperatura media oscila entre 10-12 °C presentando amplia variabilidad. Los inviernos son largos y fríos, las precipitaciones irregulares y el verano árido. La precipitación media anual alcanza los 510 mm.

El río Duero es el principal curso fluvial, que recorre la llanura en dirección E-O y recibe a los ríos Pisuerga, Esla, Tormes y Duratón, entre otros. La actividad básica de la región es la agrícola y ganadera.

Desde un punto de vista geológico, la región constituye una cubeta tectónica rellena de materiales detríticos y evaporíticos del Terciario. Estos se encuentran parcialmente recubiertos por formaciones pliocuaternarias (rañas, aluviales, terrazas). Por su influencia en la mecánica hidrogeológica de la cuenca, destacan los extensos arenales del sur del Duero sobre las cuales

se ubican las balsas.

Los acuíferos de los arenales se localizan en la margen izquierda del Duero. Estas arenas cuaternarias yacen sobre formaciones arcillo-arenosas del Mioceno, con los que se encuentran en continuidad hidráulica.

Son acuíferos superficiales (no confinados), simples en su funcionamiento. La transmisibilidad de estos materiales oscila entre 10-100m²/día y la potencia raramente supera los 15 m.

La descarga del acuífero tiene lugar por bombeo (50 hm³/año) y percolación hacia los acuíferos profundos (280 hm³/año), considerándose despreciable la producida por los ríos Adaja, Voltoya y Zapardiel. A pesar del limitado interés de los acuíferos de los arenales por lo reducido de los caudales extraíbles (y su rápido agotamiento), representan un importante papel regulador hidrogeológico de los acuíferos profundos, a los que recargan.

4.3. Estudio del impacto ambiental.

Después de realizar el análisis estadístico, se estudiaron las 25 primeras balsas del grupo escogido (grupo 2) según la distancia de Mahalanobis al centroide del grupo. Como resultado del estudio se escogió un segundo subgrupo del cual extraer la balsa en la que se estudien los procesos de eutrofización.

Las balsas escogidas corresponden a los códigos 119, 120, 126, 137, 138, 139. Las tres primeras pertenecen a Valladolid, y las restantes a Madrid. A continuación se realiza el estudio medioambiental de las balsas escogidas, siguiendo el esquema comentado en el apartado 4.1.

4.3.1. Matriz de impacto.

Hay que advertir que el estudio de Impacto Ambiental se realizará no con cada balsa en particular con respecto al medio que le rodea, sino que el estudio agrupará a las balsas de sus respectivas provincias, confeccionándose una matriz de impacto para cada grupo de balsas, debido a que éstas en cada provincia se encuentran muy cercanas entre sí.

Para realizar el estudio de Impacto Ambiental, se ha construido una matriz basada en la conocida matriz de impacto ambiental de Leopold.

En nuestro caso, se intenta representar los impactos de las actividades que se realizan alrededor de la balsa sobre las diferentes variables que definen el entorno donde se encuentra. Hay que advertir que los efectos se han considerado teniendo en cuenta la información de las fichas del INBE, la información hidrogeológica encontrada y nuestros propios criterios.

La matriz está ordenada de tal manera que en las filas se encuentran las actividades que se estima impactan en el medio

ambiente y en las columnas las variables ambientales que se encuentran afectadas por las diferentes actividades.

Cuando se considera que no tiene ningún sentido la interacción de una actividad con una variable, o cuando no hay suficiente información, la celdilla que representa el impacto de la actividad frente a una variable se deja vacía.

4.3.2. Actividades consideradas.

Se han asignado diferentes gradaciones de impacto actividad/variable ambiental según unos coeficientes escogidos, a nuestro juicio, en el sentido de a mayor coeficiente mayor impacto ambiental.

A1. Existencia cercana de escombreras.

Ninguna = 0.

Alguna = 1.

Pocas = 2.

Muchas = 3.

A2. Generación de polvo por las industrias circundantes.

Ninguno = 0.

Poco = 1.

Moderado = 2.

Mucho = 3.

A3. Vertidos: urbanos y/o industriales.

Ninguno = 0.

Pocos = 1.

Moderados = 2.

Muchos = 3.

A4. Utilización del agua.

En este caso se ha considerado que una zona de alto riesgo es aquella donde se realiza un uso intensivo del agua. Desde el punto de vista social cualquier problema relacionado con los usos del agua tendrá mayor trascendencia, que en otra donde su uso sea menor.

Nula = 0.

Inapreciable = 1.

Media = 2.

Alta = 3.

A5. Ruidos generados por la industria o el tráfico rodado.

Nulos = 0.

Inapreciables = 1.

Medios = 2.

Altos = 3.

A6. Usos del acuífero sobre el que se asienta la balsa.

El impacto está referido en el sentido de a mayor utilización

del acuífero mayores riesgos de agotamiento y de contaminación de éste existen.

Nulos (no se utiliza) = 0.

Pocos (riegos) = 1

Medios (poblaciones) = 2.

Altos (riegos y poblaciones) = 3.

A7. Actividad industrial.

Nula = 0

Moderada = 1

Importante = 2

A8. Uso del terreno.

Está referido principalmente a los posibles aportes que puedan contaminar las aguas. Los contaminantes que puedan generar los terrenos agrícolas son mucho más difíciles de eliminar que los generados por las industrias.

Nulo (baldío) = 0.

Poco (urbano) = 1.

Medio (industrial) = 2.

Alto (agrícola) = 3.

A9. Accesibilidad.

Si el acceso al terreno implica alguna dificultad, la posibilidad de que, por ejemplo, se realicen vertidos es mucho

menor que si fuese de fácil acceso.

Muy difícil: 1

Difícil: 2

Fácil: 3

4.3.3. Variables.

F1. Suelo.

F6. Fauna.

F2. Aguas Superficiales.

F7. Paisaje.

F3. Aguas Subterráneas.

F8. Salud.

F4. Cultivos.

F9. Población afectada.

F5. Flora

4.3.4. Cálculo del coeficiente de impacto ambiental.

Una vez completada la matriz de impacto, se calcula la media de todos los coeficientes de impacto para cada variable, y se obtiene un nuevo coeficiente al que se le denomina Coeficiente Medio de Impacto Ambiental (CM). A continuación se multiplica cada CM por un peso (CP), escogido según nuestro criterio, para cada variable dando como resultado el impacto ambiental (IA) sobre una variable de todas las actividades, posteriormente se suman todos los impactos ambientales. Este último resultado es el Impacto Ambiental total, parámetro a comparar entre las balsas de Madrid y Valladolid.

En las páginas siguientes aparecen las matrices de Impacto

Ambiental para las balsas de Madrid y de Valladolid.

MATRIZ DE IMPACTO.

Madrid

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
A1	1	0	--	0	--	--	3	--	1
A2	0	0	--	1	1	1	2	1	1
A3	2	1	--	1	1	1	2	1	1
A4	0	2	0	1	--	--	--	1	--
A5	--	--	--	--	--	1	2	1	1
A6	--	0	0	--	--	--	--	--	1
A7	3	2	1	1	1	1	2	1	2
A8	3	3	3	--	3	--	--	--	2
A9	3	3	1	1	--	1	1	--	3
C.P.	1	2	2	1	1	1	1	1	2
C.M.	1.7	1.4	1.0	0.8	1.5	1.0	2.0	1.0	1.5
I.A.	1.7	2.8	2.0	0.8	1.5	1.0	2.0	1.0	3.0
I.A. (total) = 15.8									

MATRIZ DE IMPACTO

Valladolid.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
A1	--	--	--	--	--	--	--	--	--
A2	1	0	--	1	1	1	1	1	1
A3	--	--	--	--	--	--	--	--	--
A4	--	--	--	--	--	1	--	1	--
A5	--	--	--	--	--	--	--	--	1
A6	--	--	--	--	1	--	--	--	--
A7	--	1	1	1	1	1	1	--	0
A8	--	0	--	0	--	--	--	--	0
A9	--	1	1	1	--	--	--	--	--
C.P.	1	2	2	1	1	1	1	1	2
C.M.	1.0	0.5	1.0	0.75	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5
I.A.	1.0	1.0	2.0	0.75	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
I.A. (total)	= 9.8								

VALLADOLID.

A1. No se tiene información sobre la existencia o no de

escombreras.

A2. Se ha considerado que esta actividad tiene un impacto apreciable sobre casi todas las variables. Se ha tomado esta decisión al tener las balsas, las instalaciones correspondientes a graveras.

A3. No consta.

A4. Se juzgó que solo los efectos sobre F6 y F8 tenían sentido. Los restantes efectos están sin valorar, porque no se disponía de suficiente información.

A5. No consta.

A6. A F6 se ha dado el coeficiente 1 porque se considera que a corto plazo es mucho más peligroso un problema de contaminación en el agua destinada a poblaciones que a riegos.

A7. Se ha considerado que la actividad industrial afecta a todos los factores excepto a F1 y a F8.

A8. F2, F4 y F9 se considera que es lógico relacionarlas, sin embargo, en este caso no existe ningún impacto por parte de A8 sobre las demás.

A9. Se ha creído oportuno dar un coeficiente de impacto de 1, de F2 a F4, porque se piensa que son las variables sobre las

que tiene sentido relacionar esta actividad.

MADRID.

A1. La región donde se asienta la balsa está caracterizada por la presencia de explotaciones de áridos.

A2. Se ha considerado que el polvo generado por las industrias de los alrededores es inapreciable.

A3. Se considera que la existencia de vertidos no tiene efecto sobre las variables que no se han considerado, y en las demás el impacto es inapreciable o no tiene sentido.

A4. Se juzgó que los efectos no considerados no tienen ningún sentido relacionarlos.

A5. Los factores sin valorar lo son por falta de información, y en los demás se juzgó que el efecto es bajo.

A6. Mismas razones que A5.

A7. La actividad industrial es la principal causa de efectos sobre las variables, por esta razón se han relacionado todas ellas con A7.

A8. Las actividades agrícolas tienen un alto impacto sobre las variables consideradas. Las demás o no se dispone de

información suficiente, o no tiene ningún sentido relacionarlas con esta actividad.

A9. En las variables consideradas se ha considerado que el impacto es alto o bajo, debido a la accesibilidad por carretera a la balsa.

4.3.5. Comentarios.

Del estudio de impacto ambiental realizado sobre las balsas, pertenecientes al grupo 2, que están en las provincias de Madrid y de Valladolid, resulta que el impacto ambiental es mayor en el caso de Madrid.

El próximo paso será pues, la elección de la balsa adecuada dentro de la Comunidad de Madrid, y que se escogerá teniendo en cuenta facilidad de acceso, y análisis químicos para obtener un índice aproximado del estado trófico de la balsa.

4.4. Elección de la balsa.

Una vez escogida la zona donde se encuentran las balsas que interesan para el estudio, mediante los estudios previos hidrogeológicos y de impacto ambiental, se procede a seleccionar la balsa definitiva donde se realizará el estudio.

En primer lugar se visitaron las balsas de la zona de Madrid que se habían seleccionado anteriormente. Se comprobó que una ya

no existía, otra estaba seca y la otra se utilizaba como balsa de decantación en una planta de tratamiento de áridos.

En estas condiciones las balsas del INBE seleccionadas para este trabajo no eran susceptibles de sufrir procesos de eutrofización. Al no ser posible realizar el estudio en ninguna de las balsas incluidas en el INBE, se analizaron las numerosas balsas existentes por la zona que cumplían con las características del grupo 2 seleccionado. La mayoría de ellas se utilizaban como balsas de decantación para el tratamiento de áridos. Las aguas que llegan a las mismas son fangos (limos y arcillas), y cuando se colmata la balsa se procede a la limpieza de la misma utilizándose estos materiales, en general, para trabajos de restauración. Además, el tiempo que permanece el agua estancada en la balsa suele ser corto, dependiendo del movimiento de la planta, por lo general tres o cuatro meses. Hay que indicar que por regla general las aguas de las balsas que se utilizan para estos trabajos son aguas circulantes, es decir que pasan de una balsa a otra. En consecuencia, no dan origen a procesos de eutrofización. Finalmente, de entre las balsas existentes se eligieron dos, cuya localización geográfica es la siguiente:

A las dos balsas se accede por la carretera M-302, dirección a Chinchón. A 4 Km. se encuentra el ramal "Nueva Carretera" entre el P.K. 5 de la MV-3013 de San Martín de la Vega hasta el P.K. 4 de la M-302, a 4,300 Km. del ramal, a la derecha de la carretera, se encuentra una de las balsas en el paraje denominado "Isla del Herrero" (Long. 3° 32' Lat. 40° 15'). La otra se

encuentra en el Km. 1,600 de la M-302 anteriormente mencionada (Long. 3° 31' Lat. 40° 19'). En lo sucesivo estas balsas se identificarán como "Isla del Herrero" y "Carretera", respectivamente.

A continuación se demuestra que las dos balsas se pueden considerar como de características semejantes a las del grupo 2. Para mayor comprensión, se exponen las características de las balsas, agrupadas según las variables indicadoras que interesan para hallar la coordenada sobre la variable canónica conseguida.

Variable	Carretera	Isla del Herrero
Baldío	1	0
Agrícola	0	1
Monte bajo*	0	0
Permeabilidad alta	1	1
Permeabilidad baja*	0	0
Profundidad balsa*	1	1
Llano*	0	0
Ladera	1	1
Coord. grupo 1	-8.51	-8.51
Coord. grupo 2	-1.56	-1.56

(* indica variable incluida en las funciones de clasificación)

En el anexo dedicado al Análisis Discriminante se encuentra el histograma de la variable canónica, y se puede observar como las dos balsas están más cercanas al centroide del grupo 2 que al del grupo 1.

Con el objeto de averiguar si las dos balsas presentaban la composición adecuada de nutrientes para el estudio, se llevaron a cabo una serie de análisis químicos en el laboratorio de Ingeniería Química y Combustibles de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid. Se analizó el contenido en PO_4^{3-} , NO_2^- , NO_3^- y NH_4^+ . No se pudo analizar el contenido en fósforo total, lo que nos hubiese dado un índice del estado trófico de las aguas, sin embargo es posible aproximar el contenido de fósforo total a partir del contenido en ortofosfato, tal y como se explica a continuación.

En el proyecto de investigación de la OCDE se estudió la relación existente entre la concentración de ortofosfato y fósforo total. Como media, la fracción de fósforo en forma de ortofosfato pasa de menos del 20 % para concentraciones de fósforo total menores o iguales a 10 mg m^{-3} , a más del 45 % para concentraciones en fósforo total superiores a 200 mg m^{-3} . De esta manera es posible estimar la concentración de fósforo total en las aguas.

Los resultados en los análisis para las dos balsas fueron (en $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$).

	<u>Isla del Herrero</u>	<u>Carretera</u>
Ortofosfato	1.19	0.38
Nitrito	0.13	0.06
Nitrato	24.46	13.80
Amonio	0.67	1.25

La concentración estimada de fósforo total para las dos balsas es de $2,38 \text{ mg l}^{-1}$ para "Isla del Herrero" y $0,76 \text{ mg l}^{-1}$. Trasladando estos valores al gráfico probabilístico del grado trófico se obtiene que las dos balsas están hiper-eutrofizadas. La balsa "Isla del Herrero" muestra una probabilidad del 100 %, y "Carretera" del 95 %, de esta forma se ha escogido aquella como la adecuada para realizar el estudio de la posible influencia que pueda tener la eutrofización de las aguas de las balsas sobre la calidad de las aguas subterráneas.

Para las diferentes formas de nitrógeno y fósforo se utilizan las siguientes abreviaturas:

[N_{min}] nitrógeno mineral.

[N-NO₂⁻] nitrógeno como nitrito.

[N-NO₃⁻] nitrógeno como nitrato.

[N-NH₄⁺] nitrógeno orgánico soluble como amonio.

[P-PO₄³⁻] fósforo como fosfato.

Las relaciones $[N_{\min}/P-PO_4^{3-}]$ son las siguientes:

En "Isla del Herrero":

$$[N_{\min}] = [N-NO_3^-] + [N-NO_2^-] + [N-NH_4^+] = 25.26 \text{ mg l}^{-1}$$

$$[N_{\min}/P-PO_4^{3-}] = 25.26 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1} / 1.19 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1} = 21.2$$

En "Carretera":

$$[N_{\min}] = [N-NO_3^-] + [N-NO_2^-] + [N-NH_4^+] = 15.11 \text{ mg l}^{-1}$$

$$[N_{\min}/P-PO_4^{3-}] = 15.11 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1} / 0.38 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1} = 39.8$$

Estos resultados confirman la idoneidad de las dos balsas como objeto de estudio, ya que en el modelo de la OCDE se incluyen todas aquellas masas de agua que tienen una relación $[N_{\min}]/[P-PO_4^{3-}] > 10$. Tal y como se comentará en el tomo III, apartado referente al proyecto de investigación de la OCDE, en general cuando la relación N-mineral/P-ortofosfato es mayor que 10, es el ortofosfato quien controla la producción de biomasa vegetal y es posible, a priori, aplicar el modelo de la OCDE que relaciona la concentración media de clorofila-a anual con la concentración media anual de fósforo total. Según estos resultados sería más adecuado escoger "Carretera" que "Isla del Herrero", **sin embargo escogemos ésta por dos razones:**

- El índice de impacto ambiental es mayor en el caso de "Isla del Herrero" que en "Carretera".

- "Isla del Herrero" tiene más cercano el nivel freático debido a que se encuentra más cerca del río Jarama.

5. GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA DE LA Balsa ESCOGIDA.

5.1. Geología regional.

La zona a la que se refiere el proyecto, se encuadra dentro de la hoja nº 582 (Getafe), a escala 1:50.000 del ITGE.

Dicha hoja se encuentra en el corazón de la cuenca de Madrid, que sería a su vez una subcuenca, de la denominada cuenca del Tajo, una cuenca de origen tectónico que se ve colmatada por materiales principalmente terciarios en virtud de la edad de individualización de dicha cuenca. Los materiales que afloran en ésta hoja son los correspondientes a la zona central de la cuenca de Madrid, proporcionando típicas morfologías tabulares, con valles profundamente encajados por cuyo fondo discurre la actual red fluvial de drenaje.

Los límites de dicha cuenca, serían el macizo del Sistema Central hacia el Norte y Oeste, la plataforma de Toledo al Sur, y la Sierra de Altomira hacia el Este.

Retomando el tema de la individualización de la cuenca, ésta se produce a partir del Cretácico Superior, mediante estructuras de "graben" y "horst" en parte ocasionados por una reactivación de fracturas tardihercínicas en el seno del borde oriental del macizo hespérico. La cuenca se constituye pues como una verdadera cuenca molásica de carácter continental, en la cual la subsidencia de la misma conjuntamente con el aporte de materiales

de las zonas marginales, produce una potente serie detrítico-química de gran importancia. La deformación de ésta serie es decreciente en el tiempo; Mesozoico plegado y fracturado, Paleógeno plegado y Neógeno apenas afectado en general.

5.1.1. Estratigrafía.

Durante el Mioceno se produce el esquema sedimentario de una cuenca endorréica en la cual el aporte de materiales se realiza por medio de abanicos aluviales de baja capacidad de transporte, en parte debido a la poca inercia hidrológica del Sistema Central, ya que los materiales constitutivos de dicho sistema, no se prestan a una buena regulación natural, como podría ser el caso de sistemas montañosos con abundancia de materiales carstificables en los cuales la inercia sería mucho mayor.

En primer lugar y en las proximidades al Macizo del Sistema Central, aparecen las típicas facies conglomeráticas de las zonas proximales de un sistema de abanicos aluviales; conglomerados heterométricos y heterolíticos con poca o nula granoclasificación y poco maduros texturalmente debido precisamente a esa proximidad al área fuente. Dichos conglomerados están constituidos fundamentalmente por materiales del Paleozoico, como son cuarcitas, granitos y diversas rocas metamórficas como gneis y pizarras. La presencia de materiales cretácicos dentro de estas facies es poco representativa, lo que indica la previa "fosilización" por el Paleógeno de este tipo de materiales.

Sin solución de continuidad con las anteriores facies, aparecen otras también de tipo detrítico, mejor clasificadas y más maduras, que se corresponderían según el modelo con las facies mediodistales de los anteriores sistemas de abanicos aluviales. Están constituidas en su mayoría, por arcosas feldespáticas interdigitadas con los anteriores conglomerados y entre las cuales aparecen algunos episodios más conglomeráticos, no limitándose solamente a arenas, ya que comienzan a despuntar en las zonas más distales de estas facies (hacia el centro de la cuenca), pasadas de tipo lutítico. Son las denominadas Facies Madrid (RIBA 1957), eminentemente detríticas y en las que predominan los feldespatos con diferencia sobre el cuarzo y otros constituyentes.

A continuación y siguiendo la evolución lógica del sistema deposicional que se instala en la cuenca vienen unas facies de grano más fino, serían las facies distales del sistema de abanicos y son las que según la bibliografía vienen a considerarse como las Facies intermedias, siendo éstas de transición entre las detríticas del borde de la cuenca y las químicas típicamente centrales.

Tanto la litología como las estructuras observadas en estas facies nos indican que estamos en el tránsito hacia la denominada "mud flat" o llanura lutítica, en la que ya aparecen minerales de neoformación como sepiolita, paligorskita, saponita o sílice en forma de ópalo y calcedonia (HUERTAS et. al. 1971). Aquí se distinguen tres unidades en función del progresivo aumento en

lutitas de cada una:

- Arenas micáceas grises con presencia de biotita.
- Arenas micáceas alternando con niveles margosos.
- Margas blancas, grises y verdes con niveles alterantes de yesos.

Las dos últimas unidades son las denominadas Facies Vallecas (RIBA 1957) y en ellas es mucho más patente la presencia de minerales de neoformación, correspondiendo dichas unidades a la llanura lutítica propiamente dicha y siendo la primera unidad la zona más distal de los abanicos aluviales.

Es de destacar que las Facies Vallecas (o al menos la última unidad) se han formado en un ambiente típico de "playa lake" que viene anunciando las facies centrales. La distinción entre las diferentes unidades es muy difícil de precisar y aún imposible en muchos lugares, no obstante a techo de esta serie aparece un nivel de silex, de gran constancia en el ámbito de la cuenca que tradicionalmente se ha venido usando como nivel guía, al marcar el límite entre el Mioceno inferior y superior.

Las denominadas facies centrales, de gran presencia en la hoja de Getafe, y en las cuales se encaja el río Jarama tienen un marcado carácter químico y se corresponden manifiestamente con la zona central de la cuenca, en la que predominan materiales de tipo evaporítico, presentando un gran desarrollo en la margen izquierda del Jarama.

Dentro de estas facies pueden distinguirse cuatro tramos:

- Yesos masivos con intercalación de margas yesíferas, yesos sacaroideos y yesos laminares.
- Formación margocalcárea con yesos blancos pulverulentos.
- De una manera discordante sobre los anteriores materiales aparecen arcillas, arenas y microconglomerados, evolucionando a gravas a techo de este tramo.

Estas unidades a excepción de las dos últimas son típicas de un ambiente como el que se viene manejando; se corresponden con la zona central de un lago efímero en el cual se produce una acumulación de salmueras que originan las evaporitas. Este rasgo viene confirmado por los yacimientos de sales evaporíticas de Ciempozuelos, Chinchón, Colmenar de Oreja y Villarrubia de Santiago, yacimientos en explotación para el beneficio de sales como la glauberita, thenardita, mirabilita e incluso halita en explotaciones actualmente abandonadas.

Las unidades detríticas y carbonatadas que se instalan sobre las facies evaporíticas, lo hacen de una manera discordante, esta discordancia es de carácter erosivo y queda muy patente en la margen oriental del río Jarama, frente a San Martín de la Vega.

Estas unidades discordantes, presentan evidencias de un cambio crucial en las condiciones de la cuenca, puesto que se pasa de unas condiciones endorréicas a unas condiciones de buen drenaje externo, como queda manifestado por la nula presencia de

evaporítas en estas facies.

La unidad detrítica, se constituye por materiales detríticos; gravas, conglomerados arcósicos y arenas (CASTELLS Y DE LA CONCHA, 1951; CAPOTE Y CARRO, 1968).

La presencia de estructuras sedimentarias principalmente en las arenas, aboga por el carácter fluvial de dichos materiales. Se constata la presencia de laminaciones cruzadas de bajo ángulo y laminaciones paralelas, así como estructuras de tipo canalizado con los típicos rezagos o "lags" en el fondo del canal. Aún en los materiales más gruesos es posible observar la presencia de barras.

La potencia de esta unidad oscila entre los 20 y 35 m., no siendo ésta constante debido al carácter erosivo sobre las evaporítas infrayacentes. Esta unidad pasa gradualmente a techo a arenas de grano fino y a margas arenosas, finalizando en margas con un alto contenido en caliza.

La unidad carbonatada que más comunmente se conoce como calizas del páramo, representa el último estadio en la colmatación de la cuenca, y se corresponde con unas condiciones palustres del medio, evidenciadas por la presencia de calizas travertínicas con fauna típica del medio (gasterópodos de los géneros *Planorbis*, *Limnaea*, *Bithinia* y *Helis*), lo que nos dice mucho a favor del cambio de condiciones en la evolución de la cuenca.

Un rasgo muy digno de mención es que las facies detríticas solamente afloran en la margen izquierda del río Jarama y así mismo también lo hacen las facies carbonatadas, teniendo éstas su equivalente en los niveles de silex que aparecen en cerros tales como el de La Marañosa, Cerro de Los Angeles, Telégrafo y otros, en los cuales la presencia de éste nivel duro ha contribuido a preservar estos rasgos geomorfológicos. La razón por la que no aparecen los detríticos en la orilla occidental muy bien pudiera deberse al significado de estas facies detríticas ya que al ser fluviales se comprende muy bien su gran desarrollo longitudinal y su poco desarrollo transversal por lo que en un corte aproximadamente de dirección E-O y en unos pocos kilómetros estas facies desaparecen, no quedando muy claro su límite original hacia el oeste debido a que la erosión del actual río Jarama lo ha hecho desaparecer.

No quedaría completa esta síntesis, sin mencionar los materiales cuaternarios que rellenan los valles de los ríos Manzanares y Jarama, que son los principales en el ámbito del presente proyecto, y sobre los cuales se comentará de una manera más profunda. En principio sólo se mencionará, que son materiales detríticos de tipo aluvionar, configurados en varios niveles de terrazas.

5.1.2. Edad de los materiales.

La edad de los materiales que venimos manejando es terciaria y en concreto del Mioceno medio al superior. La datación de estos

materiales presenta no pocos inconvenientes, debido a la poca abundancia tanto de criterios paleontológicos, como de correlación, debido a sus características continentales y al rápido acuñamiento y cambio de facies en la mayoría de las unidades consideradas.

Así y en base a los yacimientos de mamíferos de "La Hidroeléctrica" en el valle del Manzanares, las facies evaporíticas serían de edad Mioceno inferior -Burdigaliense inferior a Vindoboniense- y las Facies Madrid se corresponderían con una edad de Vindoboniense inferior a superior, considerando los yacimientos de vertebrados de "Puente de los Franceses", "Cerro de la Plata", "San Isidro", "Puente de Vallecas" y "Puente del Calero".

Las Facies Vallecas tendrían una edad similar a las de las Facies Madrid, considerando el yacimiento de Cerro de Almodovar (Vicalvaro).

La edad de las unidades detríticas y carbonatadas es más moderna obviamente que las de las unidades anteriormente descritas, en general pueden ser consideradas como Mioceno superior y en algun caso Mioceno terminal a techo de las calizas (Vallesiense). Esto se basa en la correlación realizada con facies equivalente al norte de la cuenca del Tajo (Matillas. Guadalajara) y en la fauna de gasterópodos hallada en las provincias de Madrid y Toledo en las citadas formaciones.

5.1.3. Tectónica.

No existen deformaciones tectónicas notables en la zona, a no ser a escala regional. Estas deformaciones vienen condicionadas según diversos autores por la existencia de una tectónica profunda en la cuenca del Tajo (ALIA 1960, CAPOTE Y CARRO 1968, MARTIN Y ESCORZA, CARBO Y GONZALEZ URBANELL 1973).

Esta tectónica de zócalo con un acusado carácter de fractura tiende a atenuarse en superficie, originando suaves estructuras con una orientación general NNE-SSO que viene a coincidir con las principales líneas morfotectónicas que afectan a los afloramientos del Macizo Hespérico, y en especial a los desgarres tardihercínicos de este macizo reactivados por la orogenia alpina.

Dichas estructuras son muy atenuadas y con unos buzamientos muy suaves y son solamente observables en condiciones en las que la alternancia litológica las pone de manifiesto, y por tanto en puntos muy localizados.

Una estructura que se localiza en la zona bajo estudio es el sinclinal de Los Gózquez, con una dirección como la mencionada y de buzamiento muy suave, quedando de manifiesto en algunos afloramientos muy puntuales en la carretera que une Villaverde con San Martín de la Vega.

5.2. Geología local.

Centrando más el tema de la geología, el área de "La Isla del Herrero", se sitúa en el margen oriental del Jarama, en el valle del mismo, y en el cual se desarrolla un importante nivel de terrazas.

Como ya se ha mencionado las terrazas son discordantes sobre los materiales de las facies centrales y que han sido erosionadas por el río.

Las terrazas aparecen en esta zona encajadas, esto es la terraza inferior y por tanto más reciente erosiona a la superior, a diferencia de otros sistemas fluviales en las que aparecen colgadas. Aquí en "La Isla del Herrero" se desarrollan dos niveles de terrazas; el primero (más antiguo) a una cota aproximada de 12 metros sobre el nivel del río, el segundo con una cota de unos 4 metros y por fin la llanura de inundación actual del río.

La litología de las terrazas se constituye casi exclusivamente por materiales detríticos, con predominio de arenas y gravas, siendo éstas de carácter cuarcítico principalmente. Existen algunas pasadas de arenas más finas y lutitas observables en la terraza superior en un corte realizado con ocasión de las obras de la carretera que une San Martín de la Vega con Chinchón, concretamente en las inmediaciones de (La Isla del Herrero).

En este corte mencionado, pueden observarse unas estructuras de acrección lateral de una barra de meandro (point-bar), en la que es visible el cambio litológico y evolutivo de esta estructura.

Estructuras de tipo semejante, además de otras como laminación cruzada, estratificación cruzada de bajo ángulo, son observables en otros lugares además de en las innumerables graveras que existen en el área y que precisamente extraen los materiales que antes se han mencionado.

Las gravas no presentan unos niveles continuos, se configuran como barras en aquellas zonas en las que la energía del río era suficiente para poder transportar estos materiales gruesos.

Los dos niveles de terraza se ven coronados por materiales más finos correspondientes a la llanura de inundación (flood flat), que en ningún caso superan el metro de potencia.

Es de destacar la diferencia en desarrollo de ambas terrazas, ya que la inferior erosionó en su desarrollo a la superior, encajándose y haciendo desaparecer a la primera en muchas zonas, este proceso proseguiría actualmente con la terraza inferior; el cauce actual de tipo meandriforme, erosionaría a la terraza inferior, si bien de una manera más atenuada y lenta debido a la actual de regulación de caudal que se impone al río Jarama por las presas instaladas en su cauce para el

aprovechamiento de sus aguas en el regadío.

Como es obvio y desde un punto de vista minero que ya se ha dejado entrever, las terrazas presentan un indudable interés económico. Los materiales que las conforman son idóneos y excelentes para su aprovechamiento como áridos en la construcción, ya que unido a su escaso contenido en finos y a su composición silíceas va parejo el gran volumen de materiales y su facilidad de explotación, hecho éste manifiesto por la abundancia de graveras en la zona, una de las cuales explota la terraza superior y se halla a pocos metros de "La Isla del Herrero".

5.3. Hidrogeología.

Para la elaboración de este epígrafe nuevamente se dará un encuadre regional, aunque menos amplio, refiriéndose solamente a aquellas unidades litoestratigráficas cercanas a "La Isla del Herrero" susceptibles de contener acuíferos y mencionando de una manera general las características hidrológicas del río Jarama.

Este río nace en el Sistema Central, en el término municipal de "El Cardoso", en el área conocida por Somosierra, y desemboca en el Tajo en las inmediaciones de Aranjuez. Su cuenca abarca una superficie de 11.597 Km² y como afluentes principales tiene al Lozoya, Henares, Manzanares y Tajuña según este orden. Se encuentra regulado prácticamente desde su nacimiento con embalses para abastecimiento de agua para consumo humano, y en su curso inferior, diferentes presas aprovechan sus aguas para regadío.

El interés como acuífero de las facies detríticas y carbonatadas es evidente desde el punto de vista litológico. Como ya se ha mencionado, las facies detríticas se constituyen por arenas, gravas y microconglomerados con lo que la porosidad es lo suficientemente grande como para almacenar agua. Esto unido a las facies lutíticas o margosas que aparecen en su base las configura como un acuífero óptimo al ser su base impermeable.

Las facies carbonatadas al poseer una porosidad de fractura y disolución también se configuran como acuíferos, aunque de menor capacidad que las facies detríticas subyacentes.

Precisamente por el hecho de estar físicamente por encima de las facies detríticas, los acuíferos de esta zona, no se localizan en las calizas del páramo sino que se sitúan en las facies detríticas.

La zona de recarga de estos acuíferos es pues toda la planicie que se viene a denominar páramo, una superficie geomorfológica en forma de meseta.

Se puede concluir pues al respecto, que la circulación de aguas en esta zona sería desde las calizas hacia el detrítico inferior, que es donde precisamente aparecen los acuíferos y afloran a superficie justo en el límite inferior del detrítico y en su contacto con las unidades lutíticas del techo del Mioceno. Estas sugerencias se materializan en las fuentes llamadas "Fuente de Las Amargas" y "Fuente de Los Caballeros".

No se poseen análisis químicos de las aguas de estas fuentes, sólo indicar que el contenido en carbonatos es elevado.

En cuanto a los acuíferos localizados en los materiales cuaternarios, y en especial en las terrazas, se va a enfocar su estudio desde el punto de vista litológico de recarga y en especial de vulnerabilidad.

Como ya se describió anteriormente, debido a la litología de las terrazas la permeabilidad es muy elevada (del orden de los 100 metros/día), constituyendo excelentes acuíferos, de tipo libre por otra parte, recibiendo su recarga bien por lluvia bien por circulación del agua del Jarama y por último por escorrentía de los cerros de la margen izquierda del Jarama, siendo estas últimas aguas portadoras de grandes cantidades de materiales salinos (principalmente yesos) de disolución de esta zona, lo que se deja notar en la calidad de las aguas de pozos realizados en las terrazas, en las inmediaciones a estos materiales yesíferos que se ha comentado.

Por otra parte y considerando la gran superficie que abarcan estos acuíferos y los materiales en los que se instalan, su vulnerabilidad es muy grande, por lo que cualquier tipo de vertedero instalado en las terrazas, no solamente es susceptible de contaminar estos acuíferos, sino que puede aventurarse que de hecho lo hará.

Tampoco se dispone de datos en cuanto a caudales de los

pozos existentes en este área, sólo a modo orientativo, estos pueden superar los 50 litros/segundo que es la capacidad de las bombas instaladas en un pozo para aprovisionamiento de una finca de los alrededores que alcanzó el acuífero a una profundidad de 8 metros, estando situada su embocadura en el segundo nivel de terraza a una altura en torno a los 10 metros sobre el nivel del río.

Parte II

1. INTRODUCCION.

Hasta ahora se han realizado las siguientes fases:

- Clasificación de las balsas en España en dos grupos.
- Caracterización de los grupos.
- Elección de una balsa afectada por la eutrofización, en la cual poder estudiar los procesos que en ella se producen.

A continuación, se procede a investigar los procesos que tienen lugar en la balsa, debidos a la eutrofización, mediante la realización de un modelo matemático que describa, lo mejor posible y con el menor número de variables, el desarrollo de la eutrofización en base a la concentración de clorofila-a, y la posible influencia de la eutrofización de la balsa sobre la composición de las aguas subterráneas.

Para cumplir con estos objetivos se emplearán herramientas estadísticas multivariadas, similares a las utilizadas en las fases previas de selección de la balsa, combinadas con la regresión clásica.

El desarrollo de la investigación constará de las siguientes fases:

- Descripción multivariable de los datos conseguidos, tanto de la balsa como de las aguas subterráneas, que permita obtener una visión global de los posibles procesos y relaciones que

ocurran en la balsa y en el terreno. Esta descripción se realizará mediante PCA (Análisis por Componentes Principales), y si es necesario se empleará también el FA (Análisis Factorial).

- Estudio del comportamiento de las dos principales sustancias nutritivas: nitrógeno total y fósforo total.

- Determinación de la posible influencia de la eutrofización sobre la composición de las aguas subterráneas. Para ello, se tendrá en consideración el principio de que si existe un foco de origen de una sustancia, la concentración de ésta variará en los sondeos sucesivos. Además, los sondeos se ordenarán con concentraciones en relación inversa a la distancia al foco de origen.

1.1. Características de la balsa.

En la figura 7, aparece la situación de la balsa a escala 1:50.000.

Su superficie total es de aproximadamente 0.03 Km², dividida en dos lóbulos, uno más cercano al río Jarama (lóbulo inferior, figura 8) y otro más alejado (lóbulo superior, figura 9). En sus orillas existen macrofitas, cañaverales, (figura 10). Sus aguas se emplean para regar el terreno agrícola circundante. Tiene una longitud aproximada de 600 m. entre los dos lóbulos, y una anchura de orilla a orilla de aproximadamente 50 m. La profundidad media viene a ser de 4 m. siendo el lóbulo inferior

el de mayor profundidad. El color de sus aguas es verdoso, signo evidente de eutrofización de sus aguas, (figura 11), sobre todo en las orillas donde existen cañaverales. Cuando se realizó la extracción de sedimentos, el olor de éstos era muy similar al del SH_2 , que solo puede existir en ambientes anóxicos y fuertemente reductores. Por lo tanto, se puede concluir que la balsa que se va a estudiar está fuertemente eutrofizada.

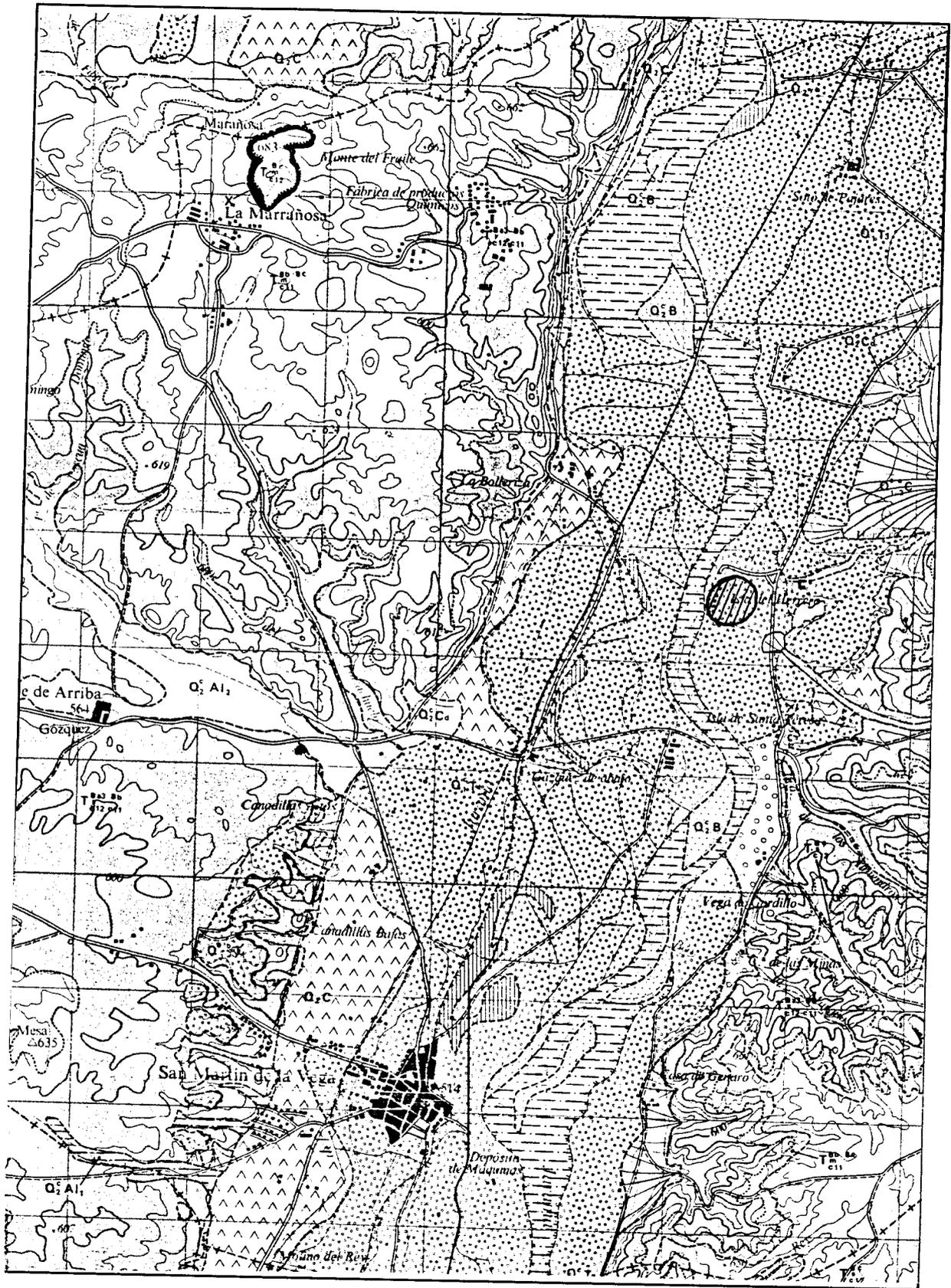


Figura 7. Mapa de situación 1:50.000

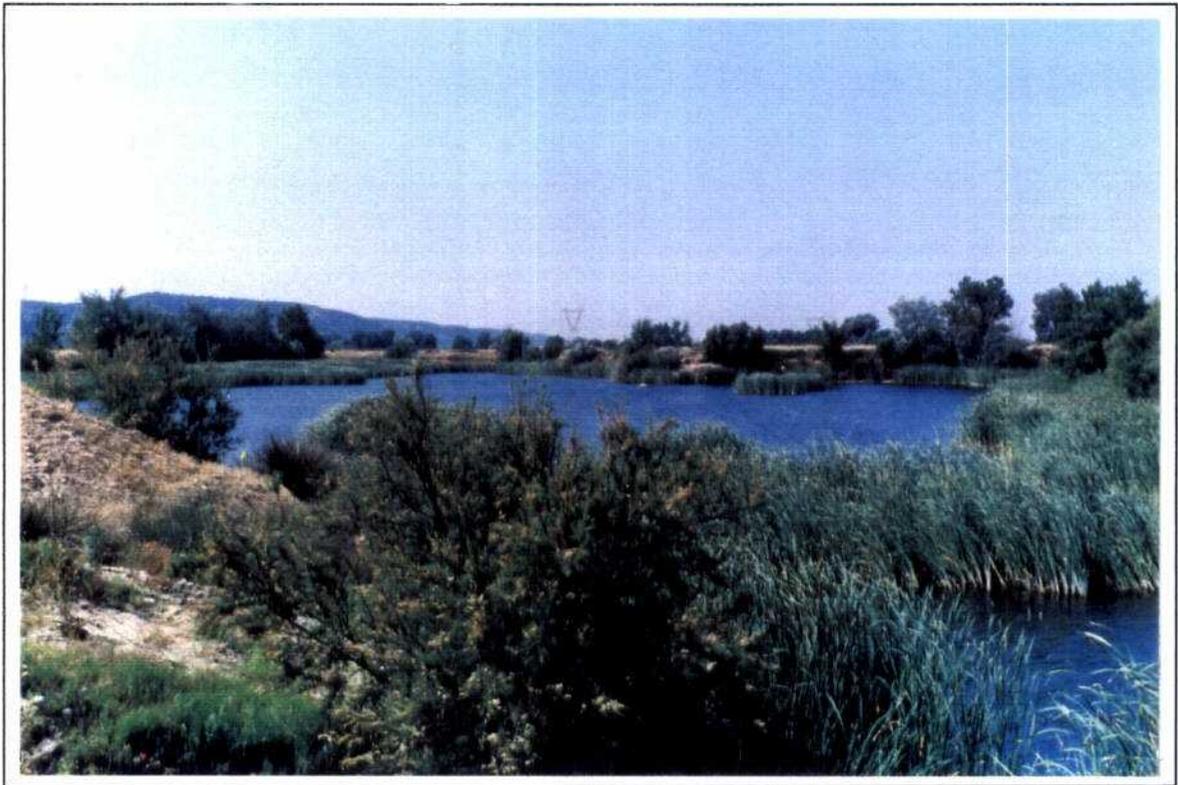


Figura 8. Lóbulo inferior de la balsa.



Figura 9. Lóbulo superior de la balsa.



Figura 10. Existencia de macrofitas.



Figura 11. Signos de eutrofización.

1.2. Metodología de trabajo.

1.2.1. Campañas de muestreo.

Los sondeos para extraer las muestras de aguas subterráneas se realizaron a diversas distancias del río y la balsa. En las figuras 12-14, aparecen dos croquis de la balsa y la situación de los puntos de muestreo de la balsa y sondeos. Con respecto a los muestreos realizados hay que comentar que en la balsa se realizaron tres campañas y en los sondeos dos debido a problemas de perforación. Por otra parte, con la superficie que tiene la balsa con un solo punto de muestreo habría bastado por campaña, sin embargo en esta investigación se han tomado más (3 en Abril-Mayo-Junio, 1 en Julio y 2 en Octubre) para obtener suficientes grados de libertad para desarrollar el modelo.

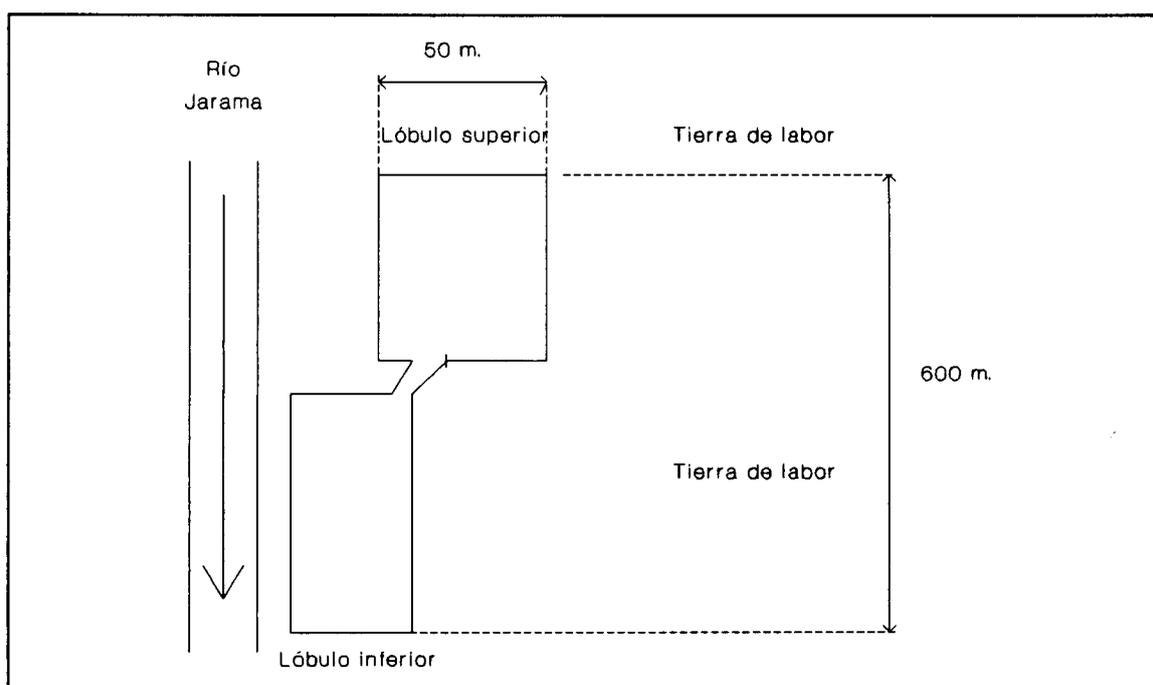


Figura 12. Dimensiones de la balsa.

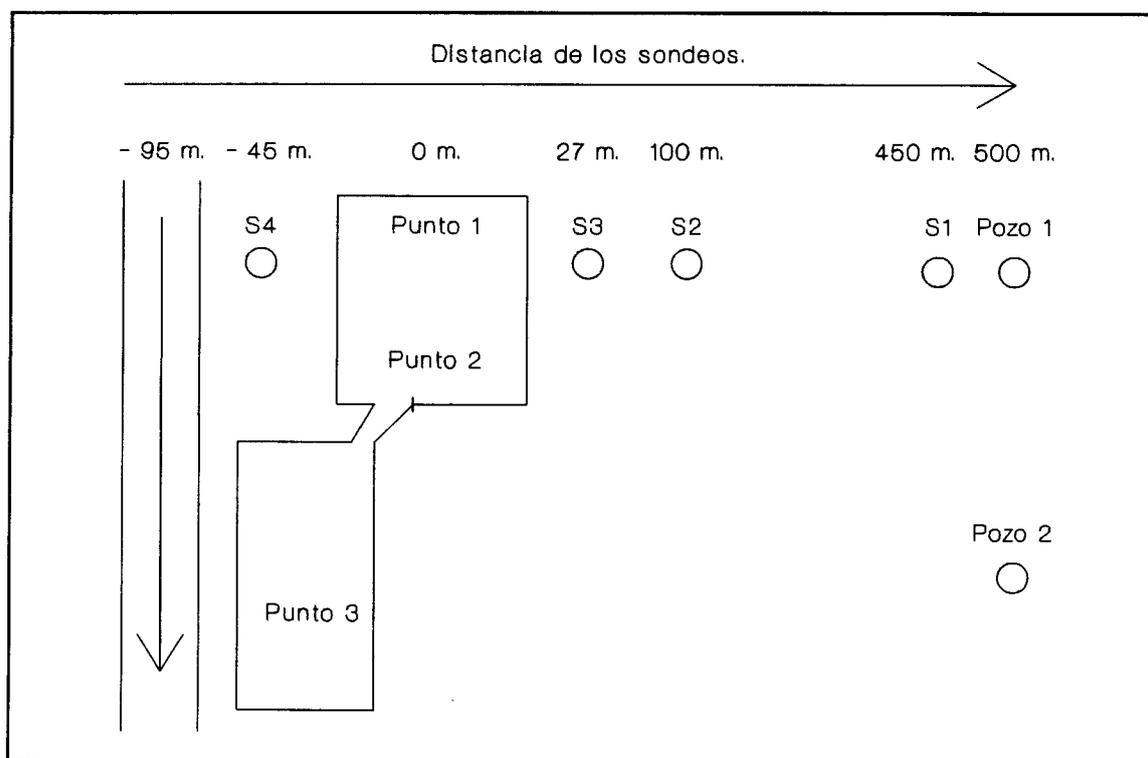


Figura 13. Localización de los sondeos y puntos de muestreo.

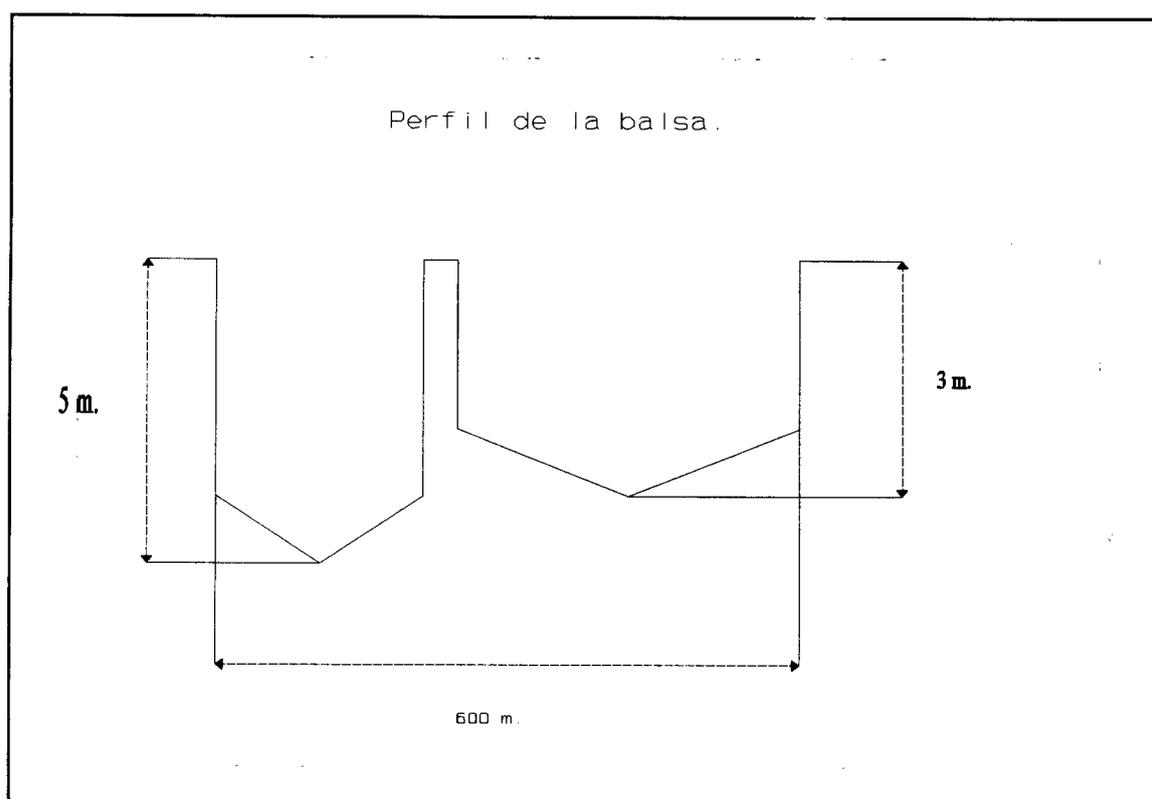


Figura 14. Perfil de la balsa.

A continuación, se muestran todos los datos obtenidos durante 1992 y que se han empleado en los diferentes análisis estadísticos, junto la fecha de muestreo y etiquetado de la muestra.

A. Variables medidas por el I.T.G.E.¹

Dato	Cl	SO4	HCO3	NO3	Na	Mg	Ca	K	pH	Conduct
1	83	184	190	132	112	22	65	11	7.3	953
2	83	156	176	50	93	18	78	10	8.4	884
3	153	868	289	32	223	79	242	10	7.6	2250
4	213	1452	236	56	427	117	280	10	7.5	3800
5	222	1467	282	52	361	129	337	9	7.4	3380
6	213	1452	243	58	461	127	280	15	7.4	3580
7	195	1550	230	50	359	119	296	10	7.7	3340
8	82	203	239	72	102	32	90	12	7.5	1050
9	130	795	356	39	202	71	246	9	7.4	2060
10	136	820	334	19	219	80	232	10	7.8	2030
11	70	133	239	30	82	20	83	9	7.2	864
12	182	1500	259	60	398	107	260	8	7.4	3530
13	181	1450	310	33	360	102	290	9	7.1	3270
14	193	1525	243	72	419	112	262	11	7.3	3520
15	189	1550	278	44	420	112	272	11	7.4	3426
16	159	760	239	24	208	65	205	8	7.8	2130

¹ Todos los parámetros están dados en mg l⁻¹ excepto:

- pH
- Conductividad, S*10⁻⁶ cm⁻¹.
- El fosfato en el informe del ITGE viene dado como P₂O₅, se ha realizado la conversión estequiométrica.
- DQO: oxidabilidad al MnO₄K.

Dato	Cl	SO4	HCO3	NO3	Na	Mg	Ca	K	pH	Conduct
17	162	840	222	24	195	75	198	8	7.8	2240
18	164	890	187	14	244	74	174	10	7.9	2260
19	189	1500	269	50	393	113	266	9	7.5	4000
20	175	1920	262	40	523	130	303	14	7.3	4290

Dato	NO2	NH4	SiO2	Fe	Mn	Al	Mo	NT	PT
1	45.	7.2	19.3	0.90	0.10	0.00	0.50	16.79	5.50
2	0.	0.5	19.8	0.09	0.01	0.00	0.50	12.00	1.14
3	0.	0.2	21.7	0.03	0.01	0.50	0.50	7.61	0.29
4	0.	0.2	22.2	0.28	0.02	2.24	3.00	12.98	0.08
5	0.	0.2	17.1	1.40	0.08	3.47	0.50	12.14	0.10
6	1.	0.2	22.2	1.44	0.08	1.80	0.60	15.51	0.19
7	0.	0.2	28.0	0.04	0.00	0.70	0.70	12.16	0.03
8	0.	0.1	18.8	0.16	0.14	0.00	1.00	8.02	9.68
9	0.	0.0	20.0	0.24	0.18	0.00	0.50	7.56	0.88
10	0.	0.0	15.3	0.08	0.03	0.00	0.50	4.22	0.76
11	0.	0.0	19.9	0.16	0.28	0.00	0.80	7.87	2.75
12	0.	0.0	20.2	0.17	0.03	0.00	0.50	13.20	2.14
13	0.	0.0	16.6	0.10	0.37	0.00	0.50	7.91	0.92
14	0.	0.0	24.9	0.11	0.07	0.50	1.00	14.89	2.61
15	0.	0.0	26.9	0.10	0.05	0.00	0.70	10.32	0.04
16	2.	1.3	0.7	0.06	0.17	0.00	0.01	4.60	0.56
17	2.	1.4	2.5	0.10	0.13	0.00	0.01	5.46	0.39
18	1.	1.3	0.9	0.02	0.10	0.00	0.01	4.74	0.15
19	0.	0.1	21.5	0.07	0.03	0.10	0.04	13.43	0.07
20	0.	0.0	26.5	0.07	0.02	0.32	0.03	14.59	0.00

Dato	Etiqueta	Fosfato	Descripción
1	R(1)	9.20	Río - Julio
2	S4(1)	1.20	Sondeo (S4) - Julio
3	B(1)	0.55	Balsa (punto 1) - Julio
4	S3(1)	0.23	Sondeo (S3) - Julio
5	S2(1)	0.26	Sondeo (S2) - Julio
6	S1(1)	0.33	Sondeo (S1) - Julio
7	P(1)	0.23	Pozo 1 - Julio
8	R(2)	5.88	Río - Octubre
9	B(2_1)	0.77	Balsa (punto 1) - Octubre
10	B(2_2)	0.23	Balsa (punto 2) - Octubre
11	S4(2)	1.79	Sondeo (S4) - Octubre
12	S3(2)	0.33	Sondeo (S3) - Octubre
13	S2(2)	0.63	Sondeo (S2) - Octubre
14	S1(2)	1.04	Sondeo (S1) - Octubre
15	P(2)	0.16	Pozo 1 - Octubre
16	SPA-1	0.08	Balsa (Primavera: Abril-Mayo-Junio) punto 1.
17	SPA-2	0.11	Balsa (Primavera: Abril-Mayo-Junio) punto 2.
18	SPB-1	0.12	Balsa (Primavera: Abril-Mayo-Junio) punto 3.
19	SB-1	0.05	Pozo 1 (Primavera: Abril-Mayo-Junio)
20	P-2A	0.12	Pozo 2 (Primavera: Abril-Mayo-Junio)

ANÁLISIS DE UNA MUESTRAS DE AGUA PRESENTADAS POR LA DIVISION DE AGUAS SUBTERRANEAS CORRESPONDIENTE AL ESTUDIO "EUTROPIZACION Y SU INFLUENCIA EN LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS"

Referencia: P-2A	
Sodio, Na	523 mg/L
Potasio, K	14 "
Amonio, NH ₄	Ausencia
Magnesio, Mg	130 "
Calcio, Ca	303 "
Hierro, Fe	0.070 "
Manganeso, Mn	0.020 "
Cobre, Cu	<0.05 "
Cinc, Zn	0.07 "
Molibdeno, Mo	0.035 "
Aluminio, Al	0.32 "
Cloruros, Cl	175 "
Sulfatos, SO ₄	1920 "
Nitratos, NO ₃	40 "
Nitritos, NO ₂	Ausencia
Bicarbonatos, CO ₃ H	262 "
Carbonatos, CO ₃	0 "
Fosfatos, PO ₄	0,12 "
Silice, SiO ₂	26,5 "
Demanda Química Oxígeno (=) DQO	4,0 "
Color	40 " Pt/Co
Turbidez	200 UNF
pH	7,3
Conductividad a 20° C	4290 μS/cm

(*) Oxidabilidad al MnO₂K

Madrid, 13 de Julio 1992

El Jefe de Laboratorio.



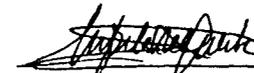
ANÁLISIS DE UNA MUESTRAS DE AGUA PRESENTADAS POR LA DIVISION DE AGUAS SUBTERRANEAS CORRESPONDIENTE AL ESTUDIO "EUTROPIZACION Y SU INFLUENCIA EN LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS"

Referencia:SB-1		(Toma:3-6-92)
Sodio, Na	393	mg/L
Potasio, K	9	"
Amonio, NH ₄	0.11	"
Magnesio, Mg	113	"
Calcio, Ca	266	"
Hierro, Fe	0.070	"
Manganeso, Mn	0.026	"
Cobre, Cu	<0.05	"
Cinc, Zn	<0.05	"
Molibdeno, Mo	0.040	"
Aluminio, Al	<0.10	"
Cloruros, Cl	189	"
Sulfatos, SO ₄	1500	"
Nitratos, NO ₃	50	"
Nitritos, NO ₂	0.23	"
Bicarbonatos, CO ₃ H	269	"
Carbonatos, CO ₃	0	"
Fosfatos, PO ₄	<0,05	"
Silice, SiO ₂	21,5	"
Demanda Química Oxígeno (=) DQO	0,2	"
Color	<1	" Pt/Co
Turbidez	7	UNF
pH	7,5	
Conductividad a 20° C	4000	μS/cm

(*) Oxidabilidad al MnO₂K

Madrid, 13 de Julio 1992

El Jefe de Laboratorio



B. Variables medidas para seleccionar el pozo.

C. Variables medidas por C.E.U.

Colegio Español Universitario. Laboratorio de Hidroquímica.

* Abril de 1992.

- DQO (mg de O₂/l)

SP A-1 396

SP A-2 443

SP B-1 432

- DBO (mg de O₂/l)

SP A-1 < 2

SP A-2 20

SP B-1 < 2

- Clorofila-a (mg/m³)

SP A-1 7.41

SP A-2 11.10

SP B-1 5.81

- Recuento del fitoplancton. (SP B-1)

Algas totales (n° células/ml) 14520 ± 175

- Grupos de algas:

Diatomeas 48.5 %

Cianofíceas 30.0 %

Clorofíceas 21.5 %

Principales géneros:

Synedra 38.1 %

Cyclotella 9.7 %

Oscillatoria 20.0 %

Mycrocistis 8.0 %

Sphaerocistis 14.5 %

Géneros acompañantes (<5%)

Scenedesmus, tabellaria, closterium, y ankistrodesmus.

* Junio de 1992. (Análisis de los pozos: elección)

- DBO (mg de O₂/ml)

Muestra P 1-C < 2

Muestra P 2-C < 2

- Análisis de los pozos.

La presencia de fitoplancton es muy escasa (en ninguna se superan las 300 algas/ml).

Destaca la ausencia de diatomeas y el grupo de algas más desarrollado son las Cianofíceas aunque siempre en proporciones muy pequeñas.

* Julio de 1992.

- DBO (mg de O₂/l)

S-1	<2	Balsa	<2
S-2	8	Pozo	<2
S-3	10	S-4	<2

- Balsa (punto 1): Clorofila-a (mg/m³) = 2.96

- Recuento del fitoplancton.

La presencia de fitoplancton en las muestras S-4 y Pozo es muy escasa (en ninguna se superan las 450 algas/ml).

Destaca la ausencia de Diatomeas y el grupo más desarrollado son las cianofíceas (con predominio de Microcystis) aunque siempre en proporciones muy pequeñas. se observa abundancia de restos lignificados en la muestra S-4.

Balsa (punto 1) ofrece los siguientes resultados.

- Algas totales (n° de células/ml) 1100 ± 75

- Grupos de algas:

Diatomeas	37.5%
Cianofíceas	33.5%

Dinoflagelados 22.0%

Principales géneros:

Synedra 12.1%

Cyclotella 24.0%

Oscillatoria 10.5%

Mycrocistis 21.2%

Ceratium 5.3%

Peridinium 14.6%

* Octubre de 1992.

- DBO (mg de O₂/l)

S-1 <2

S-2 <2

S-3 <2

S-4 <2

Balsa (punto 1) <2

Pozo 1 <2

Balsa (punto 2) <2

- Clorofila-a (mg/m³)

Balsa (punto 1) 0.23

Balsa (punto 2) 2.94

- Recuento del fitoplancton (punto 1).

Algas totales (n° de células/ml) 400 ± 10

- Grupos de algas:

Diatomeas 70.5% ± 2

Cianofíceas 15.5% ± 3

Principales géneros:

Cyclotella 45.0%

Oscillatoria 12.5%

D. Variables medidas por D.I.M.A.S.A.

* Primer muestreo (Primavera: Abril-Mayo-Junio.)

- Temperaturas.

T. agua profunda = T. Superficial = T. Ambiente = 17 C.

- Profundidad.

Se tomó en 4 puntos: 1.1, 2.0, 2.2, 3.2 m.

P. media = 2.1 m.

- Transparencia del disco de Secchi.

Se tomó en 4 puntos: 20.0, 27.0, 22.0, 24.5 cm.

Transparencia media = 23.4 cm.

* Segundo muestreo (Verano: Julio-Agosto-Septiembre)

- Temperaturas

T. agua profunda = T. superficial = T. Ambiente = 20 C.

- Profundidad.

Se tomó en 3 puntos: 1, 2.2, 3.5 m.

Profundidad media: 2.2 m.

- Transparencia del disco de Secchi.

Se tomó en tres puntos: 30.0 ,32.0, 36.0 cm.

Transparencia media: 32.7 cm.

1.2.2. Material utilizado.

Para la realización de los muestreos se ha utilizado el siguiente material:

- Disco de Secchi: utilizado para medir la transparencia del agua. Es un disco de 20 cm. de diámetro, dividido en varios

sectores pintados alternativamente de blanco y negro. Para que se pueda hundir fácilmente en el agua se construye de un material pesado. Se utilizó también para medir profundidades.

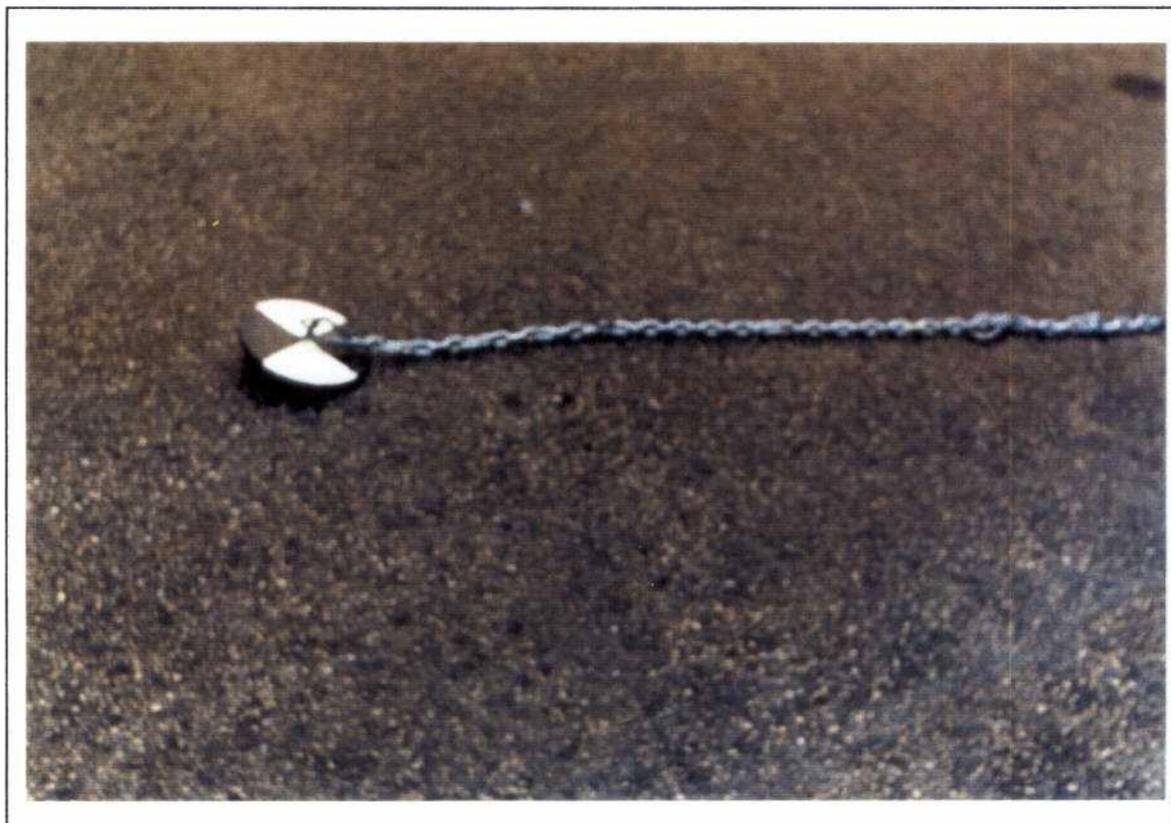


Figura 15. Disco de Secchi.

- Botella Rütger: botella tomamuestras de agua. Se ha utilizado para tomar muestras de las aguas profundas.

- Tomamuestras manual: útil tanto para realizar pequeñas perforaciones como toma de sedimentos, se utilizó para este último uso.

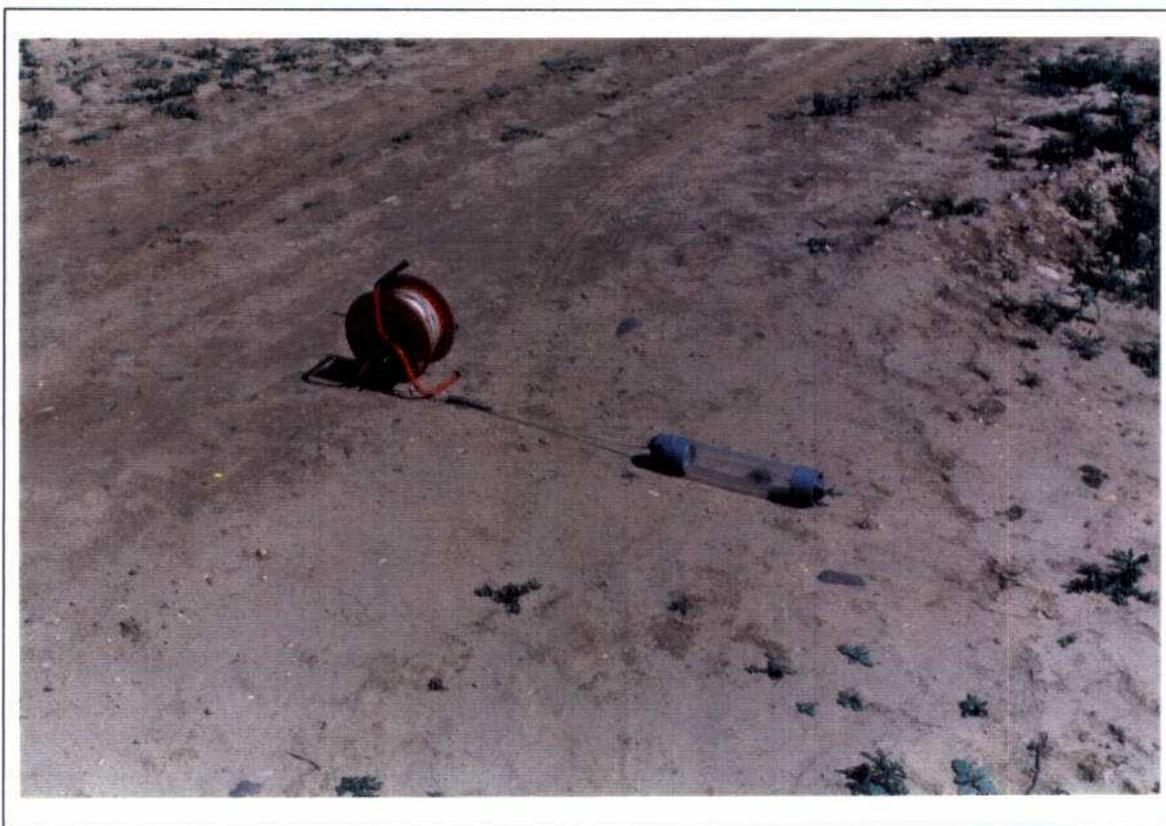


Figura 16. Botella Rütger.

1.2.3. Incidencias del muestreo.

Es necesario resaltar dos importantes puntos:

- Para el muestreo de sedimentos, en general se utiliza una draga, pero esto es así para lagos. En nuestro caso se utilizó el tomamuestras manual, pero, para posteriores trabajos sería recomendable la búsqueda, o desarrollo, de tomamuestras de sedimentos con pérdida mínima de muestra, principal problema al sacar el tomamuestras del agua, al ser abierto el utilizado.

- Al realizar los muestreos de los sondeos, es aconsejable no realizarlos después de lluvias, debido a que éstas movilizan



Figura 17. Tomamuestras manual.

los cationes y aniones del suelo nivelando las concentraciones de éstos y modificando el perfil de concentraciones existente anteriormente. Sin embargo, no siempre es posible planificar el trabajo de campo según este principio.

2. DESCRIPCION DE LOS DATOS EN FUNCION DE LA DISTANCIA.

La descripción de los diferentes parámetros se puede realizar agrupándolos en dos grupos: inorgánicos y orgánicos, debido a que los patrones de comportamiento de cada uno de ellos dentro de los dos grupos es parecida. Como parámetros inorgánicos se midieron Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Fe , Mn , Mo , HCO_3^- , CO_3^{2-} , pH y conductividad. Se han considerado como parámetros orgánicos a los propiamente dichos como son la DQO y la DBO, y a todos aquellos relacionados con el desarrollo de materia orgánica: NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , nitrógeno total y fósforo total.

En general la concentración de los parámetros inorgánicos disminuye desde el río hasta las inmediaciones de la balsa, aumentando a partir de ésta hasta los 50 metros (sondeo S3) en dirección a la carretera. A partir de dicha distancia la concentración permanece prácticamente constante.

Los parámetros orgánicos siguen un patrón diferente. El punto de mayor concentración es el río, a partir del cual ésta disminuye rápidamente hasta los 50 metros aproximadamente de la balsa, distancia a partir de la cual se estabiliza la concentración de estos parámetros.

La explicación de los diferentes comportamientos es sencilla. En el primer caso desde el río a la balsa el terreno se comporta como un filtro, debido a que el terreno se compone de arenas lavadas por las sucesivas crecidas del río, no

disolviéndose una mayor cantidad de sales en las aguas. Sin embargo al irse alejando de este tipo de terreno la concentración de sales aumenta rápidamente hasta llegar las aguas subterráneas al equilibrio con el terreno, punto en el cual la concentración de sales disueltas permanece constante.

Los parámetros orgánicos siguen el mismo comportamiento que los inorgánicos hasta la balsa disminuyendo muy rápidamente. A partir de aquí, la concentración es constante y muy pequeña, por ejemplo, en el caso de la DBO, (figura 18), por debajo del límite de detección del análisis.

Existen diferencias en los parámetros de una campaña a otra. En la DQO, (figura 19), la demanda de oxígeno es mayor en octubre que en Julio, excepto en la balsa. En la DBO, (figura 18), la demanda bioquímica de oxígeno es mayor en Julio que en octubre, y además en dos puntos (S2 y S3) es mucho mayor que en los demás. En octubre la concentración es tan baja que es constante en todos los sondeos, balsa, pozo y río. La concentración de aniones (cloruros, sulfatos y bicarbonatos), (figuras 20-22), y cationes (sodio, magnesio y calcio), (figuras 34-36), siguen el patrón anteriormente comentado para los parámetros inorgánicos. Los cloruros aumentan en Julio en todos los puntos de muestreo salvo en el río. Los sulfatos prácticamente permanecen constantes en las dos campañas. Los hidrogenocarbonatos aumentan en octubre en todos los muestreos aunque disminuyen con la distancia a partir del sondeo S2. El sodio permanece prácticamente constante. El magnesio y el calcio permanecen prácticamente igual desde el río

al sondeo S3, pero a partir de aquí la concentración aumenta en Julio. La conductividad, (figura 33), es prácticamente constante.

El seguimiento del pH, (figura 23), indica que éste en la balsa está situado alrededor de 7.6 y es prácticamente constante. En general, a lo largo del terreno el pH en el primer muestreo es mayor que en el segundo. Existe una variación extrema en el sondeo S4 donde se pasa de un pH de 8.4 en Julio a uno de 7.2 en octubre. Por otra parte en el río existe una pequeña variación de 7.3 en Julio a 7.5 en Octubre.

Importantes dentro de su papel como oligoelementos están el Fe, (figura 29), Mn, (figura 30), y Mo, (figura 31). En la primera campaña, Fe y Mn siguen patrones similares, sin embargo en octubre el Fe muestra un perfil prácticamente constante y el Mn irregular. El comportamiento en la segunda campaña del Fe y de los compuestos inorgánicos se puede explicar con facilidad. El muestreo se realizó después de una intensa semana de lluvias, de tal forma que el Fe se movilizó en el terreno nivelando su concentración a lo largo de éste, mientras que en los demás compuestos inorgánicos su concentración se ha visto rebajada. El molibdeno prácticamente permanece constante durante las dos campañas, a excepción de una anomalía (exceso de Mo) que aparece en Julio.

El perfil de SiO₂, (figura 32), es prácticamente constante en las dos campañas.

El potasio, (figura 37), presenta un perfil prácticamente constante durante el mes de Octubre, y en Julio presenta una anomalía, en exceso, en el sondeo S2.

Los nitratos, (figura 24), nitritos, (figura 25), y amonio, (figura 26), presentan un perfil descendente hasta la balsa. En el caso de los nitratos aumentan ligeramente a partir de la balsa y permanecen prácticamente constantes durante todo el recorrido posterior. En el caso de nitritos y del amonio la concentración, máxima en el río, prácticamente se vuelve nula a partir de S4.

Respecto al fosfato, (figura 27), y el fósforo total, (figura 28), el modelo es descendente en los dos casos y solamente en el fósforo total existe una diferencia significativa entre los perfiles de concentración de las dos campañas.

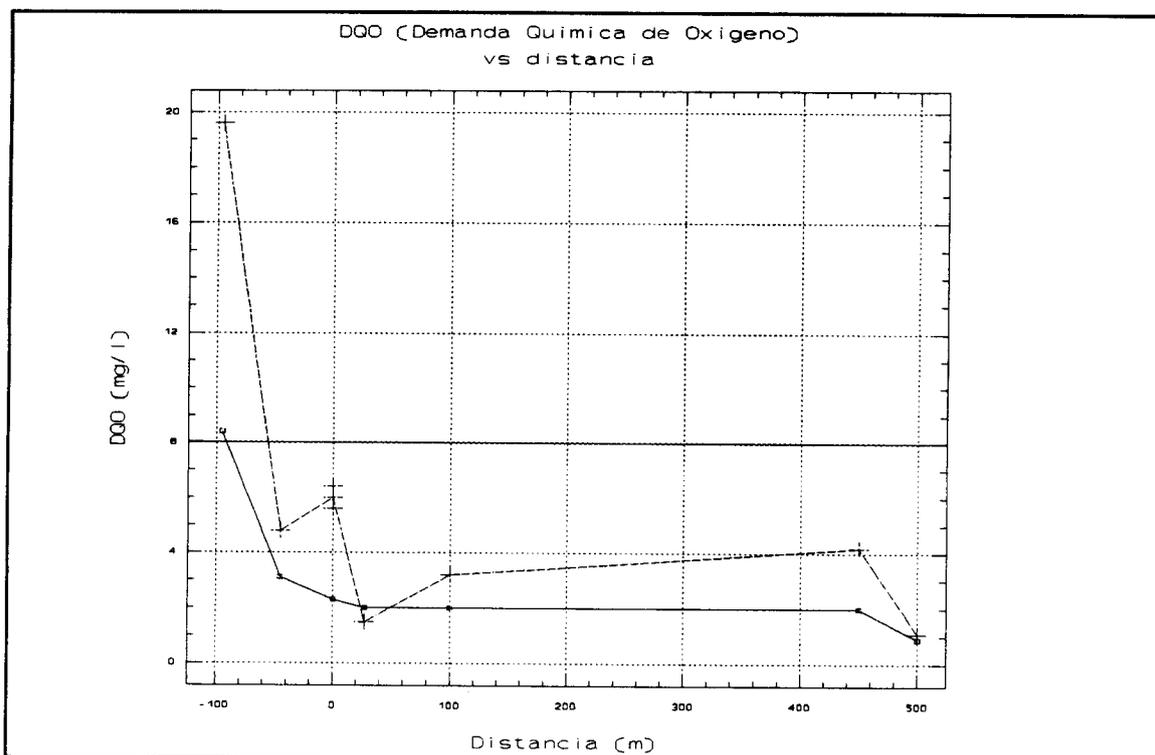


Figura 18. DQO frente distancia. (—) Primer muestreo; (--) segundo muestreo.

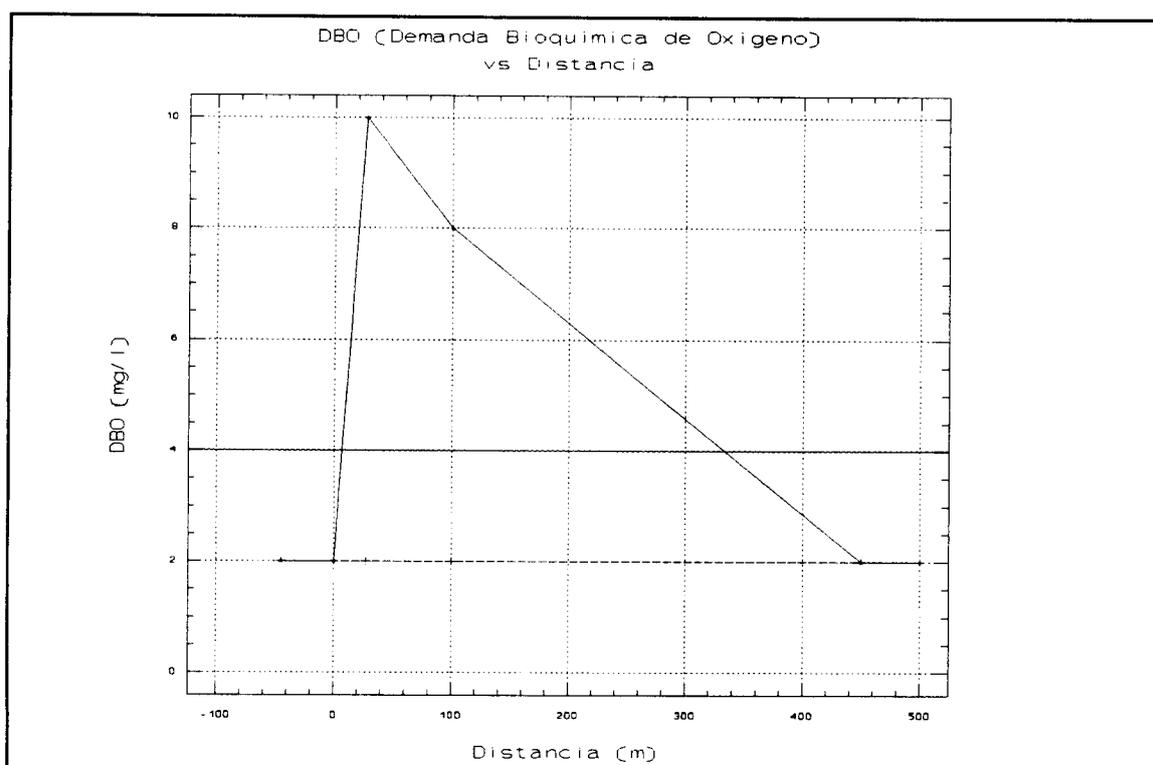


Figura 19. DBO frente distancia. (—) Primer muestreo; (--) segundo muestreo.

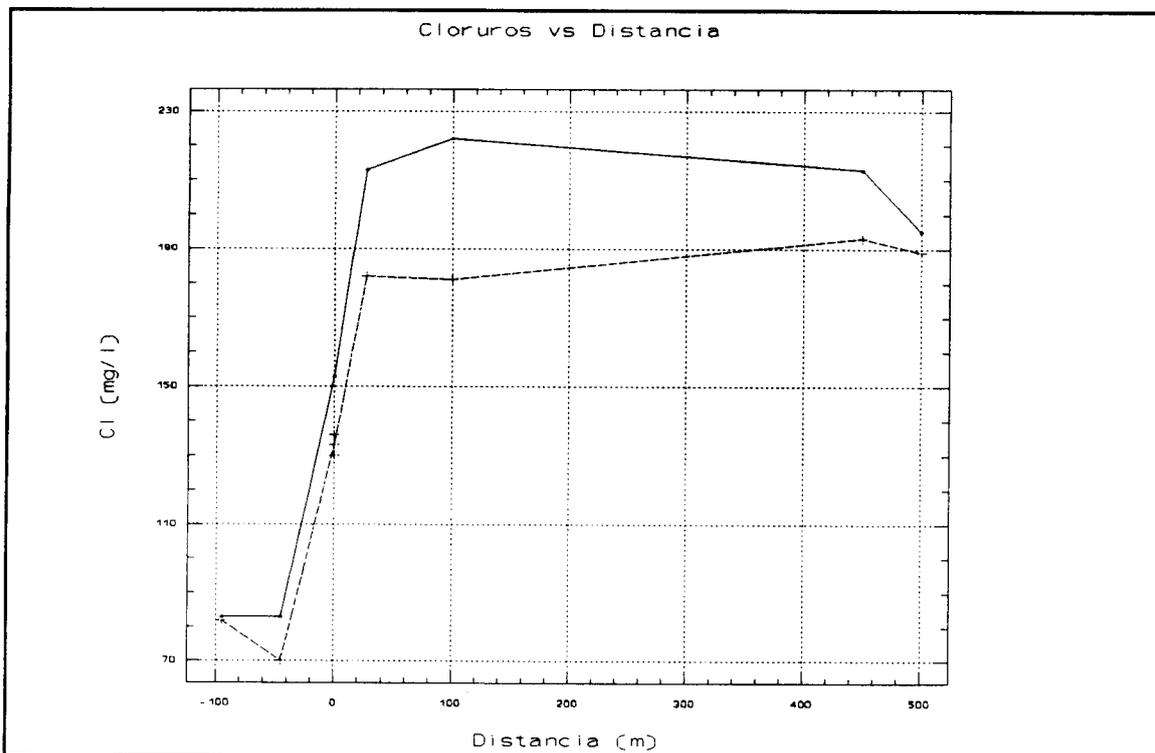


Figura 20. Cl frente distancia. (—) Primer muestreo; (---) segundo muestreo.

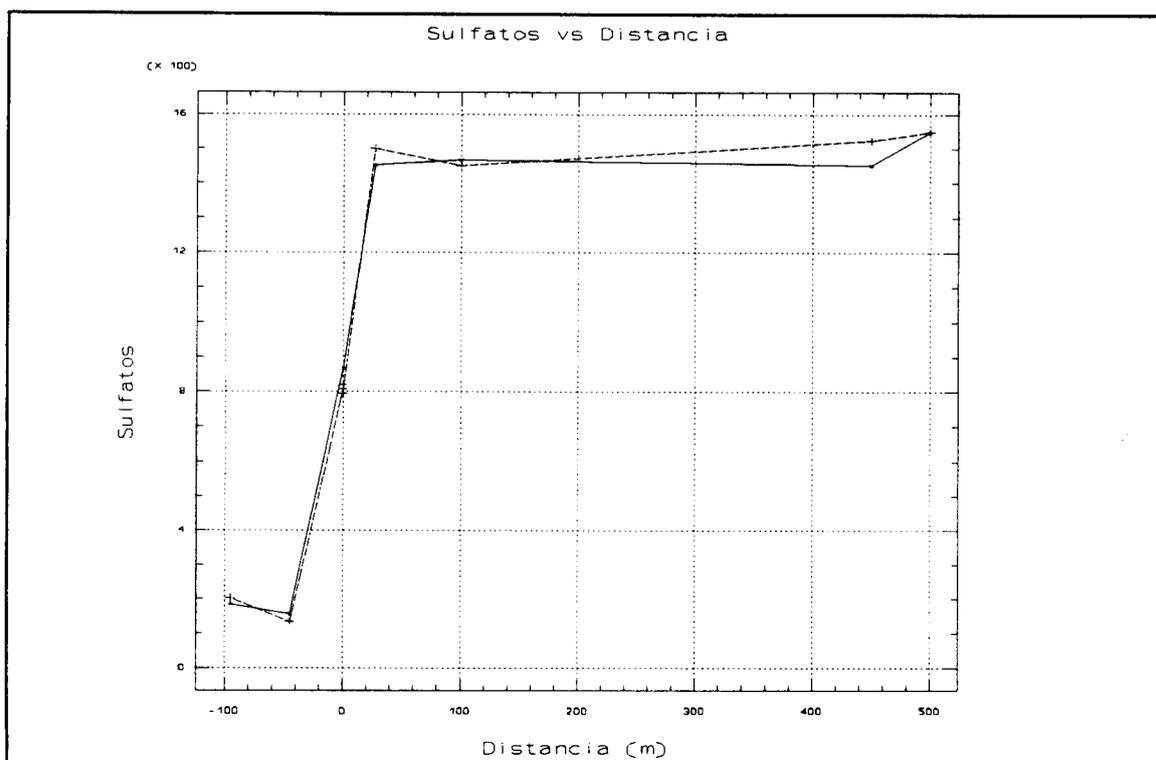


Figura 21. Sulfatos frente distancia. (—) Primer muestreo; (---) segundo muestreo.

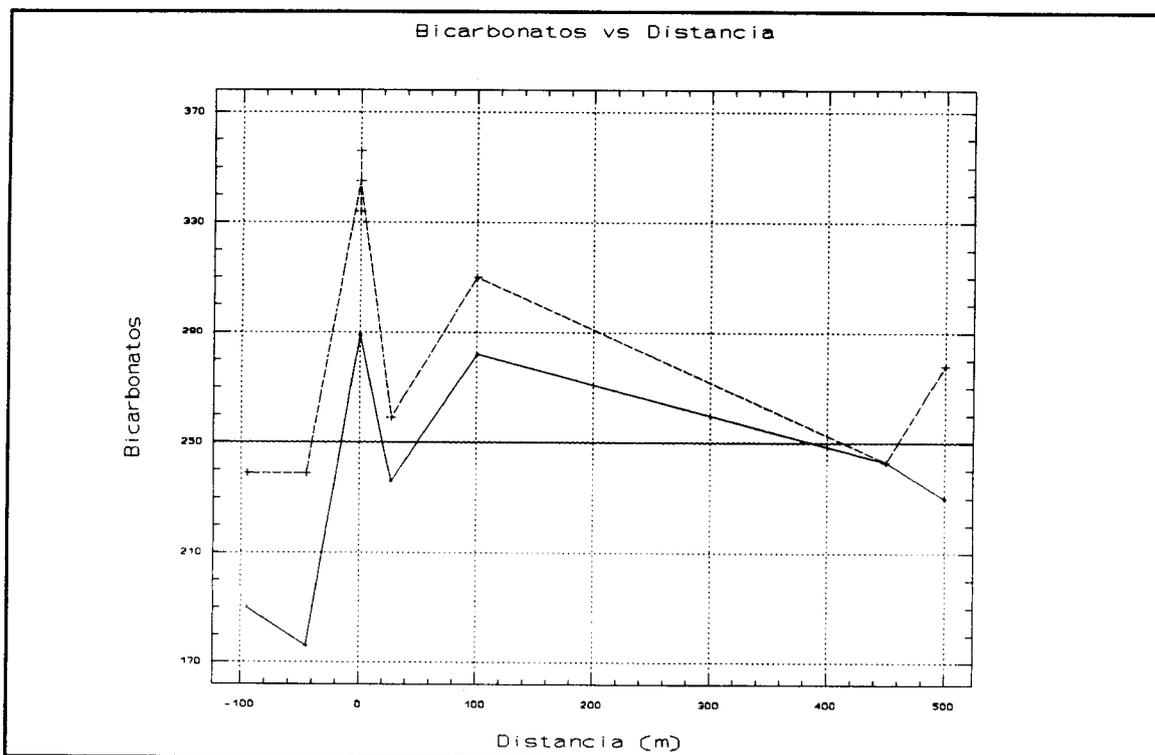


Figura 22. Bicarbonatos frente distancia. (—) Primer muestreo; (---) segundo muestreo.

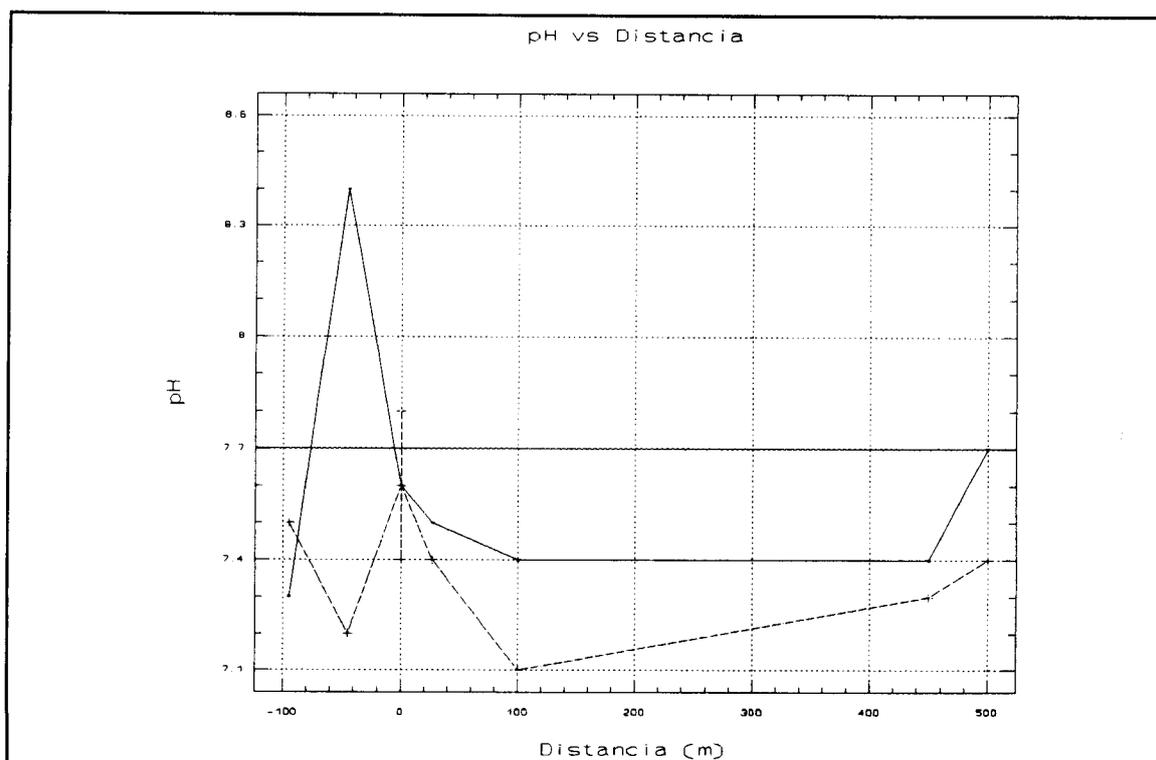


Figura 23. pH frente distancia. (—) Primer muestreo; (---) segundo muestreo.

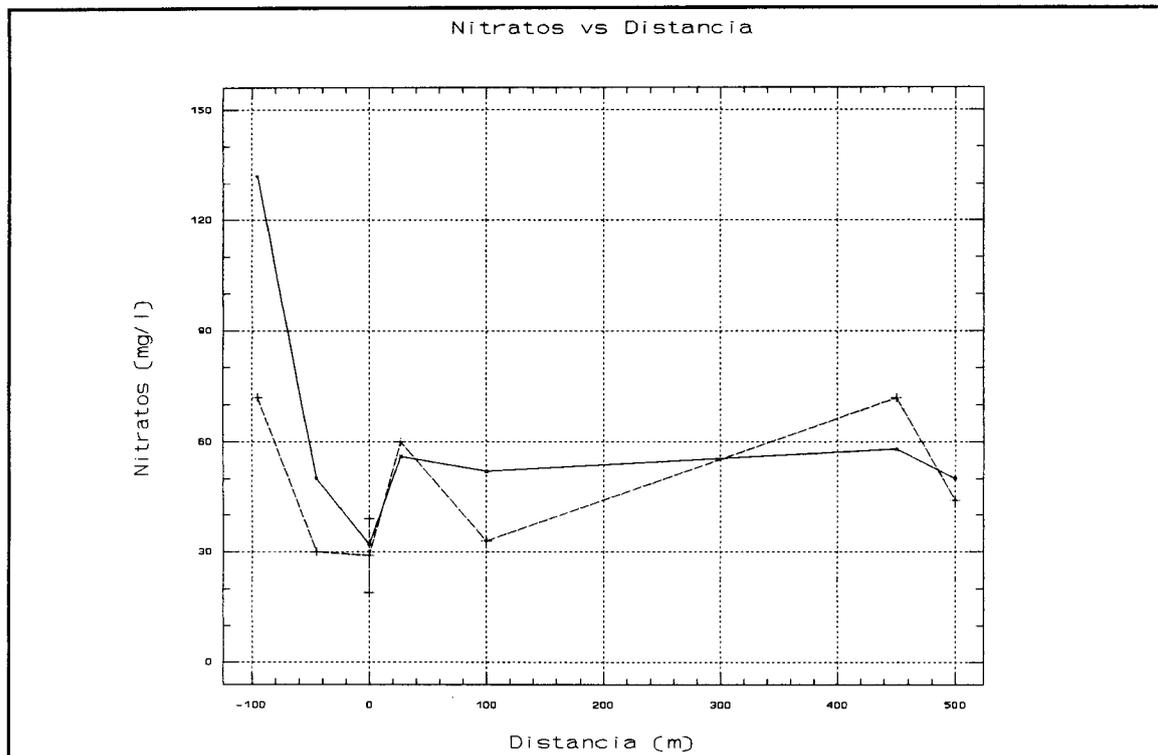


Figura 24. NO_3^- frente distancia. (—) Primer muestreo; (--) segundo muestreo.

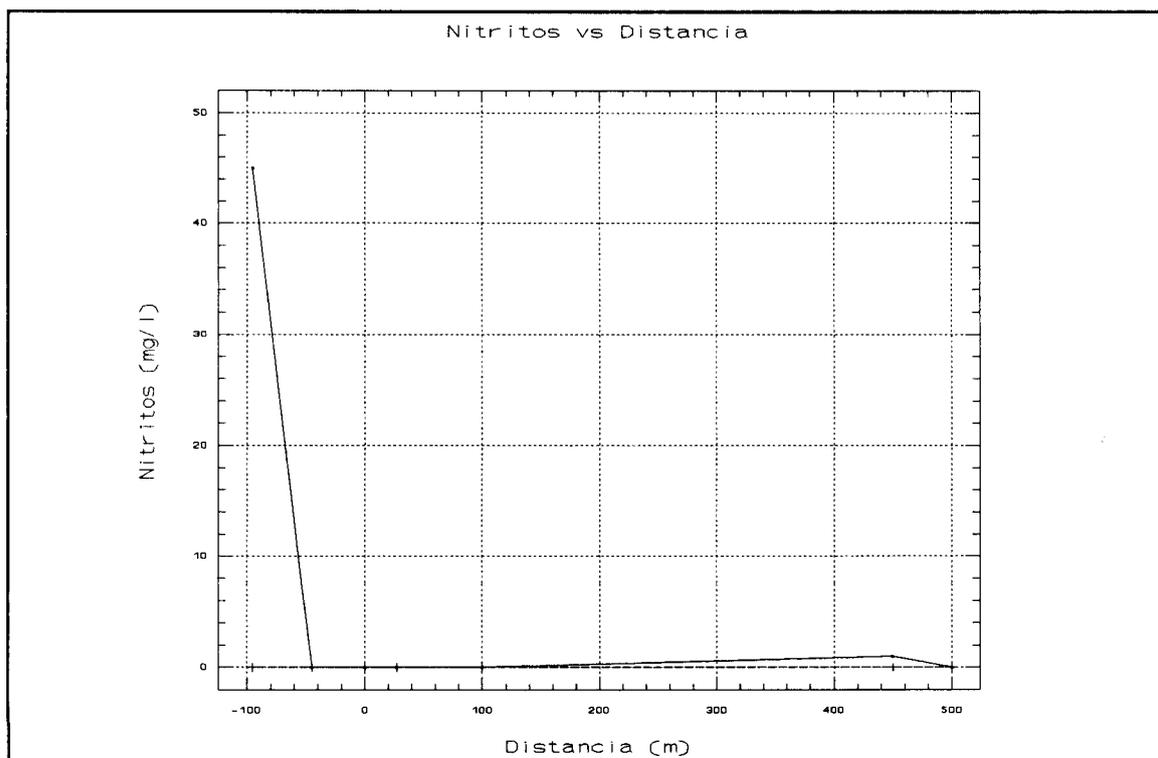


Figura 25. NO_2^- frente distancia. (—) Primer muestreo; (--) segundo muestreo.

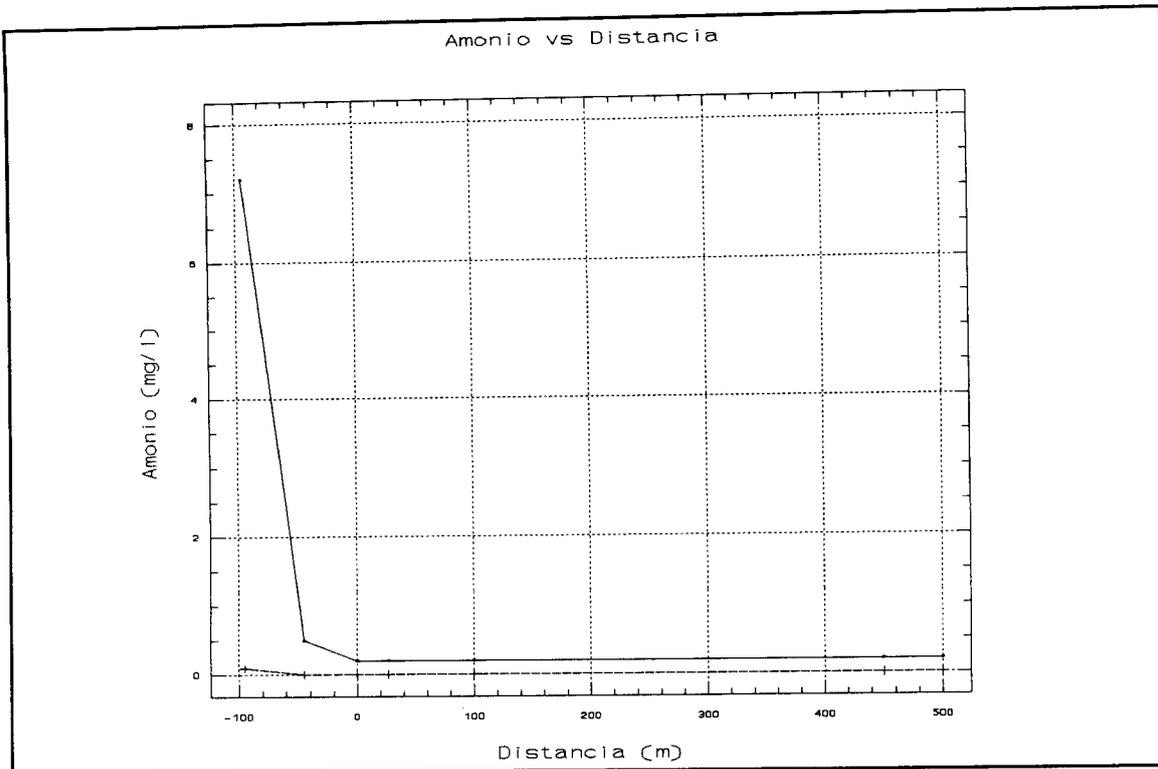


Figura 26. NH_4^+ frente distancia. (—) Primer muestreo; (--) segundo muestreo.

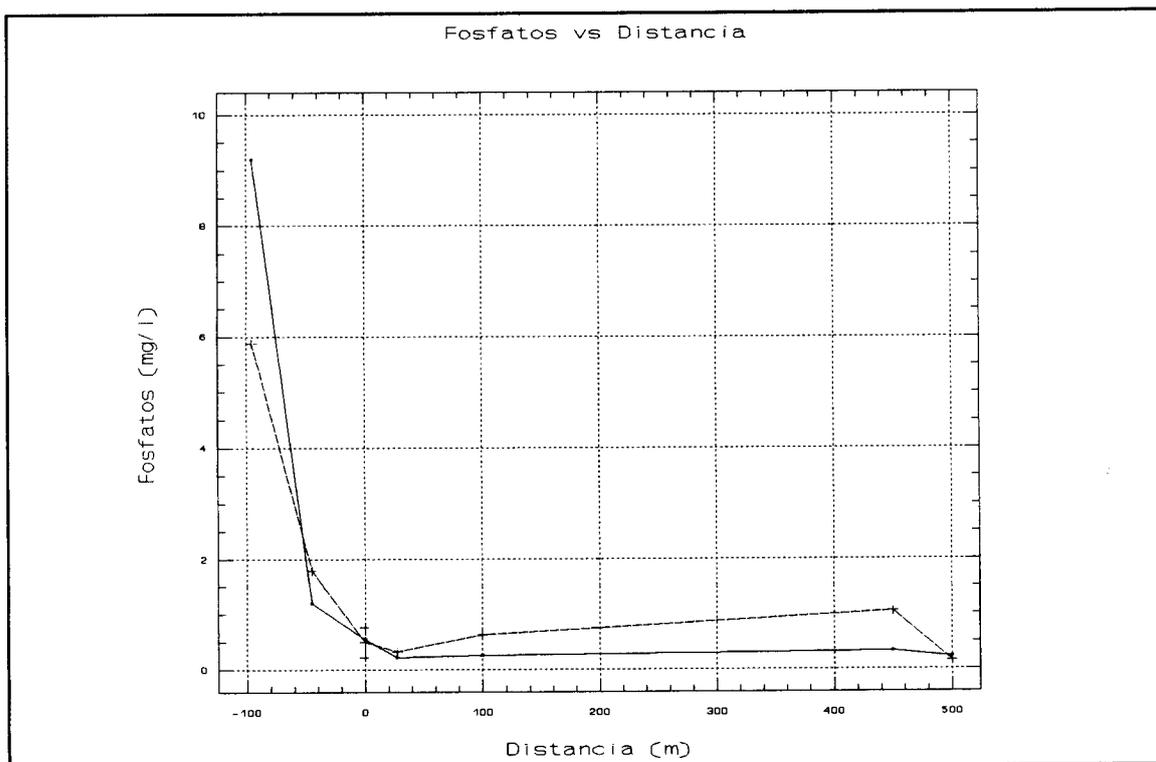


Figura 27. PO_4^{3-} frente distancia. (—) Primer muestreo; (--) segundo muestreo.

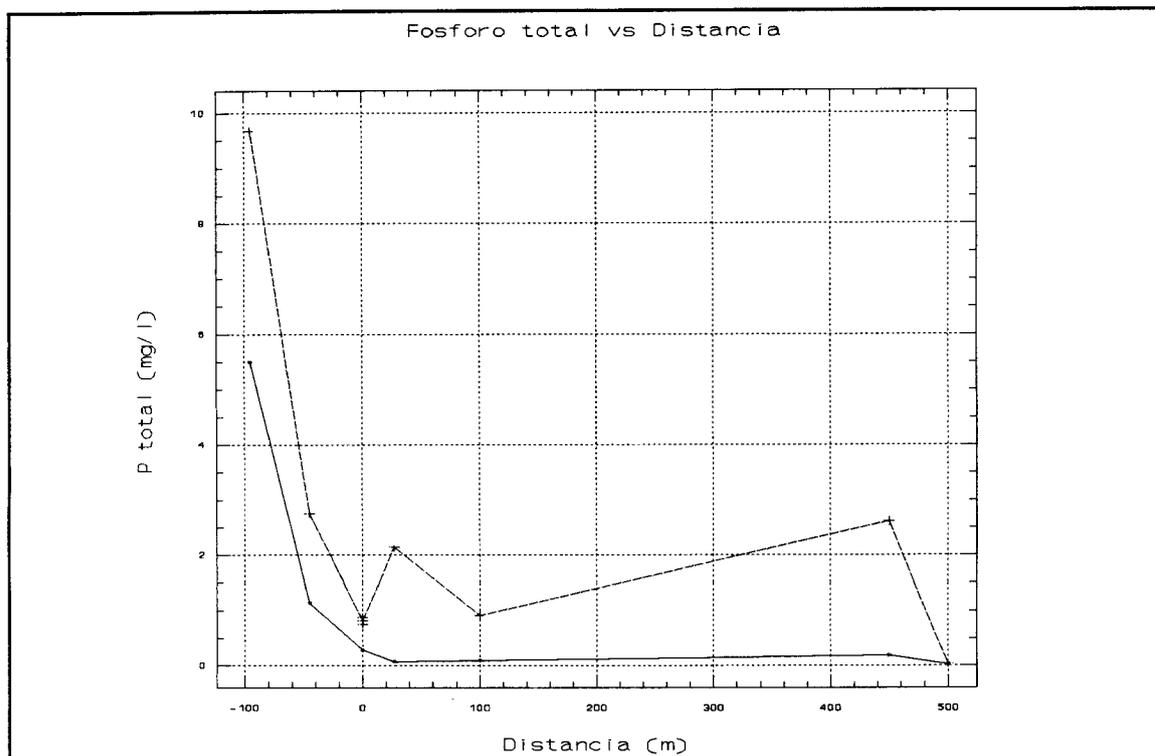


Figura 28. Fósforo total frente distancia. (—) Primer muestreo; (--) segundo muestreo.

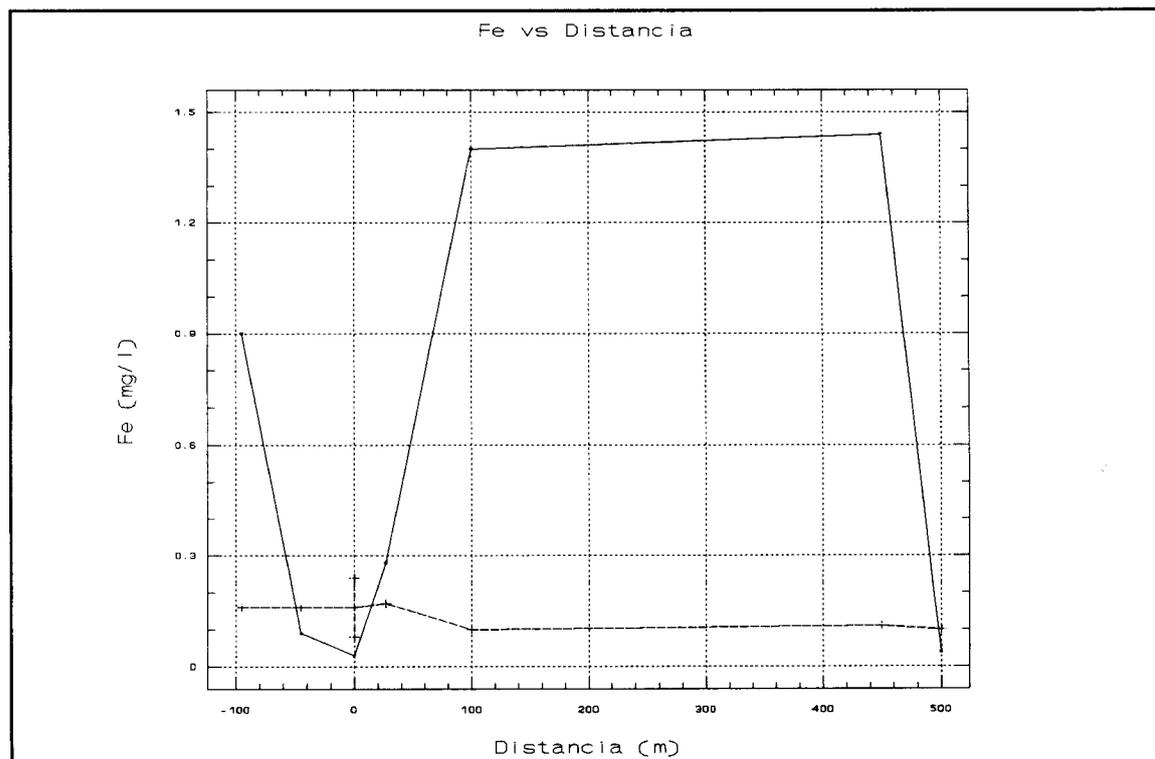


Figura 29. Fe en función de la distancia. (—) Primer muestreo; (--) segundo muestreo.

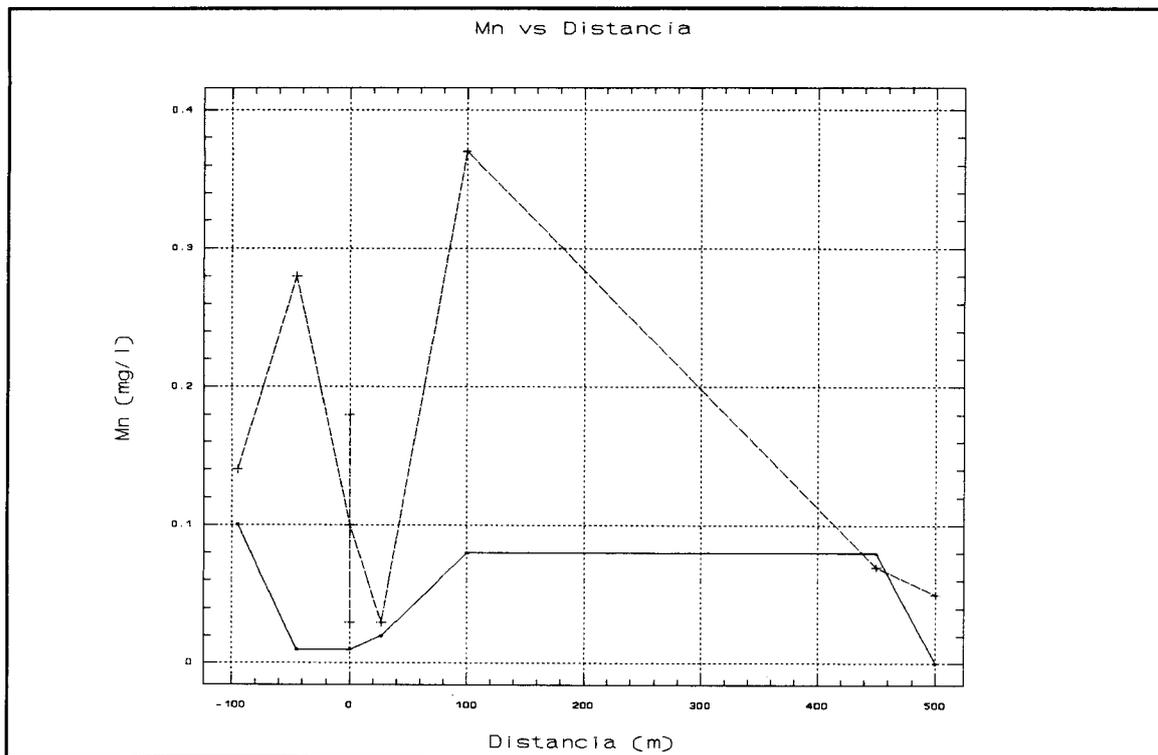


Figura 30. Mn frente distancia. (—) Primer muestreo; (--) segundo muestreo

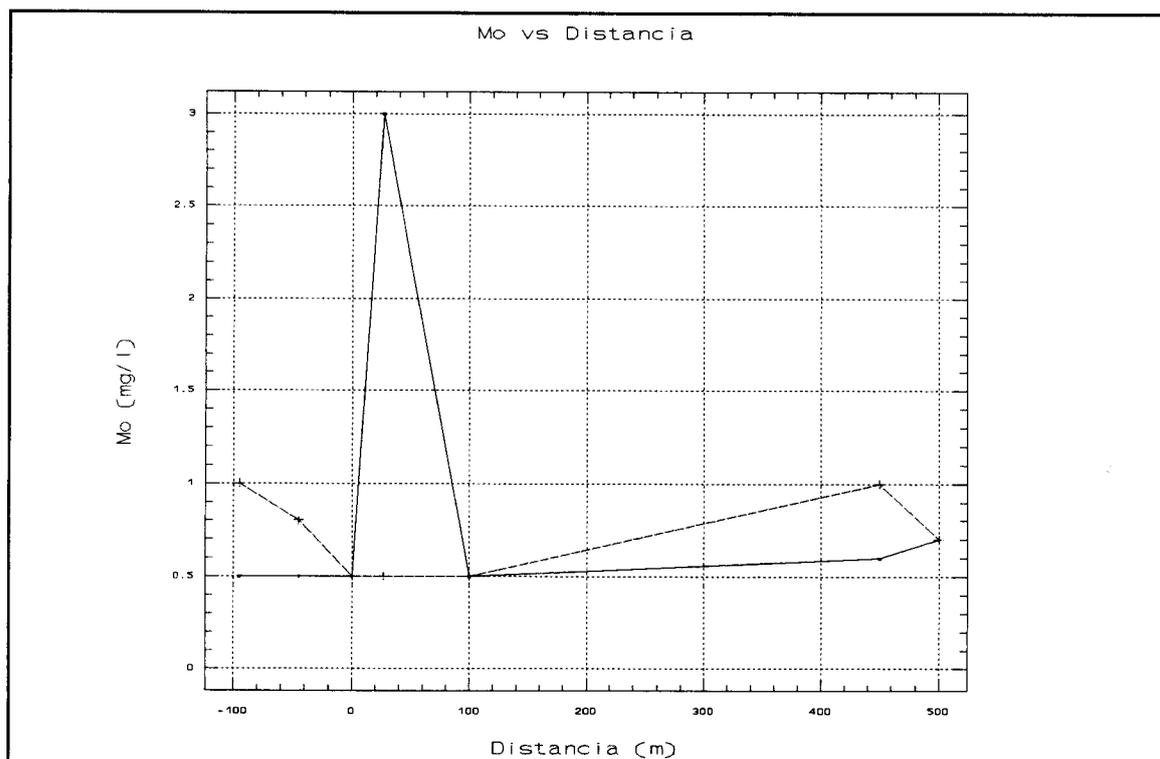


Figura 31. Mo frente distancia. (—) Primer muestreo; (--) segundo muestreo

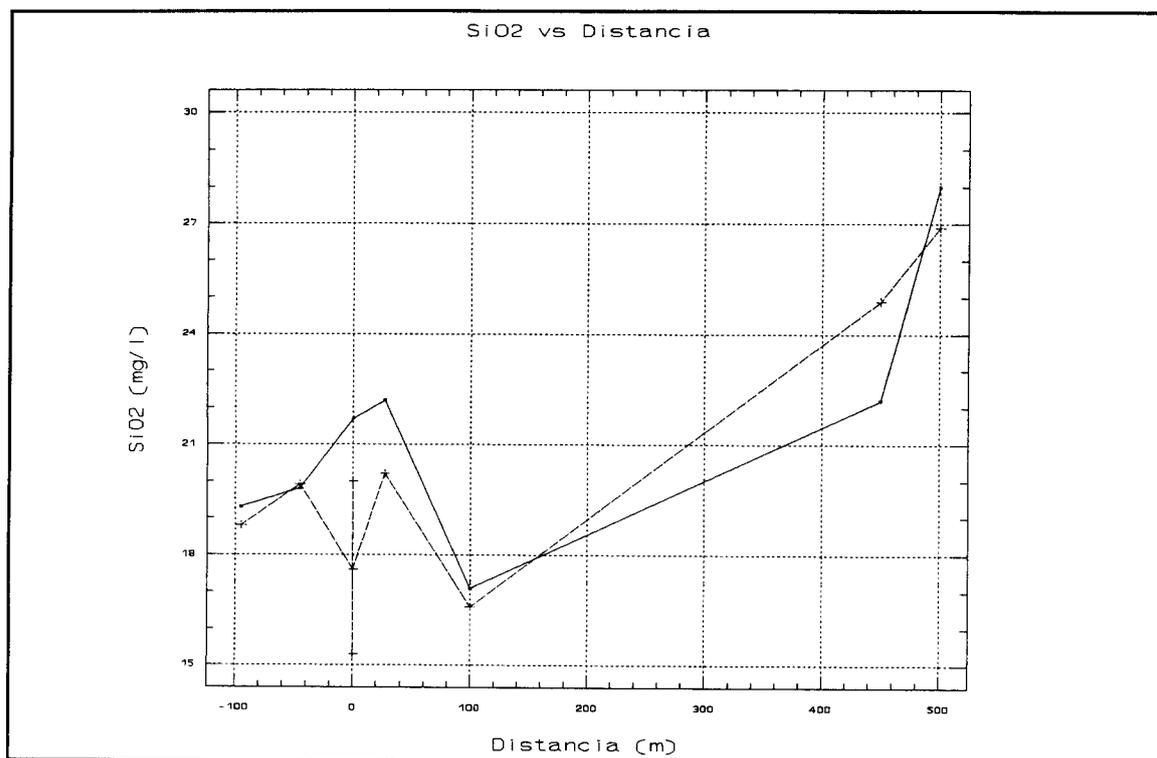


Figura 32. SiO₂ frente distancia; (—) Primer muestreo; (--) segundo muestreo

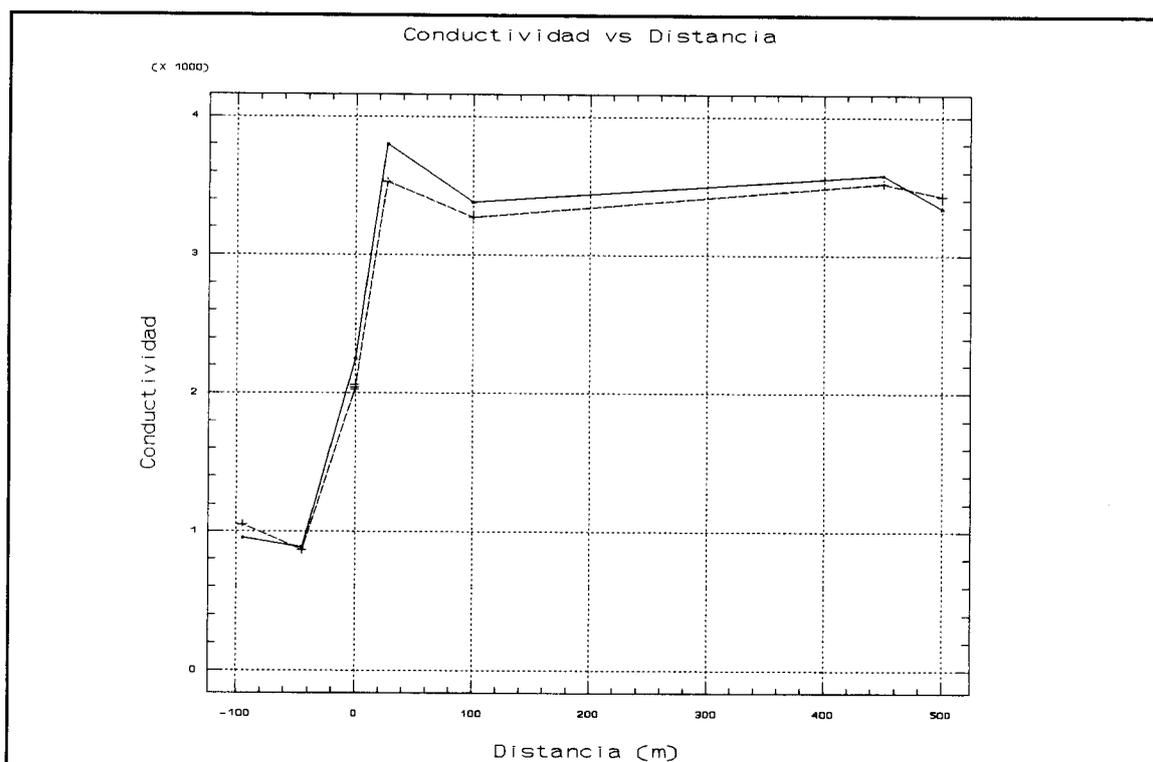


Figura 33. Conductividad frente distancia. (—) Primer muestreo; (--) segundo muestreo.

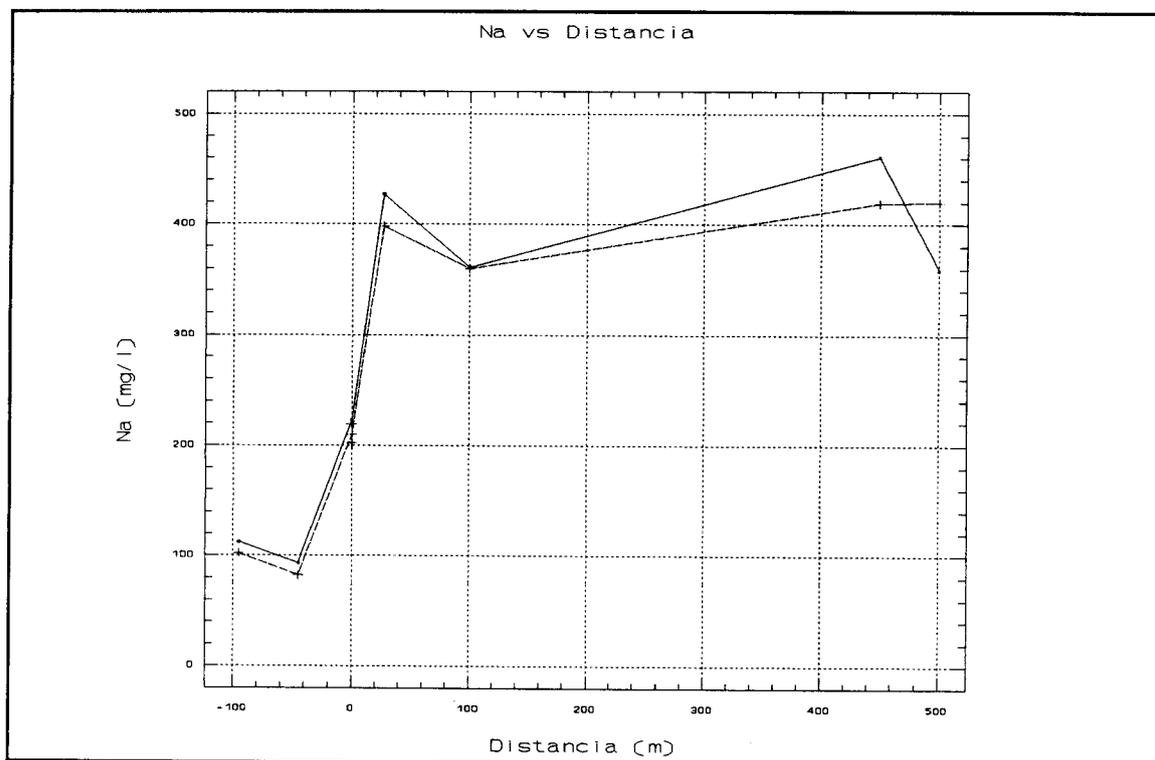


Figura 34. Na^+ frente distancia. (—) Primer muestreo; (--) segundo muestreo.

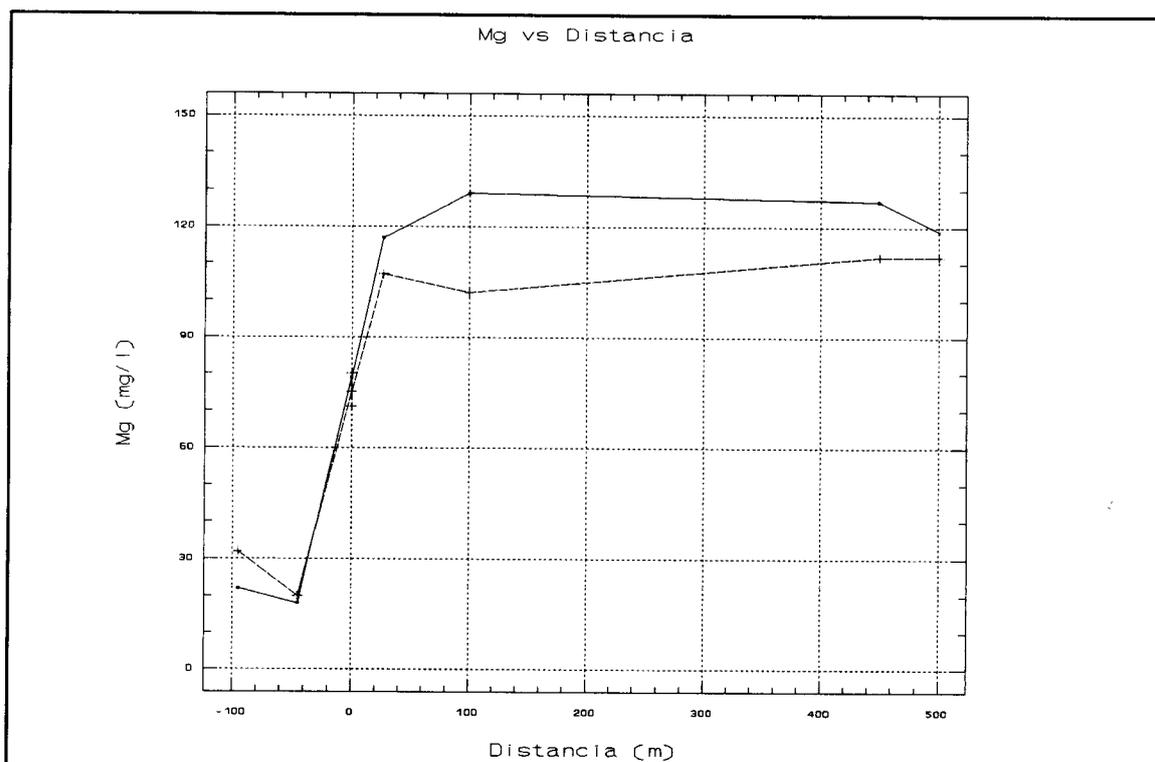


Figura 35. Mg^{2+} frente distancia. (—) Primer muestreo; (--) segundo muestreo.

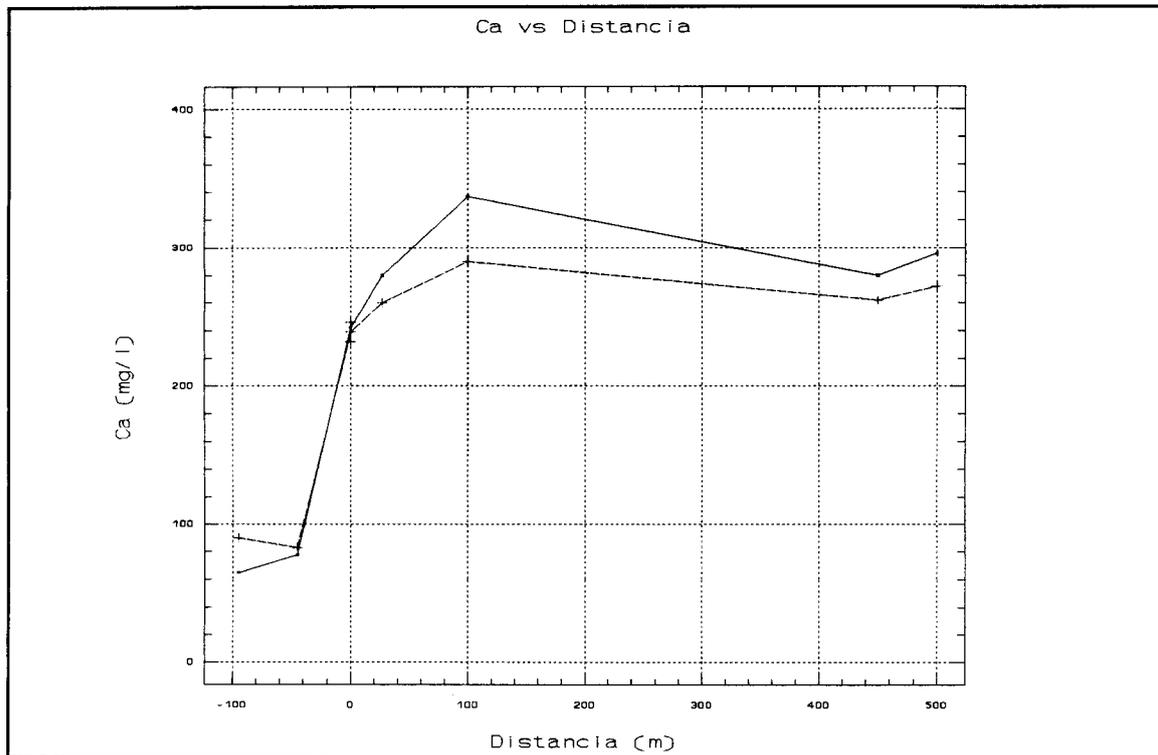


Figura 36. Ca^{2+} frente distancia. (—) Primer muestreo; (--) segundo muestreo.

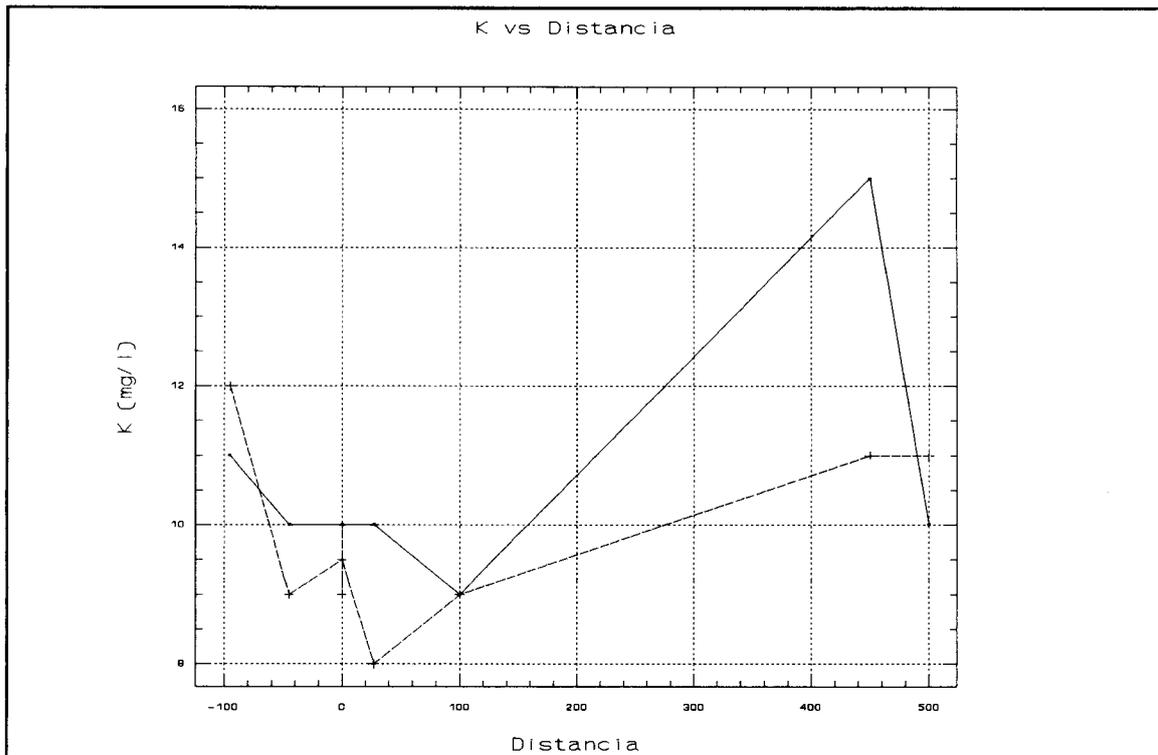


Figura 37. K^+ frente distancia. (—) Primer muestreo; (--) segundo muestreo.

3. ESTUDIO DE LAS CORRELACIONES ENTRE LOS PARAMETROS.

A continuación se estudian las posibles relaciones que se han considerado relevantes entre los diferentes parámetros tanto orgánicos como inorgánicos.

3.1. Cl^- frente SO_4^{2-} .

Tal y como se observa en la representación de Cl^- frente SO_4^{2-} , (figura 38), existe una correlación significativa entre estos dos parámetros. Esta correlación no tiene sentido desde el punto de vista de una correlación química entre ambos aniones, ya que es necesario que se conserve la electroneutralidad.

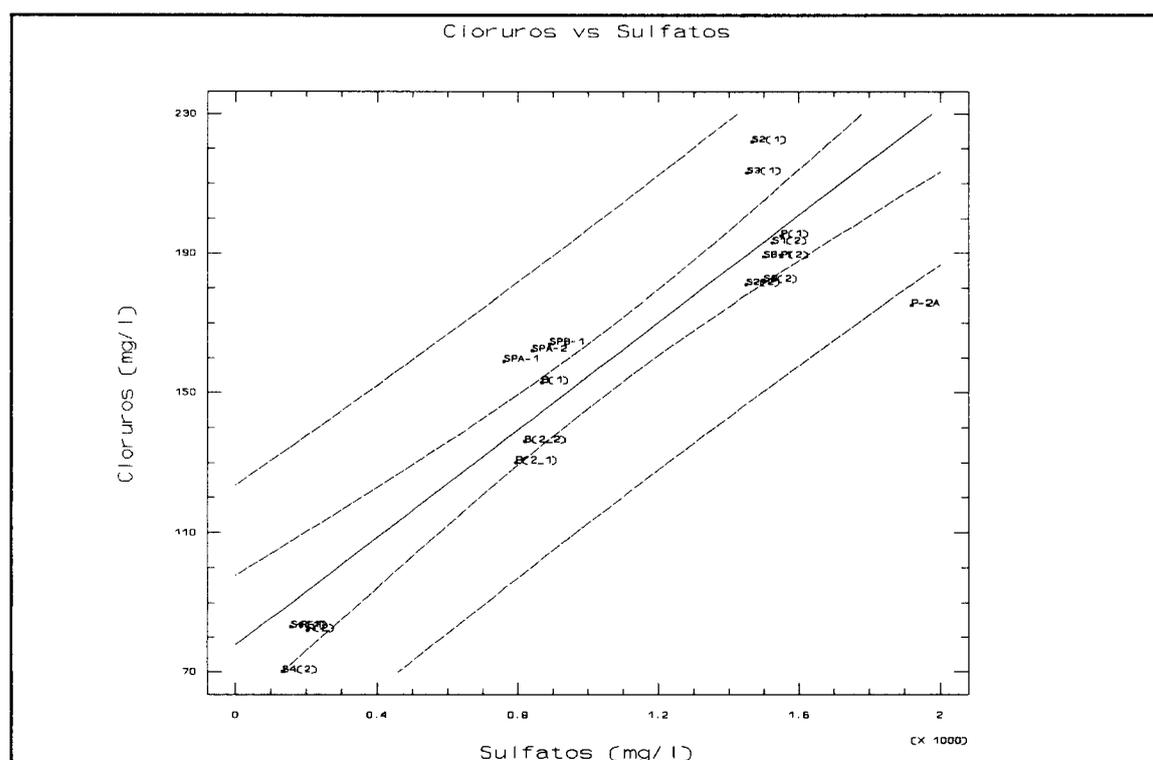


Figura 38. Correlación Cl^- frente SO_4^{2-} .

Sin embargo, la correlación existente entre estos dos parámetros puede justificarse si ambos tuviesen un mismo origen, una misma fuente, en este caso el río. Esto se confirma por el hecho de que los puntos de muestreo siguen la misma ley que el río, es decir la composición del agua en estos puntos depende de las variaciones de composición que sufra éste. Los datos se ordenan en tres nubes que se pueden considerar colocadas en función de la distancia, ya que siguen la secuencia río / S4 / balsa / S3, S2, S1 / pozo. Solamente el pozo P-2A se podría considerar como extremo. Esta posición de P-2A se puede explicar en función de que este pozo en un principio estuviese más explotado que el pozo SB-1, de forma que el terreno circundante se encuentre más lavado, es decir con menor contenido en sales solubles, tal y como corresponde a su posición en la gráfica. Por otra parte, este punto corresponde al muestreo que se realizó en el pozo 2 para averiguar si los dos pozos existentes en el terreno tenían la misma composición resultando que prácticamente era la misma. Pero, como el nivel del agua era mayor en SB-1 que en P-2A, se escogió el primero para seguir con posteriores muestreos que son los que se codifican como P(1) y P(2).

3.2. Cl^- frente Na^+ .

Como es habitual entre estos dos parámetros, (figura 39), existe una buena correlación entre ellos. Existen tres nubes de datos, como anteriormente se ha comentado, a lo largo de la recta, una primera definida por los datos del río y del sondeo situado más cerca de éste, una segunda formada por los muestreos

en la balsa y una tercera que incluye los restantes sondeos. Solamente el pozo denominado P-2A, como anteriormente se ha comentado, se podría considerar como extremo.

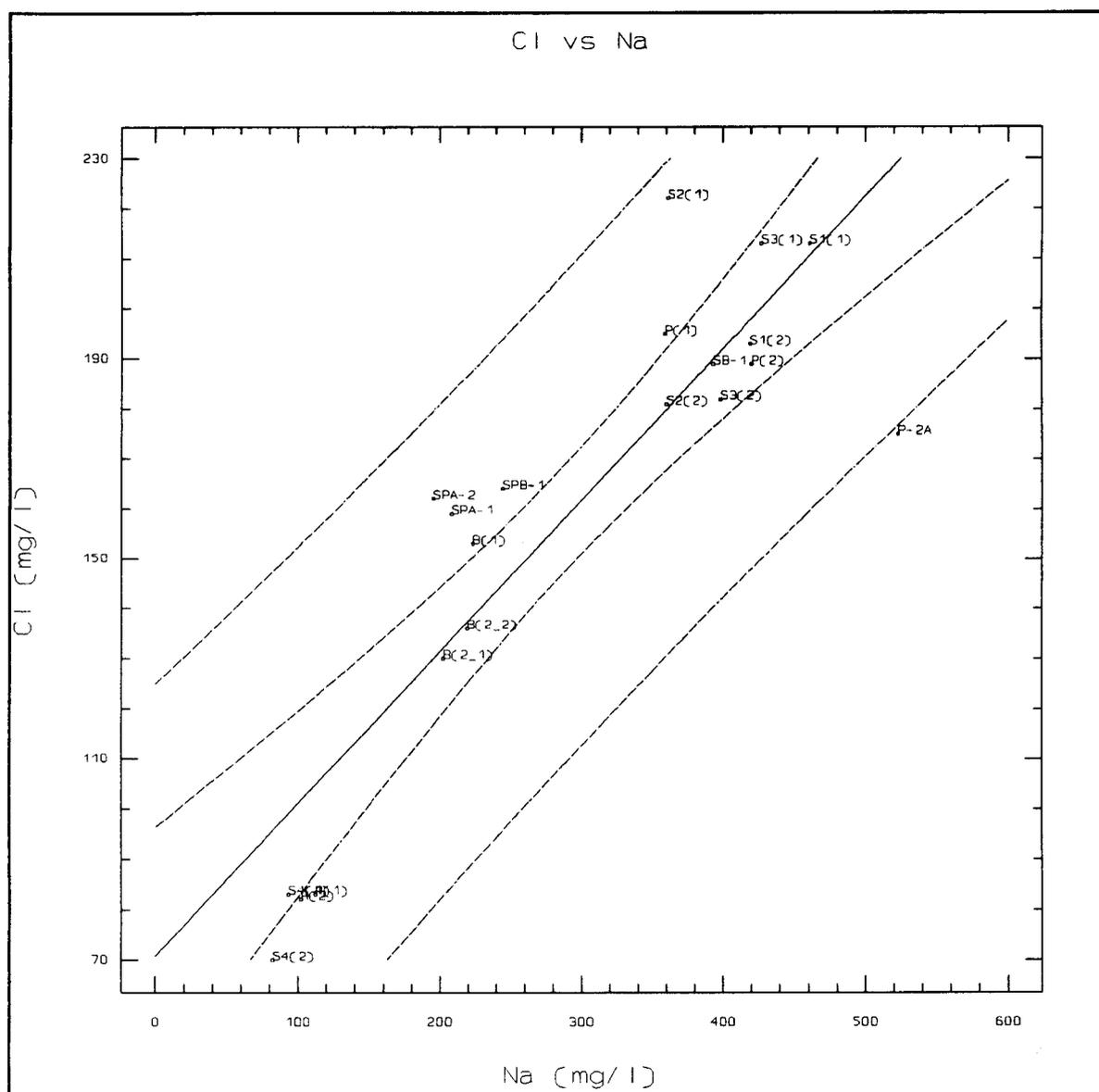


Figura 39. Correlación Cl^- frente Na^+ .

3.3. SO_4^{2-} frente Na^+

Se sigue el mismo patrón, (figura 40), que para las gráficas anteriores, la correlación es la habitual, al estudiar estos dos parámetros. También se sigue la ordenación en función de la distancia.

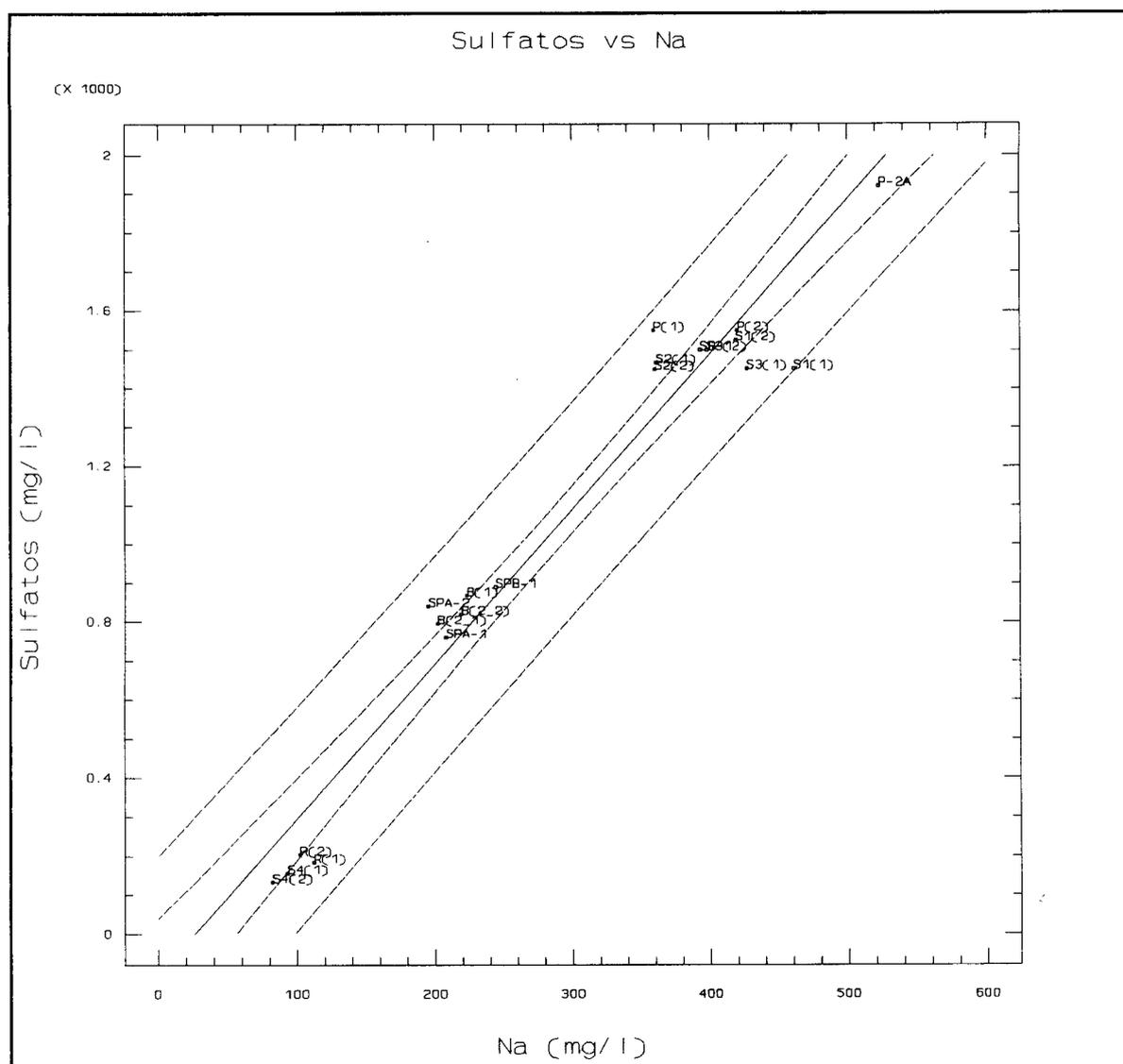


Figura 40. Correlación SO_4^{2-} frente Na^+ .

3.4. SO_4^{2-} frente Mg^{2+} y Ca^{2+} .

Tienen el mismo hábito las relaciones sulfatos frente Mg^{2+} , (figura 41), y Ca^{2+} , (figura 42), que las gráficas anteriores. Los datos siguen la ordenación según la distancia.

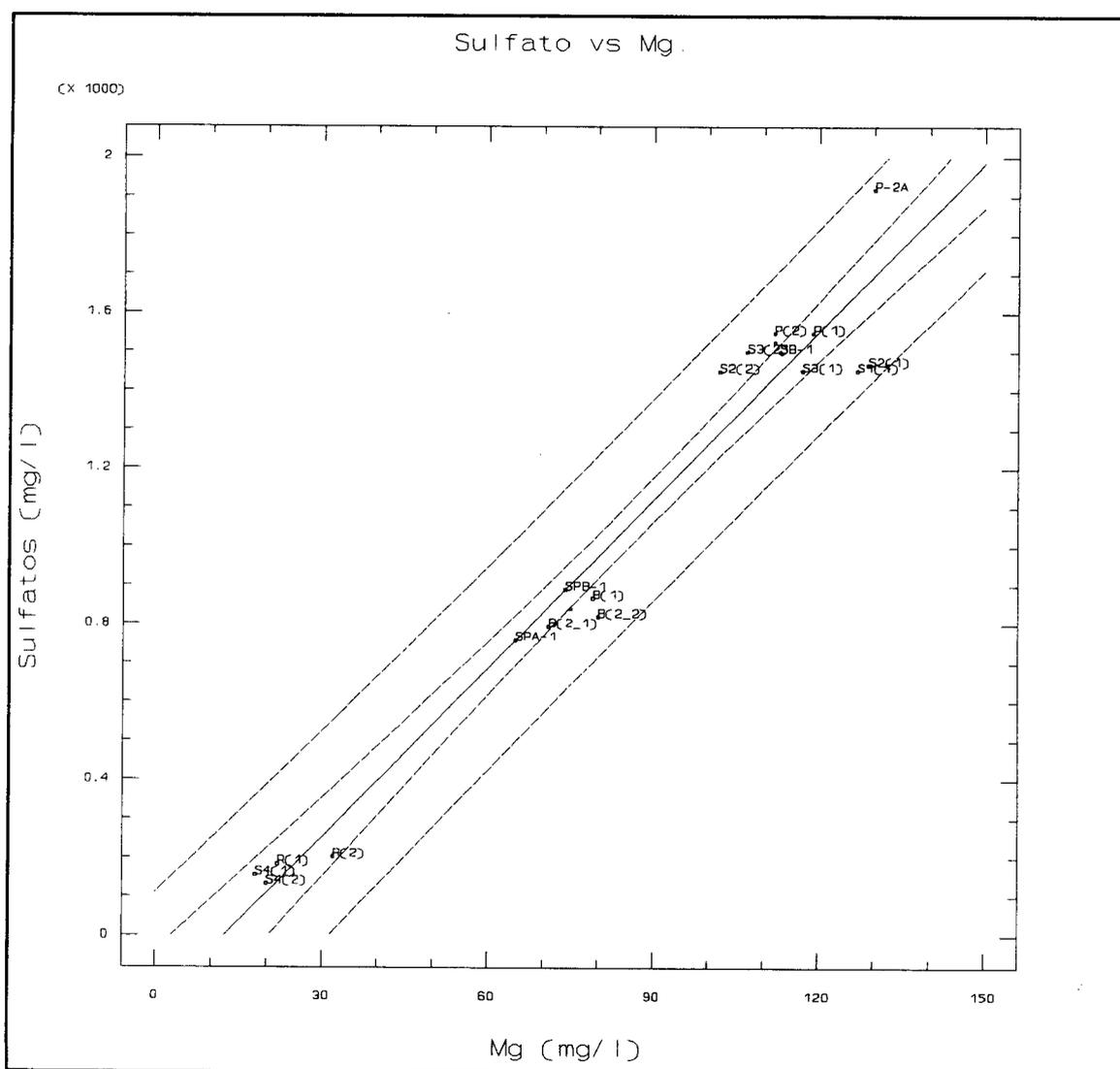


Figura 41. Correlación SO_4^{2-} frente Mg^{2+} .

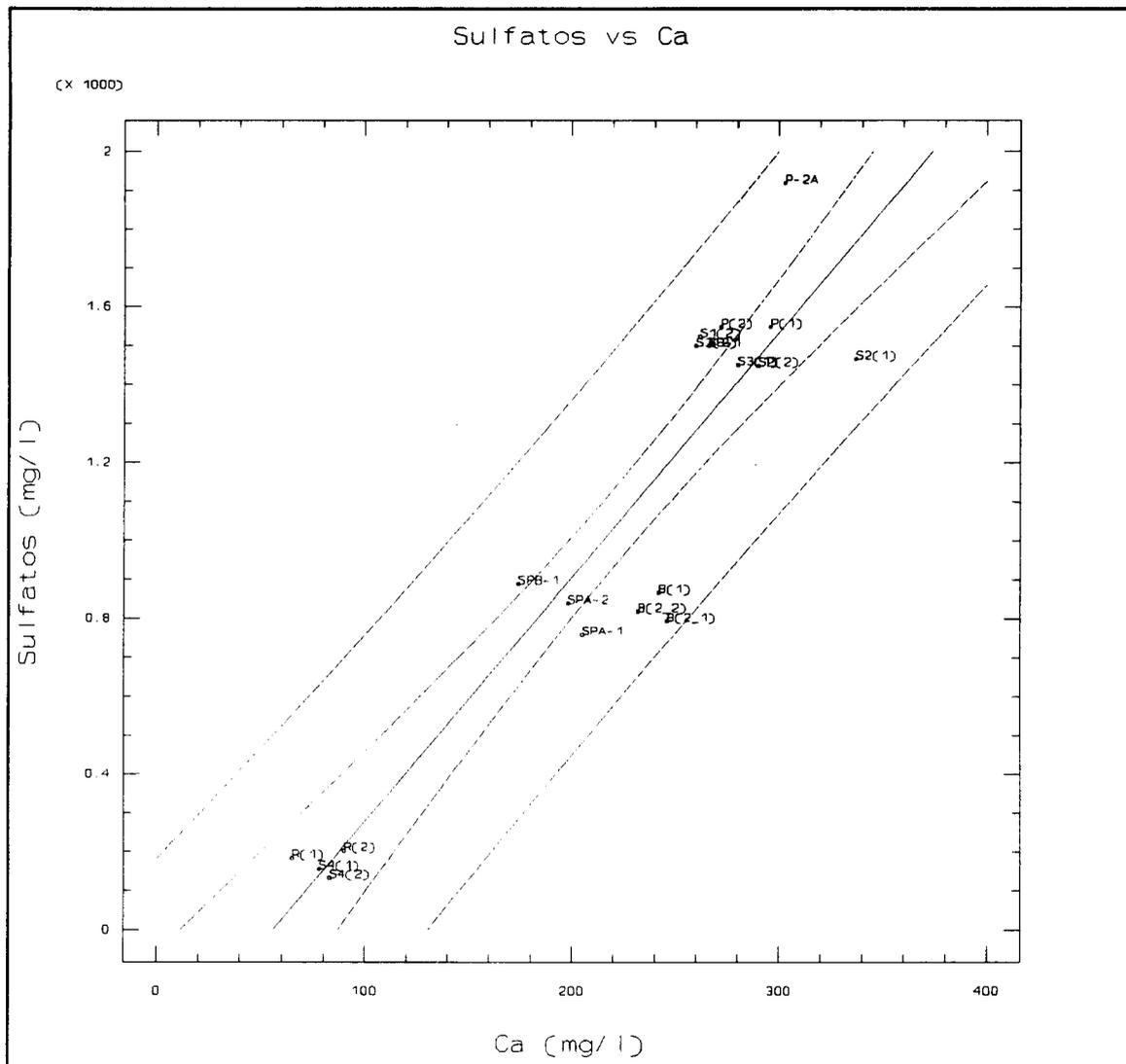


Figura 42. Correlación SO_4^{2-} frente Ca^{2+} .

3.5. Cl^- frente a Mg^{2+} y Ca^{2+}

Existe la correlación habitual entre los parámetros, Cl^- frente Mg^{2+} , (figura 43), y Cl^- frente Ca^{2+} , (figura 44). Se siguen dividiendo los datos en las tres nubes, colocadas en función de la distancia, como se ha comentado anteriormente.

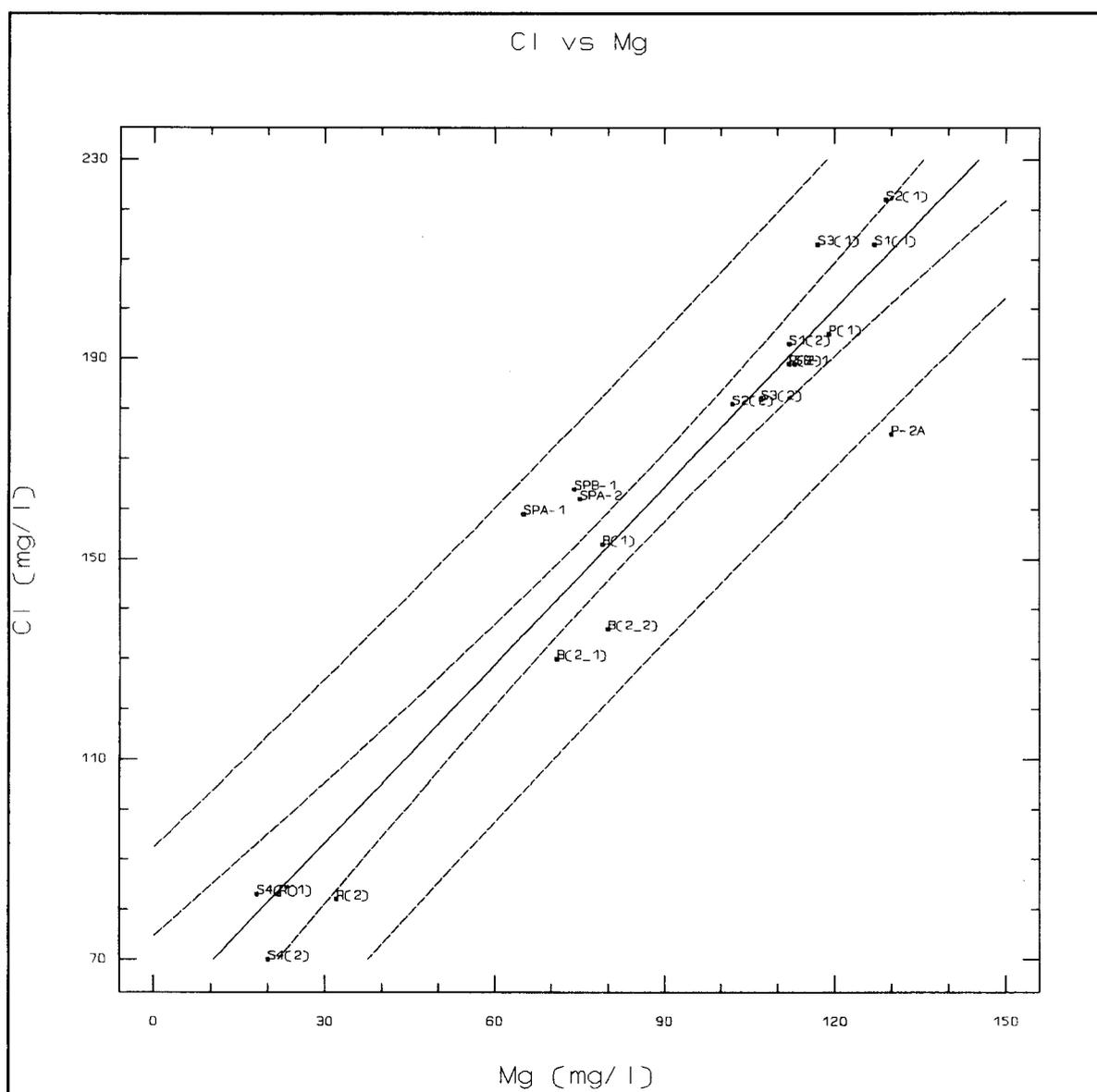


Figura 43. Correlación Cl^- frente Mg^{2+} .

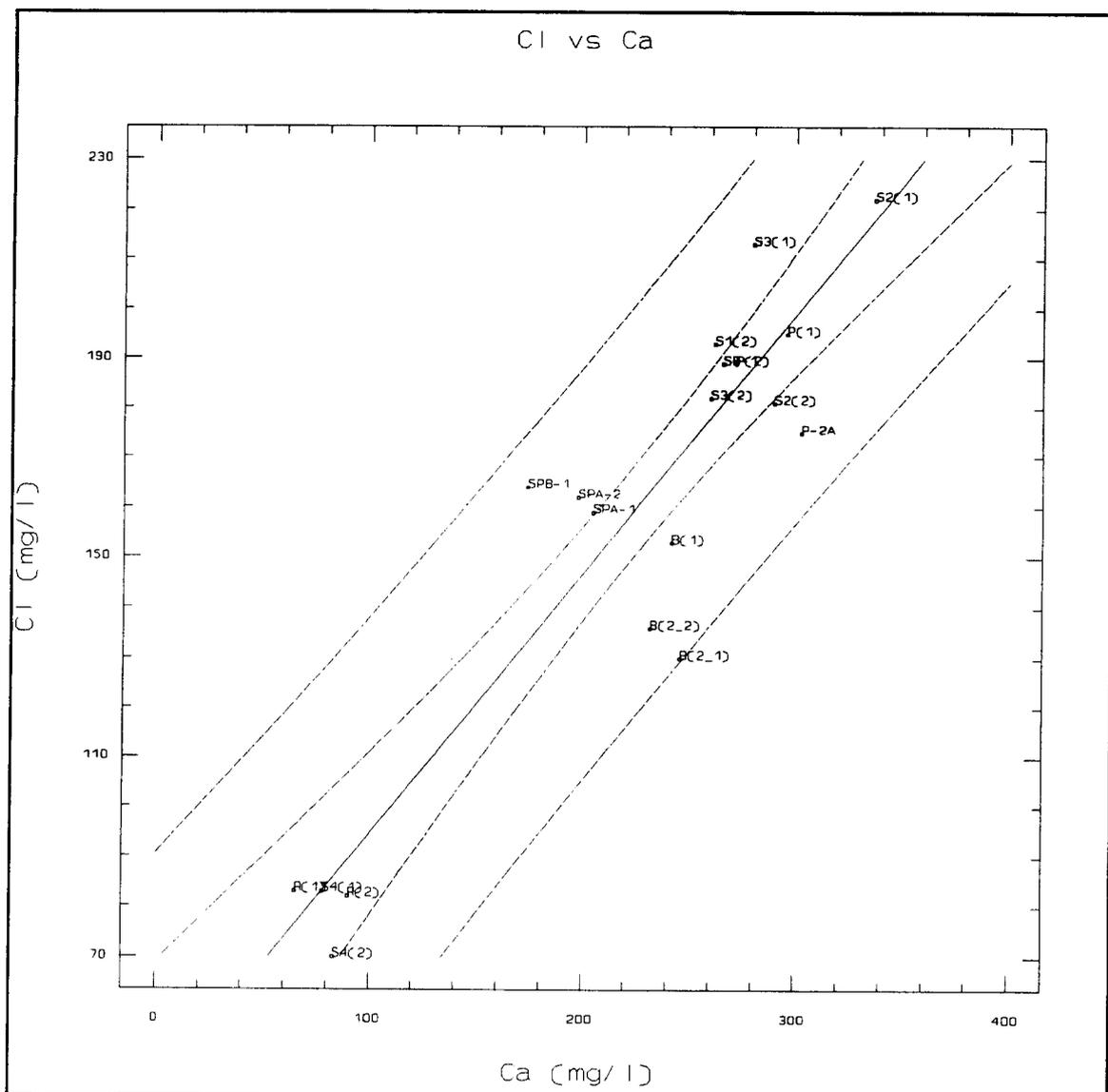


Figura 44. Correlación Cl^- frente Ca^{2+} .

En todos estos casos, relación de un anión con un catión, la causa de la correlación sería diferente a la comentada en el apartado 3.1. En éstos, la causa más importante de la existencia de correlación sería el hecho de que el balance de cargas debe mantenerse. Es decir, si los cationes en disolución aumentan, es necesario que los aniones también suban para mantener la electroneutralidad.

3.6. PO_4^{3-} frente SO_4^{2-} .

Tal y como se observa en la figura 45, existe una relación exponencial, entre estos dos parámetros. En principio tal y como ocurría en 3.1. no tiene sentido químico una relación entre dos aniones, sino que se explicaba ésta debido a las diferencias de flujo, generalmente estacionales, existentes entre el río y la balsa.

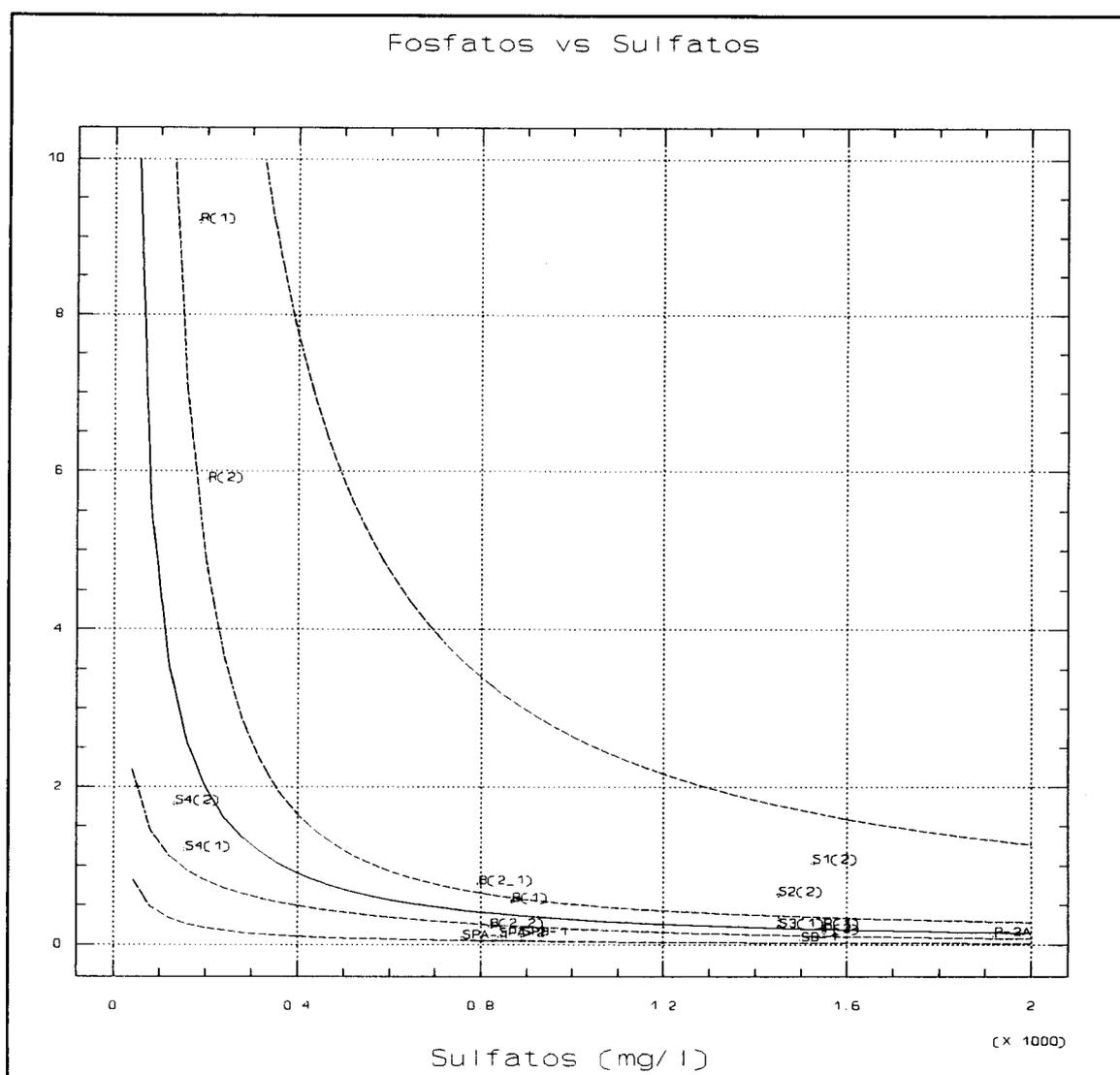


Figura 45. Fosfatos frente sulfatos.

Se puede considerar que la relación entre el PO_4^{3-} y el SO_4^{2-} depende de la distancia a la fuente de los fosfatos, el río, y a la fuente de los sulfatos, el terreno, debido a que los puntos de muestreo están colocados en la secuencia río / S4 / balsa / S3, S2, S1 / pozo aunque no se conserve la relación lineal entre los parámetros.

La dependencia entre los dos parámetros presenta dos extremos: la rama vertical, cerca del río, y la rama horizontal, en el terreno. En los dos extremos predominan lo orgánico cerca de la balsa, o lo inorgánico en el terreno. Existiendo una zona parabólica intermedia donde coexistirían las dos especies. La dependencia que se manifiesta aquí es la típica de la relación entre dos líquidos que se mezclan gradualmente.

3.7. Fósforo total frente SO_4^{2-} .

Lo anteriormente dicho es válido para esta representación, (figura 46). La relación existente es la misma que la anterior, exponencial, aunque con mayor dispersión de los puntos de muestreo hacia valores altos de los SO_4^{2-} . Estos datos también se encuentran ordenados según la secuencia anteriormente definida.

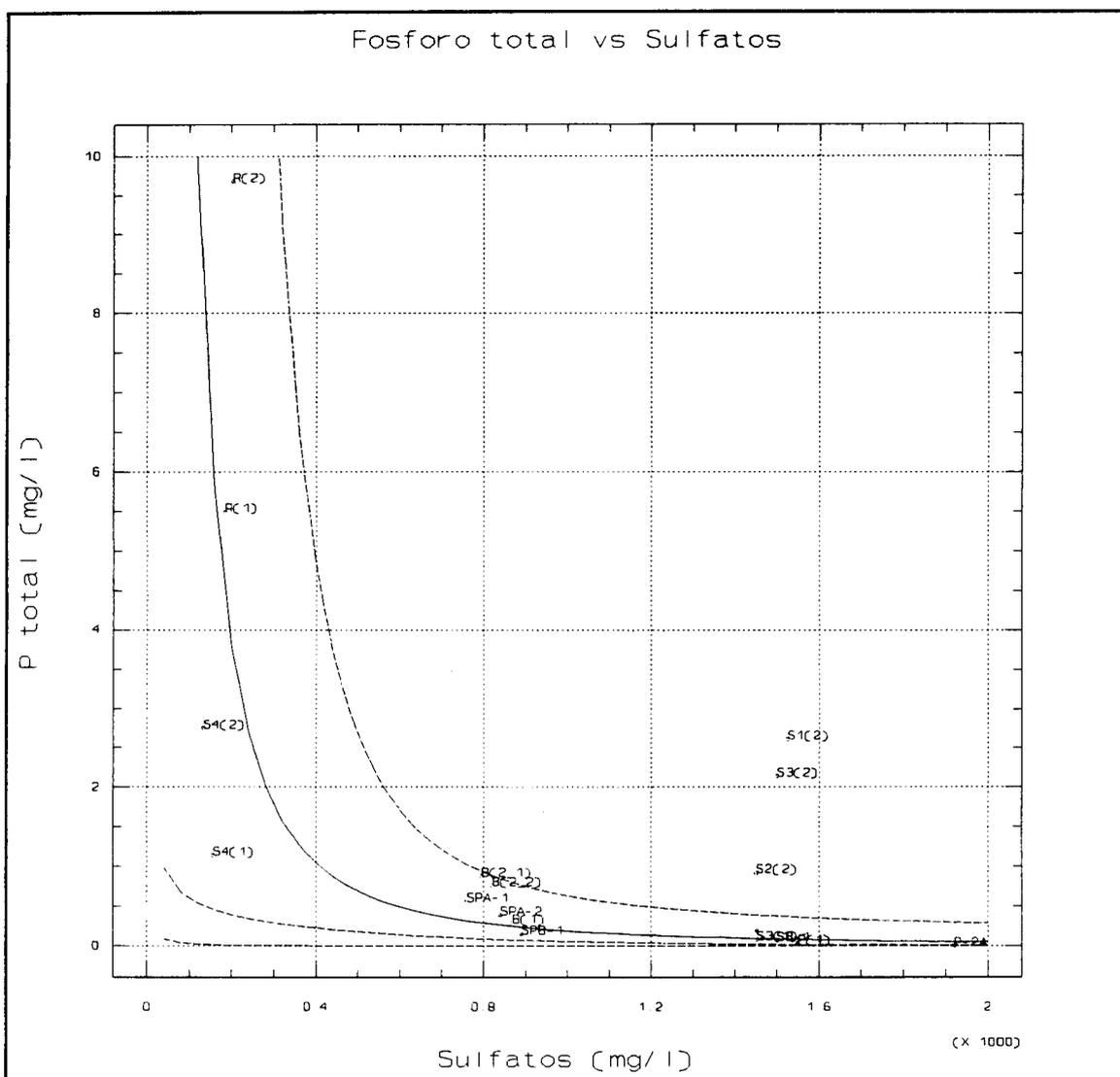


Figura 46. P total frente SO_4^{2-} .

La explicación de la existencia de una relación entre estos dos parámetros es la misma que la anterior: variaciones de flujo estacionales entre el río y la balsa.

La posición de los puntos S1(2), S3(2) y S2(2) se debe atribuir a la existencia de otras formas de fósforo que entran dentro de la composición del fósforo total y que probablemente procedan de los fertilizantes de la tierra de labor.

3.8. PO_4^{3-} frente NO_3^- .

Existe una cierta correlación lineal entre el contenido en PO_4^{3-} y NO_3^- , (figura 47).

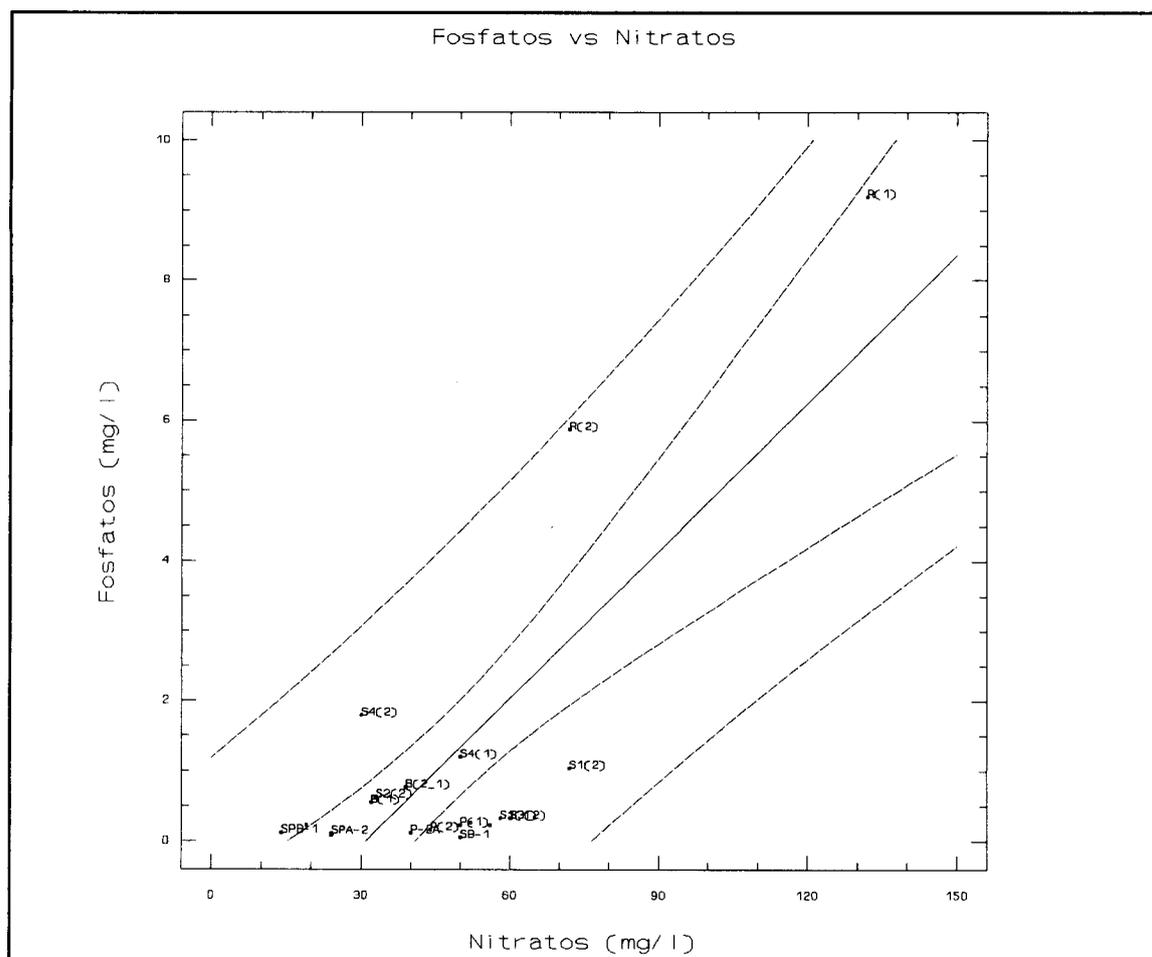


Figura 47. Correlación PO_4^{3-} frente NO_3^- .

Su existencia debe ser atribuida no solamente, como en los casos anteriores, a las diferencias de flujo del río, sino también al uso de fertilizantes fosfatados y nitrogenados. Este caso es el opuesto a PO_4^{3-} frente SO_4^{2-} . En éste las fuentes son opuestas y el resultado de la mezcla se parece a una hipérbola.

En PO_4^{3-} frente NO_3^- las fuentes coinciden y la correlación es lineal y positiva. La correlación no es buena porque dentro de una de las fuentes (el río) los orígenes son diferentes (por ejm. polifosfatos de los detergentes y/o nitrógeno de aguas negras).

3.9. PO_4^{3-} frente Ca^{2+} y Mg^{2+} .

En las figuras 48 y 49, existe una relación exponencial entre la concentración de PO_4^{3-} en disolución y las de Ca^{2+} y Mg^{2+} , exceptuando los puntos de muestreo correspondientes al río en las dos campañas. La causa de este descenso en la relación fosfatos/ $(\text{Ca}^{2+}$ ó $\text{Mg}^{2+})$ debe ser atribuida a la disminución de los fosfatos en disolución a medida que se avanza en el terreno.

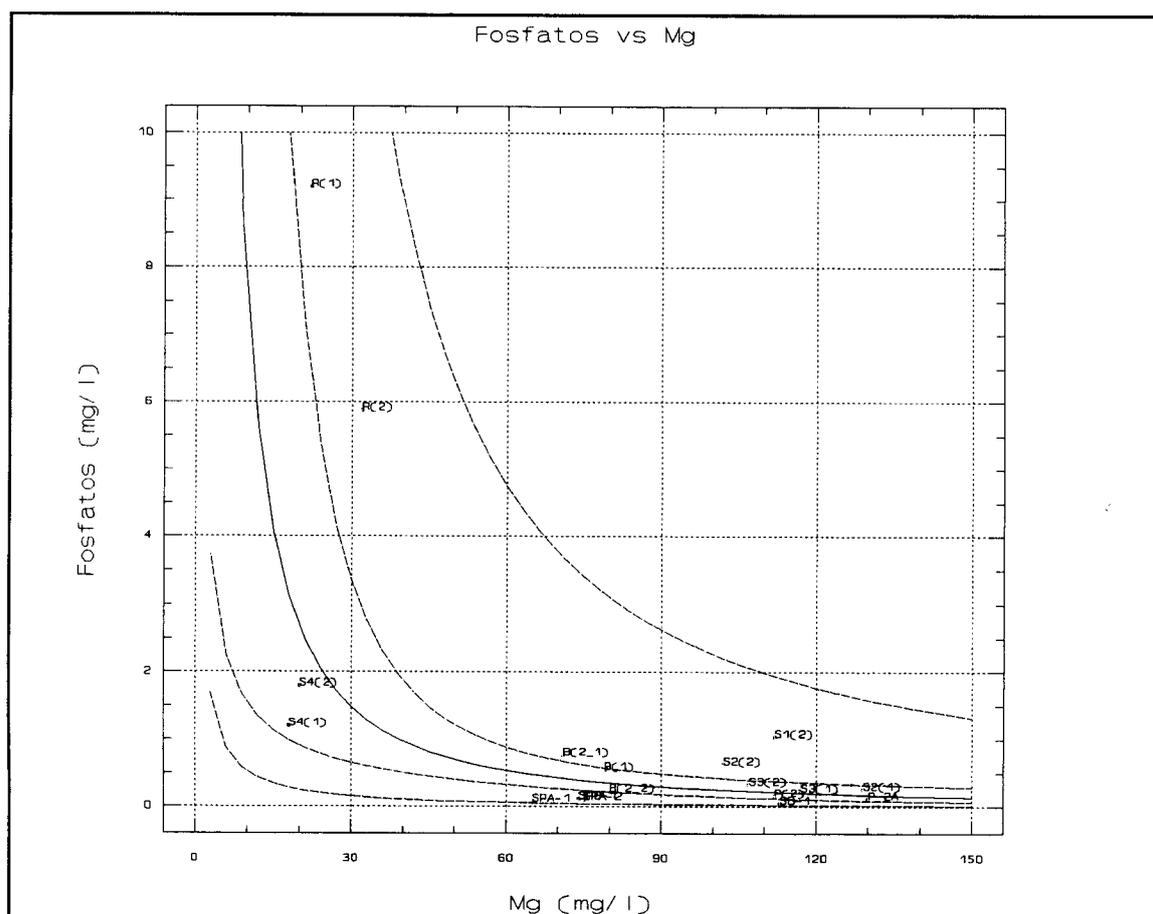


Figura 48. Fوسفاتوس frente Mg^{2+} .

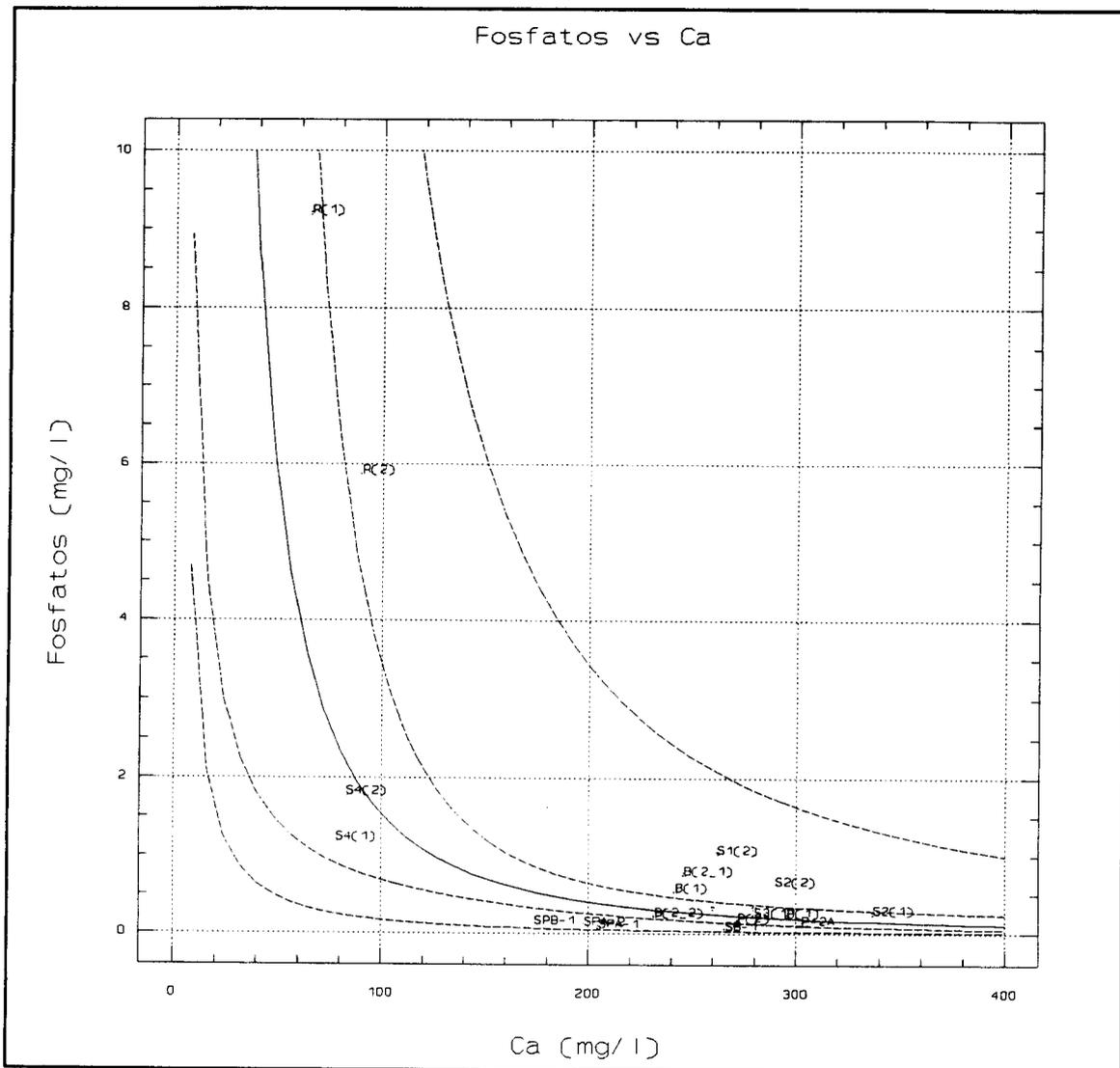


Figura 49. PO_4^{3-} frente Ca^{2+} .

En las gráficas que representan parámetros inorgánicos, se ha podido ver como a medida que aumenta la distancia (sondeos, pozos y balsa) la concentración de estos parámetros aumenta, en contraposición con los parámetros que se han denominado orgánicos.

3.10. NO_3^- frente nitrógeno total.

Como se puede observar, en la figura 50 existe una relación lineal entre los NO_3^- y el nitrógeno total, exceptuando los puntos de muestreo del río correspondientes a las dos campañas realizadas.

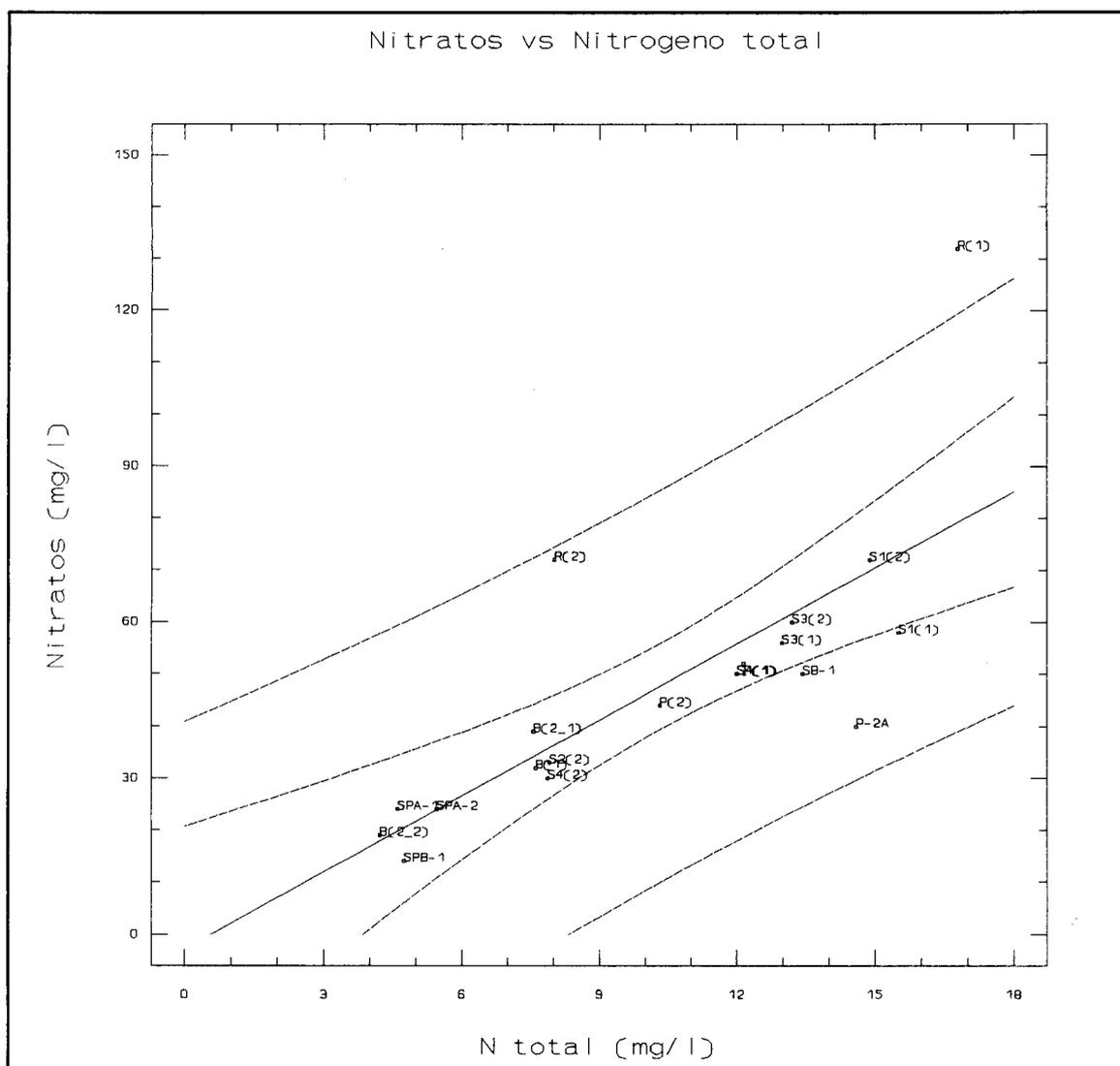


Figura 50. Correlación NO_3^- frente N total.

Según la gráfica a medida que aumenta la concentración de

nitrógeno total aumenta la concentración de los nitratos, pero en el caso del río, puntos R1 y R2, este aumento es mucho mayor comportándose como una población diferente.

3.11. PO_4^{3-} y fósforo total.

Se observa una posible relación lineal entre estos parámetros, (figura 51). Sin embargo, la varianza de los datos aumenta a medida que crece la concentración de fósforo total y además la regresión está supeditada a los altos valores de este elemento que presenta el río.

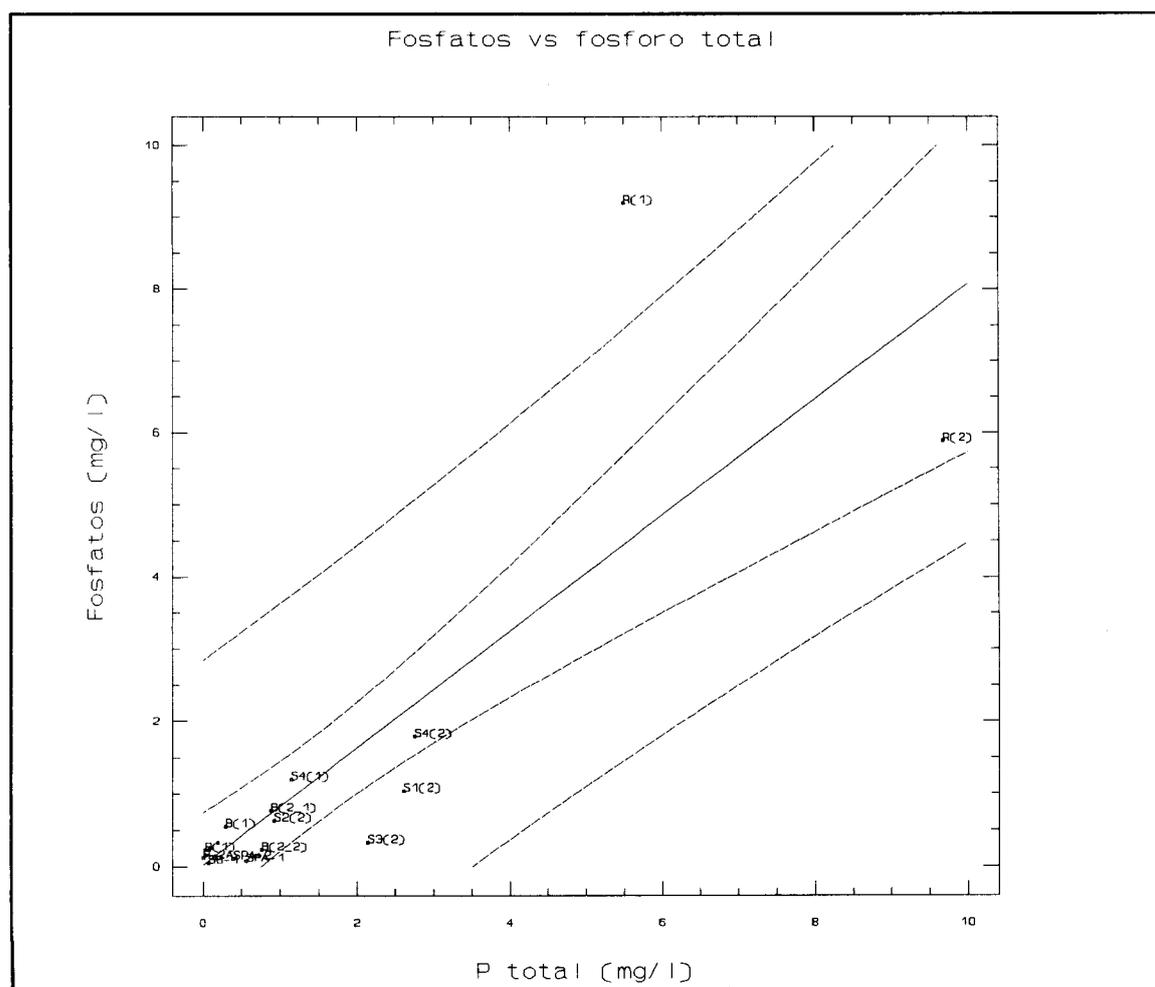


Figura 51. Correlación PO_4^{3-} frente P total.

Hay que resaltar que los datos ya no se ordenan según la distancia, no siguen la misma secuencia que los parámetros inorgánicos, es decir no hay una fuente única de producción de fósforo, total y como fosfato, sino que pueden existir varias a lo largo de los sondeos. En principio estas fuentes de fósforo son el río y las debidas a los fertilizantes.

3.12. DQO y fósforo total.

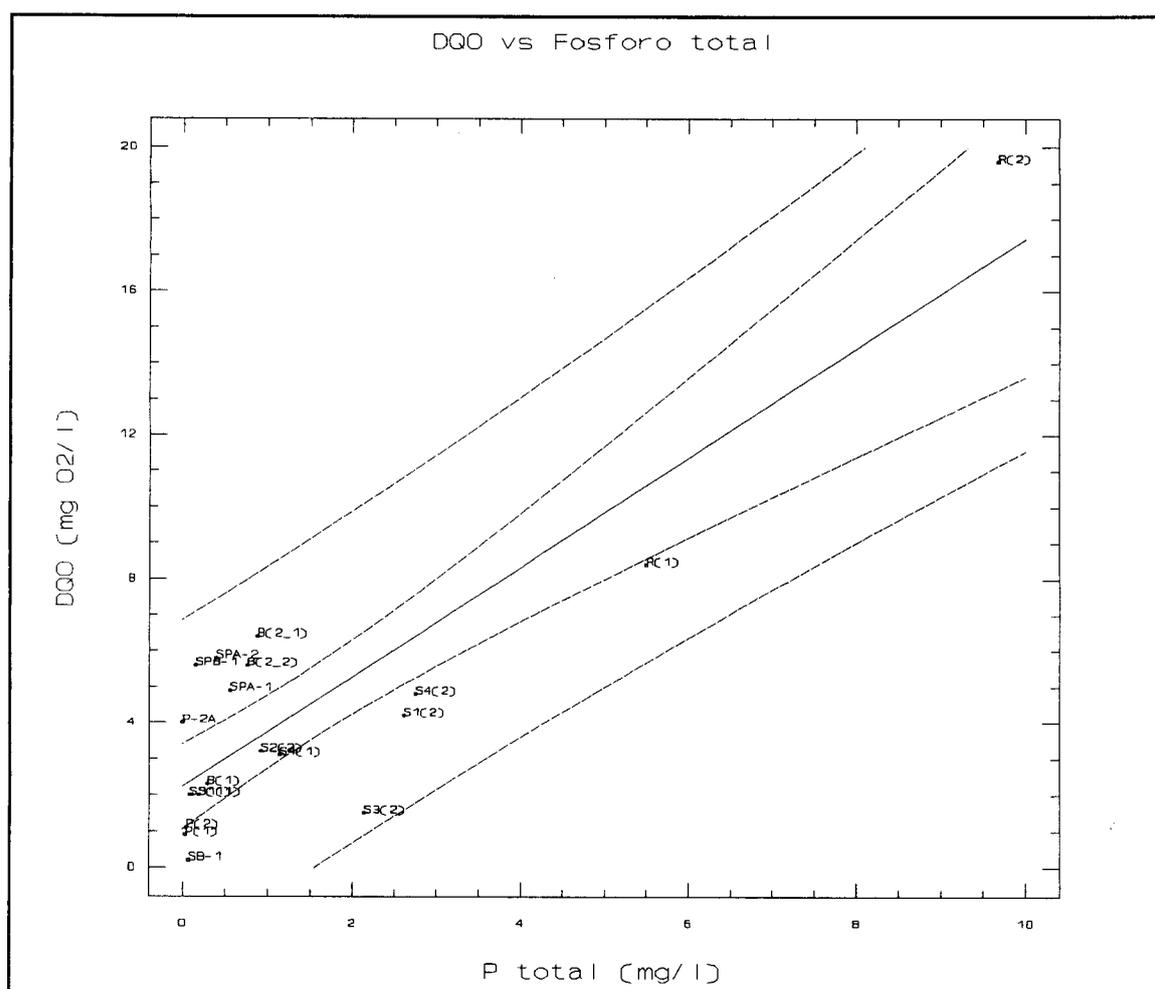


Figura 52. DQO frente P total.

Según la figura 52, existe una relación lineal entre estos dos

parámetros, pero al igual que en la relación anterior, la varianza de los datos aumenta a medida que crece el contenido en fósforo total. Es lógico pensar que exista una relación entre estos dos parámetros, dado que a medida que aumenta la concentración de una sustancia nutritiva, crece el contenido de materia orgánica total. La explicación al aumento de la varianza debe explicarse por un aumento de las formas de fósforo y por la superposición de algún otro mecanismo que controle las formas de P en disolución en el río. Igualmente como en el caso anterior los puntos de muestreo no se ordenan según la distancia.

3.13. PO_4^{3-} y DQO.

En la figura 53, la varianza de los datos al aumentar la concentración de fosfatos es muy alta, incluso más que en el caso de la DQO frente P-total. Este efecto puede ser debido al diferente origen de los PO_4^{3-} en el río. Cuando se representa DQO frente al P-total este efecto se ve disminuido porque el fósforo total es la suma de todas las formas solubles de fósforo en disolución.

Igualmente los datos no se ordenan en función de la distancia.

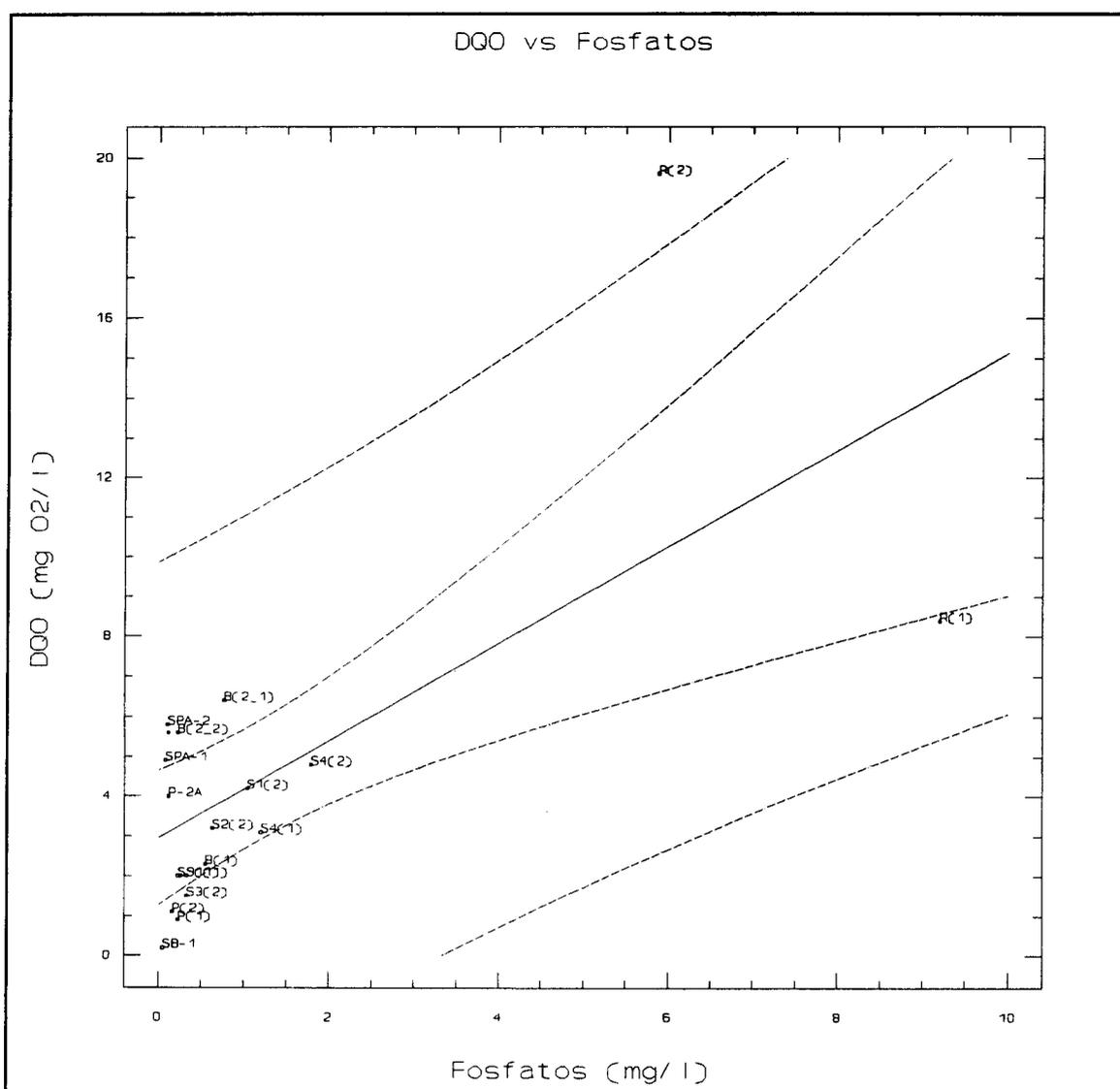


Figura 53. Correlación DQO frente PO_4^{3-} .

4. DESCRIPCIÓN MULTIVARIABLE DE LOS DATOS.

Para facilitar la descripción del conjunto de datos recopilados (río Jarama, balsa, sondeos y pozos) se realiza una descripción en conjunto de la mayoría de las variables medidas y que pueden caracterizar la hidroquímica del terreno y de las diversas fuentes de nutrientes. Para cumplir este objetivo se realizará en primer lugar el PCA (Principal Component

Analysis) de las diversas variables medidas con la consiguiente interpretación de los componentes principales obtenidos. Si la interpretación no se considera lo suficientemente congruente o que se puede mejorar se pasará a realizar un FA (Factorial Analysis).

4.1. Análisis por componentes principales (PCA).

En la figura 54, aparecen las coordenadas de los puntos de muestreo en el espacio definido por las dos primeras componentes principales. Se observa la distribución característica de aquellas propiedades que varían en función de la distancia. A este efecto se le denomina "Efecto Guttman". La proyección de los puntos de muestreo sobre la primera componente principal (PC-1) muestra la ordenación según distancias que se ha ido describiendo: río / S4 / Balsa / S3 ,S2 ,S1 / pozo.

Se han retenido las cuatro primeras componentes principales puesto que describen alrededor del 80 % de la varianza del sistema.

Con la matriz de correlaciones entre las variables y las cuatro primeras componentes principales, se puede interpretar el modelo construido. La PC-1 está relacionada con todos los parámetros inorgánicos y con las formas de fósforo. De esta forma la nueva variable PC-1 describe aquellos puntos de muestreo donde predomina lo orgánico o lo inorgánico. En esta variable también existe participación del ion amonio.

En realidad, las formas de nitrógeno y el nitrógeno total se reparten entre las combinaciones lineales PC-1 y PC-2. La segunda componente principal está definida por el Fe, pH, NO_3^- y nitrógeno total, pero los coeficientes de correlación no son muy altos, de tal forma que posteriormente se realizará un FA para aclarar el papel de los parámetros que en principio definen PC-2.

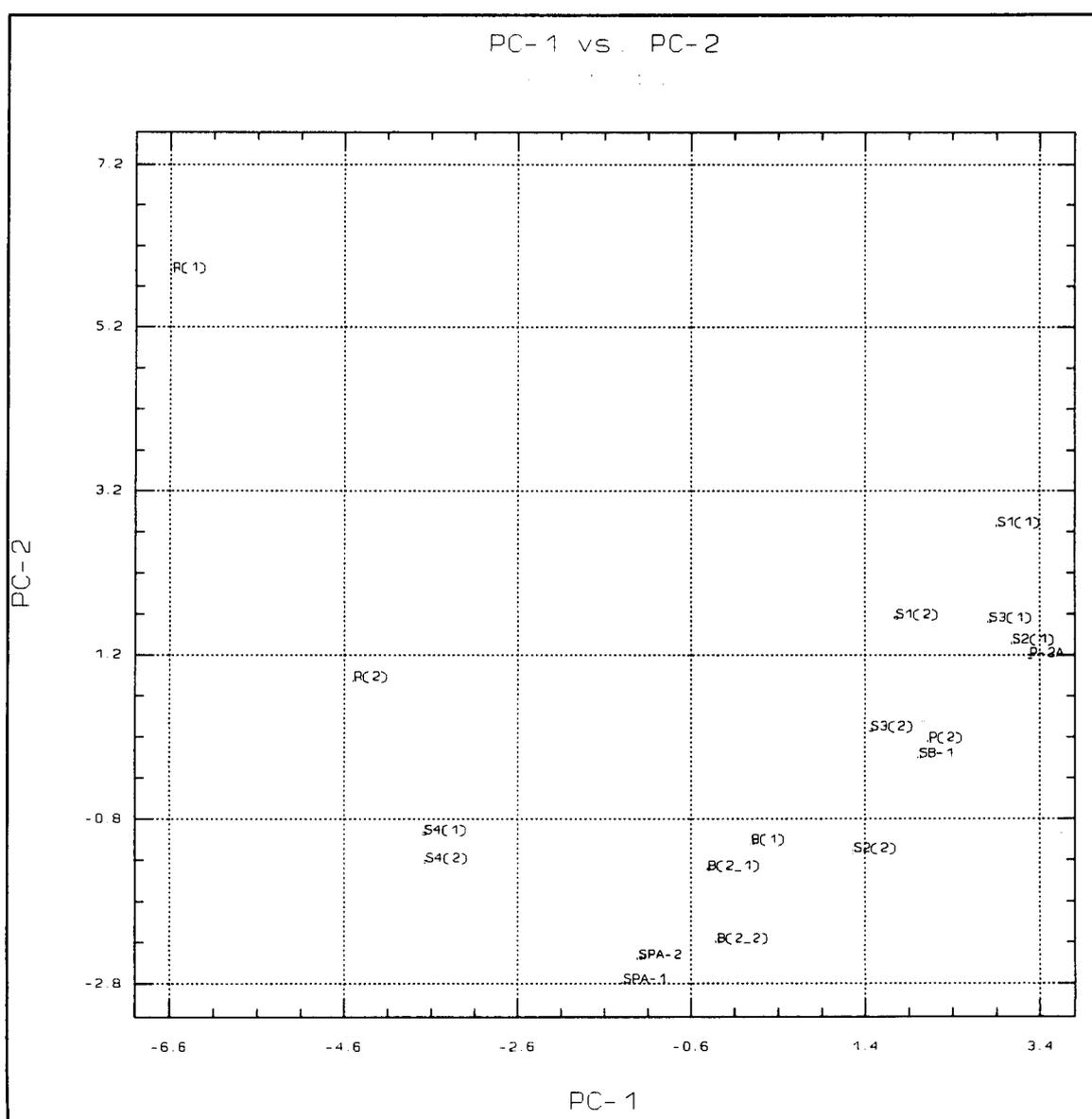


Figura 54. Distribución de los puntos de muestreo.

En la figura 55, aparecen los pesos de las dos primeras combinaciones lineales que dan la interpretación de PC-1 y PC-2, la matriz de correlaciones de las variables con los cuatro primeros componentes principales que son los que se han considerado, se encuentra en el anexo correspondiente. Las variables inorgánicas (Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , Mg_+ , Ca^{2+} , conductividad) están fuertemente asociadas a PC-1, mientras que las variables que pueden generar directamente materia orgánica se reparten entre los dos ejes, siendo el fósforo total y el fosfato las que se encuentran en mayor grado asociadas con PC-1; parcialmente correlacionada con PC-1 se encuentra el Al^{3+} .

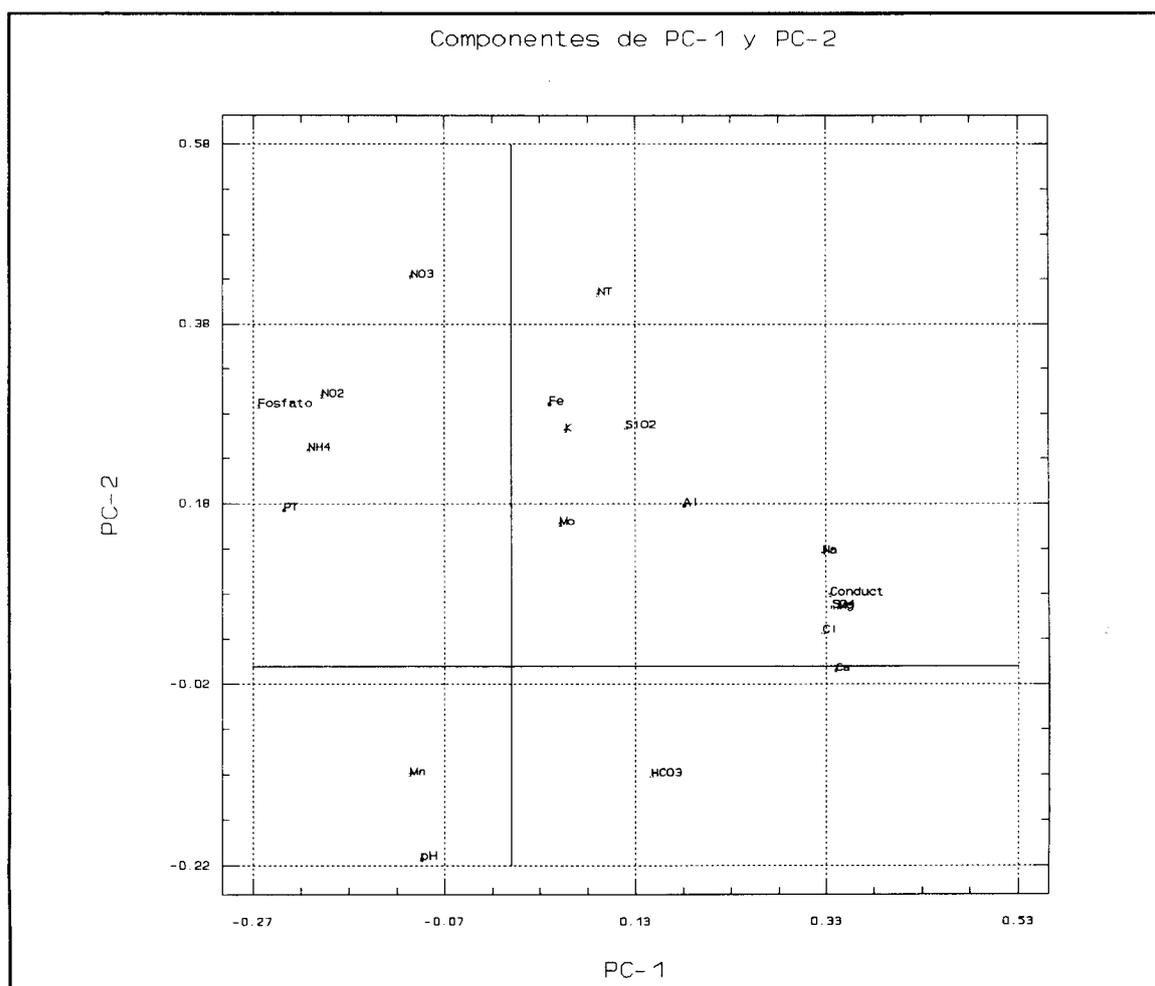


Figura 55. Pesos de las combinaciones lineales PC-1 y PC-2.

La contribución de las variables a PC-2 está compuesta principalmente por las formas de nitrógeno (NO_3^- , NO_2^- y NH_4^+), nitrógeno total, K y Fe. Para PC-3, las variables principales son HCO_3^- , pH y Mn. El papel del pH en el control de los HCO_3^- y el Mn es evidente, actúa sobre las concentraciones en disolución de las dos especies. Las contribuciones a PC-4 son obviamente más difusas, pero cabe destacar al SiO_2 , Fe y de nuevo al NH_4^+ .

Como la interpretación de las sustancias que juegan un papel primordial en el desarrollo de la eutrofización es confusa debido a que su contribución se reparte entre varios ejes, se ha creído conveniente realizar un FA, con rotación varimax, para aclarar la interpretación de los ejes. En la figura 56 aparece la representación de F-1 vs F-2.

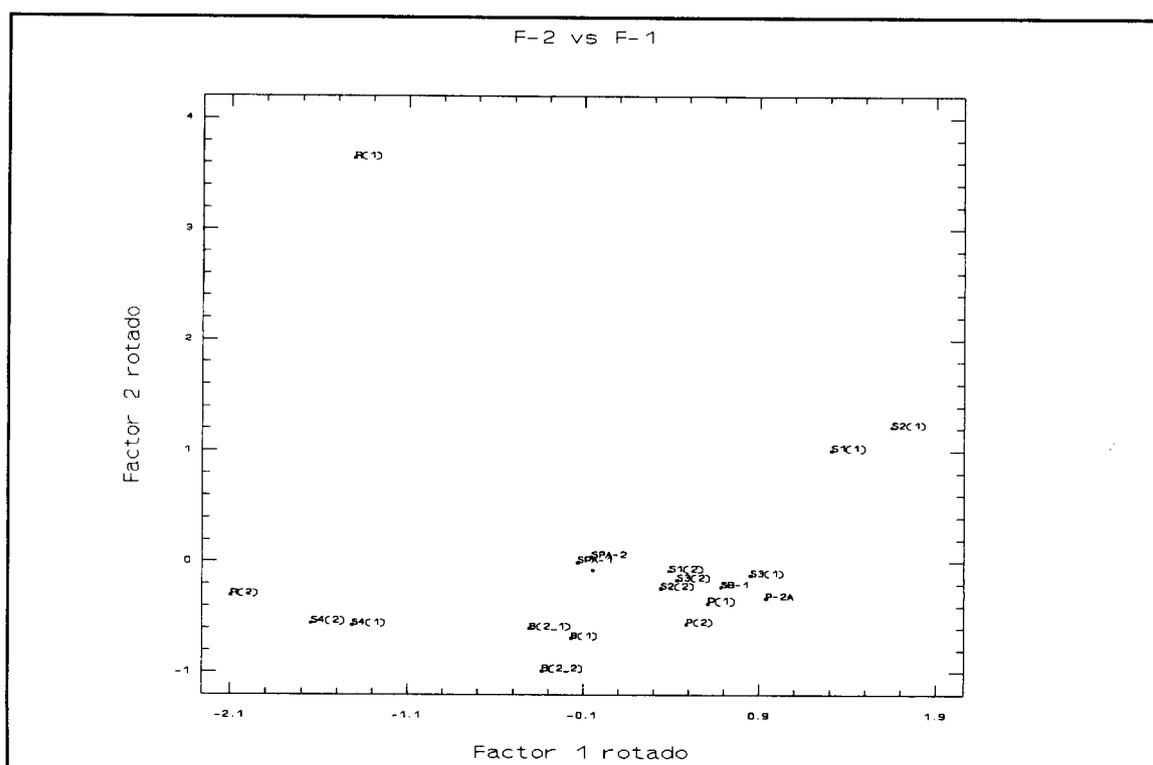


Figura 56. Distribución de los puntos de muestreo tras FA (Varimax).

4.2. Análisis Factorial.

A continuación se demuestra como la realización del análisis factorial ha aclarado el papel que juegan las formas de nitrógeno (nitratos, nitritos y amonio), además de otros elementos. Sin embargo, la contribución del fosfato se sigue repartiendo entre los primeros ejes factoriales. La distribución de los puntos de muestreo ha variado tal y como muestra la figura 56. Pero se sigue conservando cierta tendencia parabólica, excepto el punto R(1) que se comporta individualmente con respecto a todos los demás y que se explica por la elevada cantidad de nitritos encontrados en éste.

A continuación se ofrece parte de las correlaciones de las variables en los modelos PCA y FA a modo de comparación.

Var.	PCA					FA			
	PC-1	PC-2	PC-3	PC-4		F-1	F-2	F-3	F-4
PT	-.6723	.3640	-.3417	.2344		-.7116	.2847	.3475	.2188
NT	.2578	.8697	.1347	.1529		.3159	.5097	.6974	-.1353
PO4	-.7469	.6074	-.1624	-.1624		-.6489	.6670	.2729	.1168
NO3	-.2970	.9118	-.0138	.0222		-.1844	.7567	.5599	.0006
NO2	-.5609	.6308	.0902	-.3699		-.3321	.8634	.0316	-.0181
NH4	-.6009	.5044	.2252	-.4559		-.3369	.8505	-.1436	-.1295
Fe	.1132	.6132	.0643	-.4675		.3214	.7038	.0731	.0849
Mn	-.2977	-.2534	-.6794	-.4042		-.2978	.0255	-.3870	.7340
pH	-.2649	-.4486	.7741	.2000		-.2329	-.2552	-.3322	-.8251

Las correlaciones completas de los factores rotados aparecen en el anexo correspondiente. El papel que juega el fósforo total se ha visto reforzado en el primer factor, sin embargo el fosfato sigue repartiéndose entre los dos factores. Las formas de nitrógeno se han visto reforzadas en el segundo factor, aunque el papel del nitrato haya disminuido. Mientras el nitrógeno total solo cobra importancia en el tercer factor. Respecto a otros elementos, el Fe también se ha visto reforzado en su papel en el segundo factor y el Mn ha pasado al cuarto, pero con una contribución mucho más alta. Respecto al pH, al igual que el Mn, ha pasado al cuarto factor, pero es la variable más relevante en éste.

Según lo anteriormente dicho la interpretación de los ejes factoriales es la siguiente:

- El primer factor clasifica aquellos puntos del muestreo donde predomina lo inorgánico de lo orgánico. Se podría denominar factor inorgánico.

- El segundo factor indica la predominancia de las formas de nitrógeno con especial importancia en ambientes reductores, y el Fe en disolución.

- El tercer factor define el contenido en nitrógeno total, SiO_2 y K (ver correlaciones en el anexo correspondiente).

- El cuarto factor se refiere al pH y lleva asociados aquellos iones que dependen de éste en el intervalo estudiado, más concretamente: Mn y HCO_3^- (ver correlación en anexos).

La distribución completa de los pesos de F-1 y F-2 aparece en la figura 57 y el efecto del pH sobre el Mn y los HCO_3^- aparece en las gráficas 58 y 59 respectivamente.

En las dos gráficas se observa como la concentración de Mn y bicarbonatos en disolución disminuye a medida que disminuye el pH, aunque en la última a valores de pH bajos la tendencia de los datos no es muy clara.

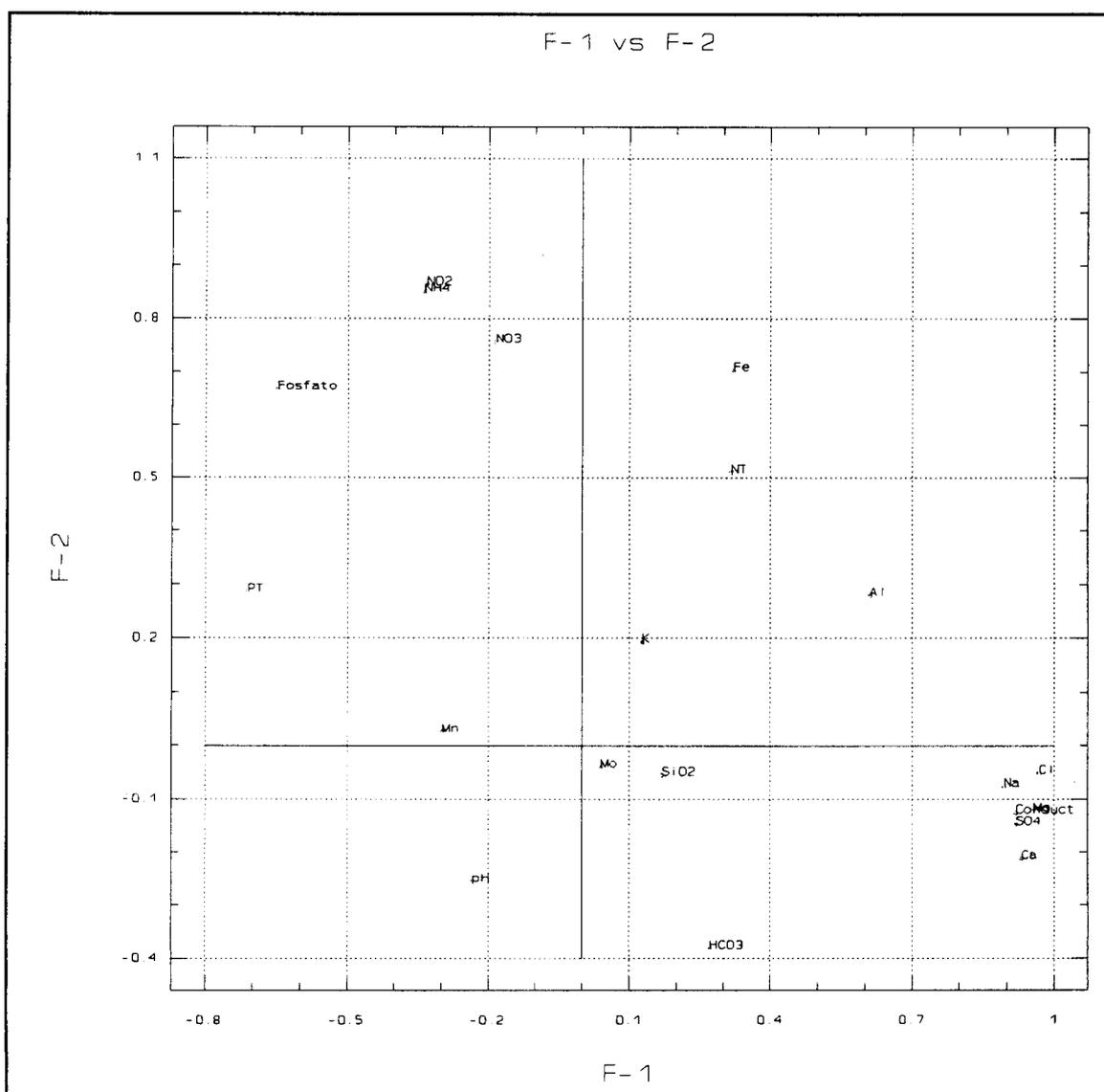


Figura 57. Pesos de: Factor 1 vs Factor 2.

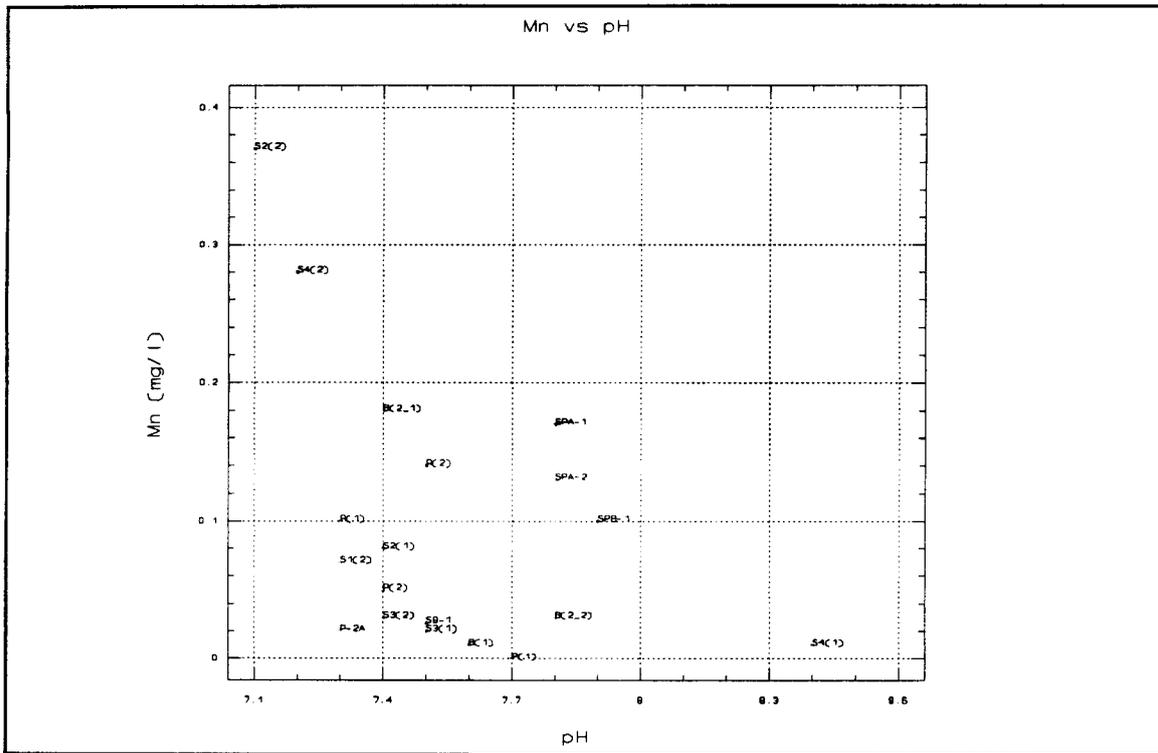


Figura 58. Mn frente pH.

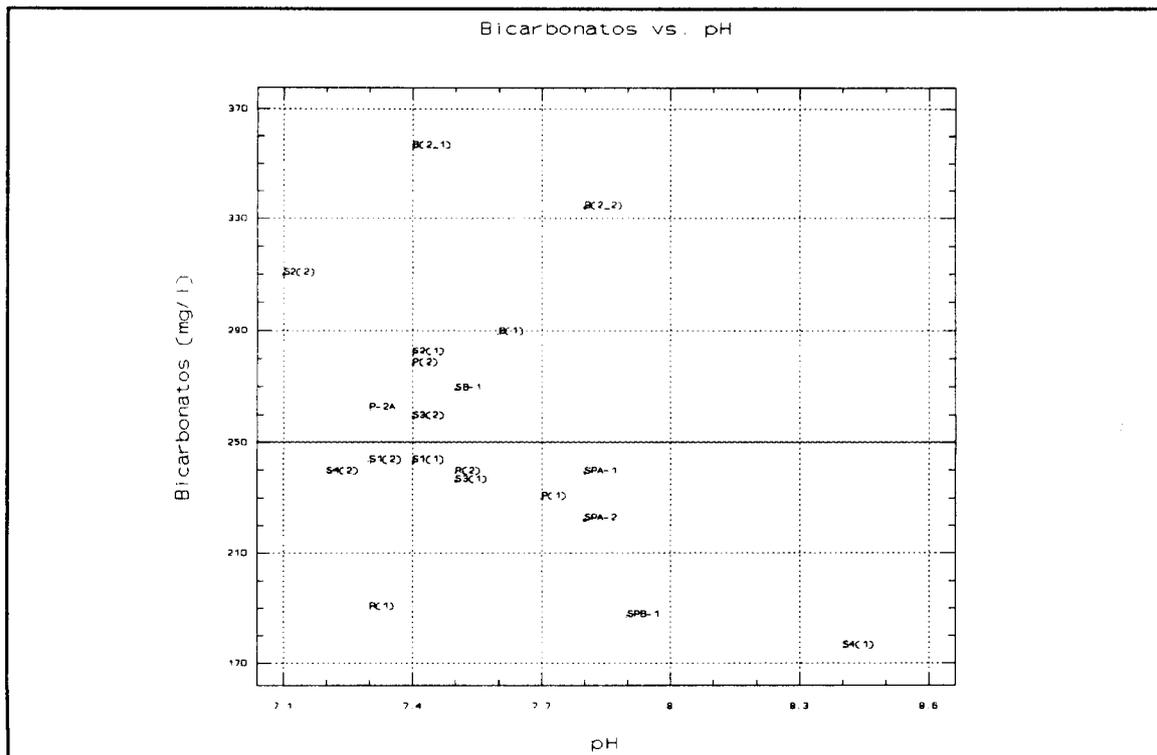


Figura 59. HCO₃⁻ frente pH.

5. CONSTRUCCION DEL MODELO DE EUTROFIZACION.

Para la construcción del modelo se relacionarán las diferentes variables que se han medido con la concentración de clorofila-a en las aguas, parámetro generalmente reconocido como índice del desarrollo vegetal. La técnica de correlación empleada fue la Correlación Canónica (CC) [143], la cual construye combinaciones lineales de dos conjuntos de variables, independientes y dependientes, maximizando la correlación entre ellas. Nuestro objetivo es construir el mejor conjunto de variables predictoras empleando el menor número de éstas, para ello se probarán varios conjuntos de variables hasta encontrar el que cumpla la condición anteriormente citada.

5.1. Proceso de construcción.

A continuación aparecen los modelos probados con sus resultados correspondientes.

1. Fosfatos y nitratos.

N.	Eigenvalue	Can.	Corr.	Wilks	Chi-Square	D.F.	Sign.	Level
1	.8304	.9113	.1696	5.3231	2	.0698		

Coeficientes para las variables canónicas del primer conjunto.

Fosfatos	-1.70338
Nitratos	0.93771

Coeficiente para la variable canónica del segundo conjunto.

Clorofila 1.00000

Como solo existe una variable predictiva el coeficiente del segundo conjunto siempre será 1.0, por esta causa en los siguientes modelos no se incluye este dato.

2. Fósforo total y nitrógeno total.

N.	Eigenvalue	Can.Corr.	Wilks	Chi-Square	D.F.	Sign.	Level
1	.4551	.6746	.5449	1.8217	2	.4022	

Coeficientes para las variables canónicas del primer conjunto.

Ptotal -0.67739

Ntotal -0.66968

3. Nitratos, fosfatos y amonio.

N	Eigenvalue	Can.Corr.	Wilks	Chi-Square	D.F.	Sign.	Level
1	.8914	.9441	.1086	5.5494	3	.1357	

Coeficientes para las variables canónicas del primer conjunto.

Nitrato 0.62116

Fosfato -1.02371

NH4 0.47668

4. Nitratos, fosfatos, amonio y nitritos.

N. Eigenvalue	Can.Corr.	Wilks	Chi-Square	D.F.	Sign.Level	
1	.9763	.9881	2.366E-02	7.4883	4	.1122

Coeficientes para las variables canónicas del primer conjunto.

Nitrato	1.15314
Fosfato	-1.75286
NH4	2.06163
NO2	-1.95143

5. Nitratos, fosfatos y nitritos.

N. Eigenvalue	Can.Corr.	Wilks	Chi-Square	D.F.	Sign.Level	
1	.8504	.9222	.1496	4.7503	3	.1910

Coeficientes para las variables canónicas del primer conjunto.

Nitrato	0.67610
Fosfato	-1.20986
NO2	0.32238

6. Nitratos, fosfatos, amonio y relación Mn/Fe.

N. Eigenvalue	Can.Corr.	Wilks	Chi-Square	D.F.	Sign.Level	
1	.9996	.9998	4.253E-004	15.526	4	.0037

Coeficientes para las variables canónicas del primer conjunto.

Nitrato	-0.50088
Fosfato	0.30101
NH ₄	1.45522
Mn/Fe	-0.82897

7. Nitrato, fosfatos y relación Mn/Fe.

N.	Eigenvalue	Canonical	Wilks	Chi-Square	D.F.	Sign.Level
1	.8323	.9123	1677	4.4639	3	.2155

Coeficientes para las variables canónicas del primer conjunto.

Nitrato	0.97291
Fosfato	-1.69845
Mn/Fe	0.06150

8. Fosfatos y amonio.

N.	Eigenvalue	Corr.Can.	Wilks	Chi-Square	D.F.	Sign.Level
1	.8266	.9092	.1734	5.2557	2	.0722

Coeficientes para las variables canónicas del primer conjunto.

Fosfato	-0.31322
NH ₄	0.73559

Como se puede observar el modelo con el que se obtienen mejores resultados es aquel en el que intervienen los **fosfatos, nitratos, amonio y la relación Mn/Fe.**

Sin embargo conviene añadir que todos los modelos son buenos siempre y cuando no aparezcan la concentración de P total o N total en disolución. En la figura 60, aparece la relación lineal conseguida.

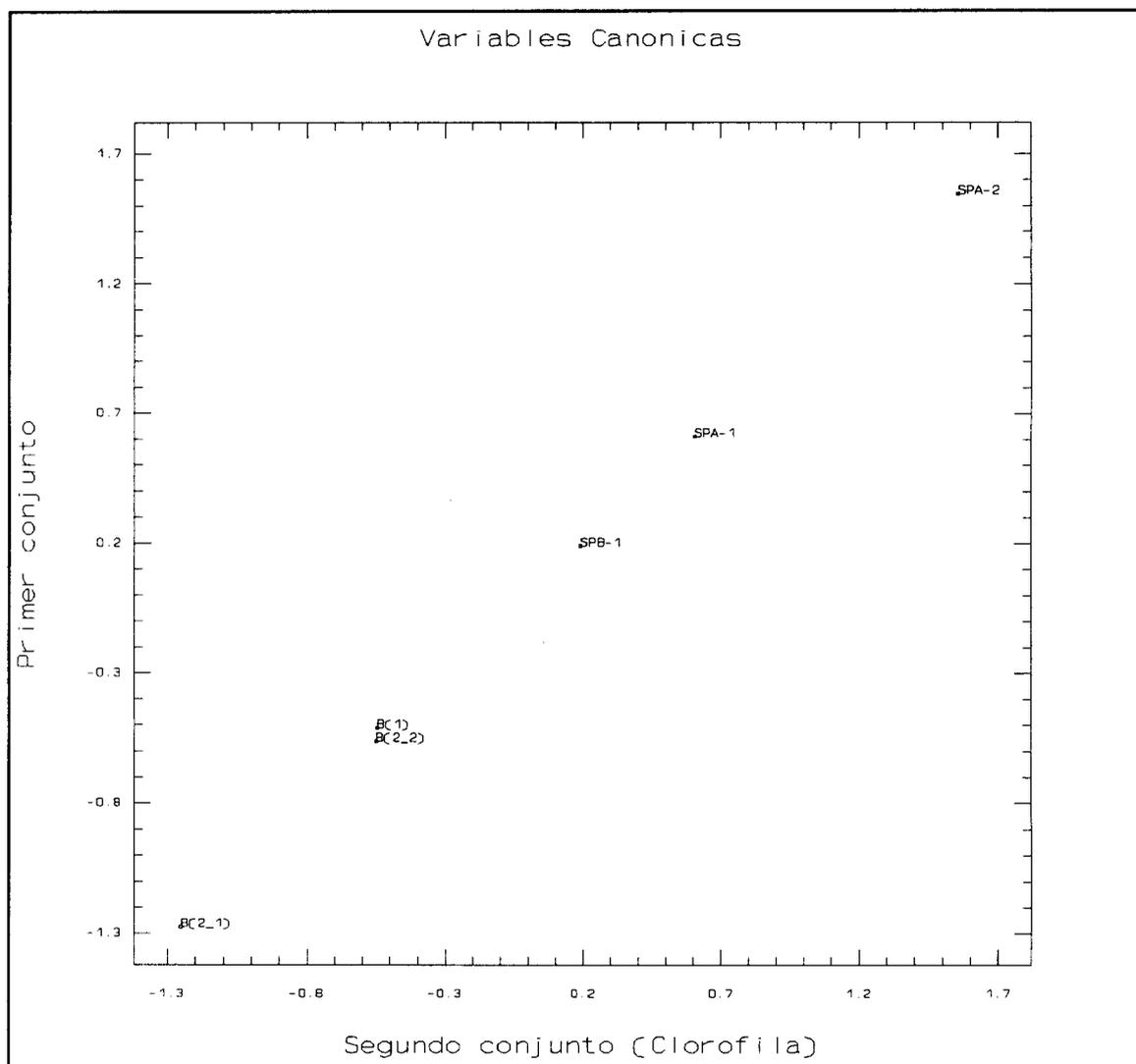


Figura 60. Relación lineal entre las variables canónicas del modelo 6 (Modelo de Eutrofización conseguido.)

5.2. Descripción del modelo.

En el modelo escogido entran los fosfatos, nitratos, amonio y la relación Mn/Fe. En este apartado se describirán los efectos que tiene cada variable sobre la concentración de clorofila-a.

5.2.1. Fosfatos y nitratos.

Lo primero que llama la atención en el modelo es el signo de los pesos de estas variables: negativo para los nitratos y positivo para los fosfatos. Que el signo de los nitratos sea negativo, a primera vista podría significar que la predominancia de esta forma frena el desarrollo de la materia vegetal, lo cual está en total desacuerdo con su papel biológico. Lo que se quiere indicar es que a bajas concentraciones de clorofila-a, este parámetro tiene mayor predominancia que cuando la concentración es alta. Cuando esto es así, las formas predominantes son el fosfato y el amonio que solo puede existir en condiciones reductoras (falta de oxígeno) y esto solo puede ocurrir cuando el grado de eutrofización está en un estado avanzado.

5.2.2. Amonio.

El amonio como anteriormente se ha comentado, juega un papel importante en el desarrollo de la materia orgánica cuando se encuentra en un estado eutrófico avanzado que permita la existencia en disolución del ion, o de otra forma, a medida que aumente la concentración de clorofila-a se encontrará mayor

concentración en disolución de amonio, tal y como se muestra en la figura 61. La construcción de un modelo en el que entren solamente los fosfatos y el amonio da lugar a un hábito de la curva muy parecido a la de la representación del amonio en función de la clorofila, (figura 62).

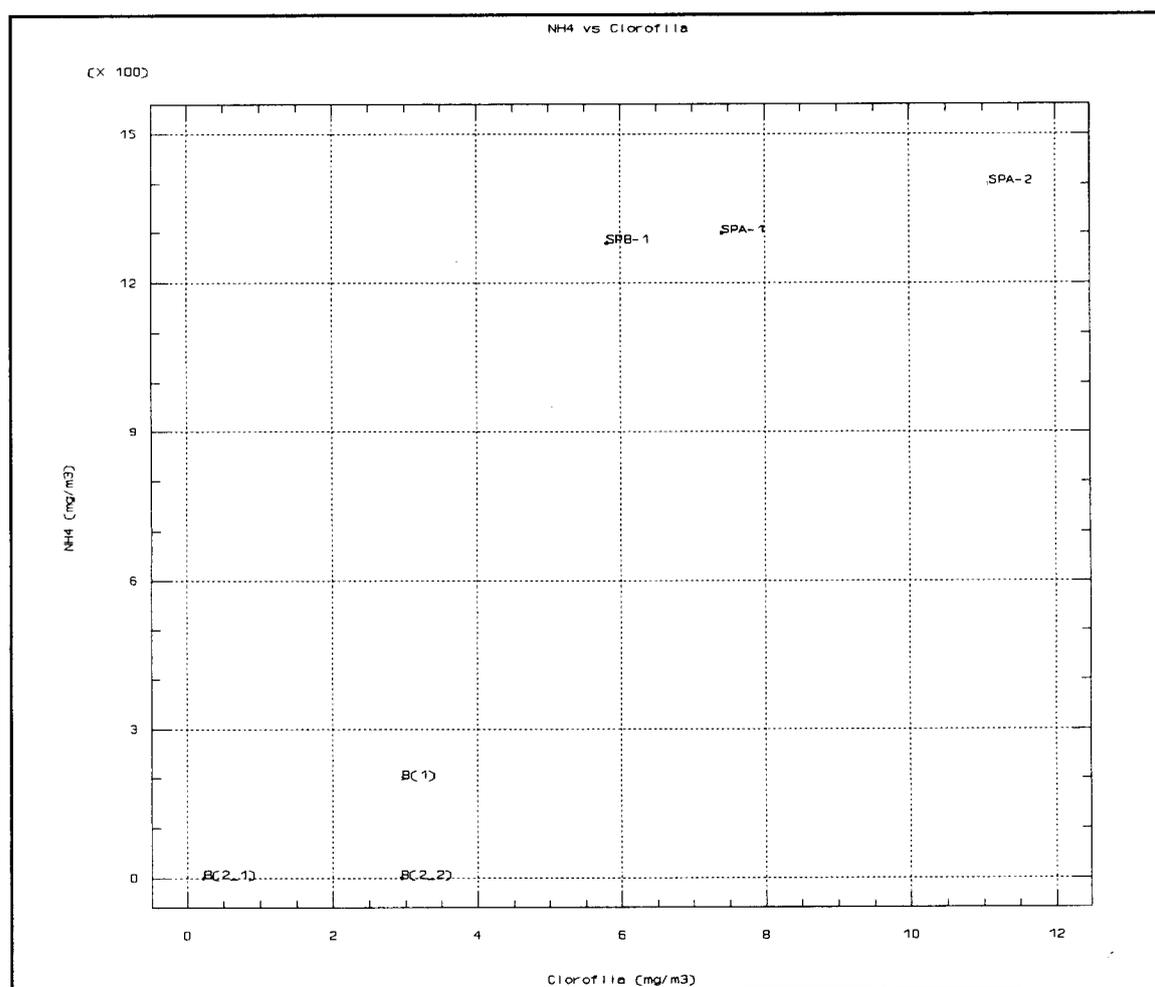


Figura 61. NH_4^+ en función de la concentración en clorofila-a.

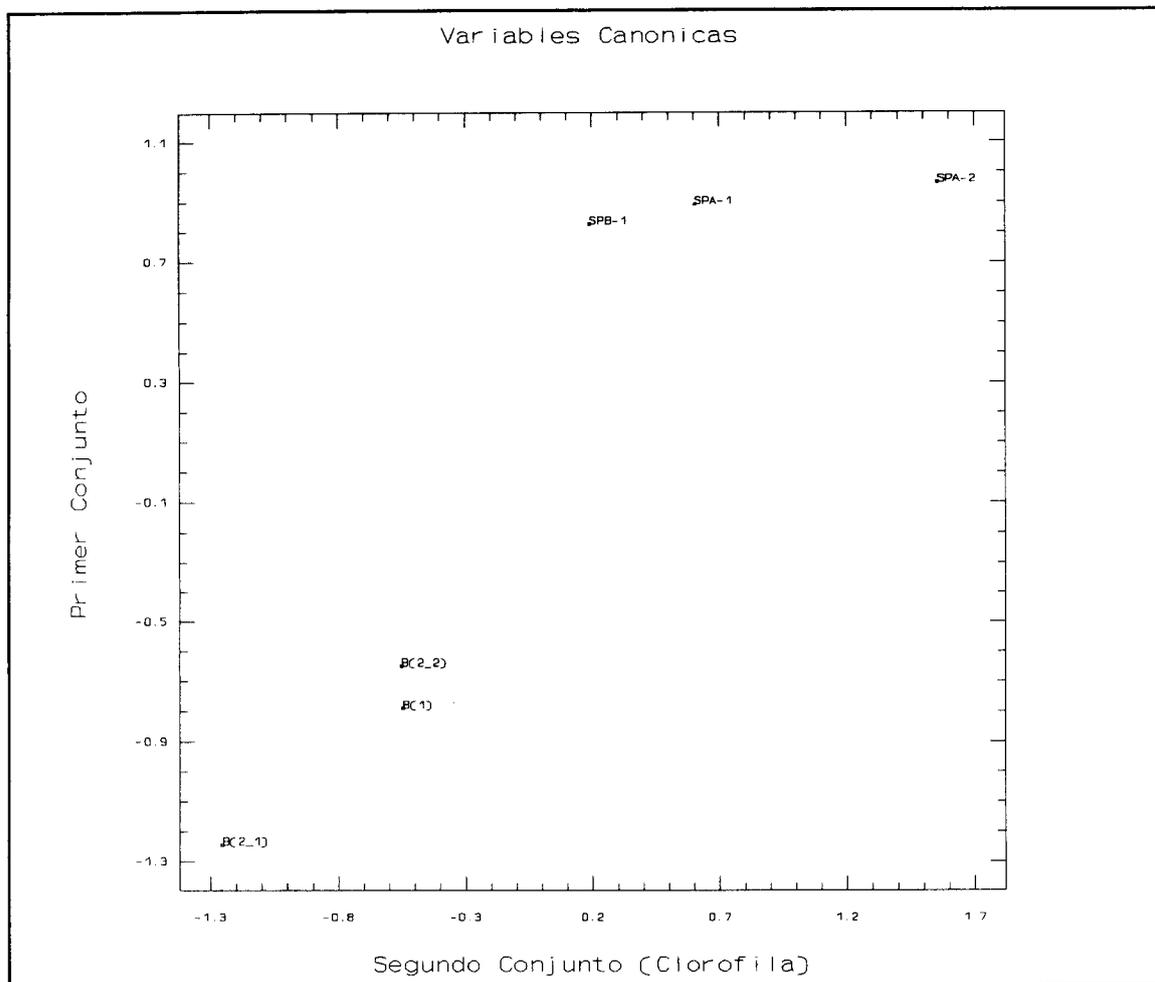


Figura 62. Representación del modelo 8.
 $\text{Chl-a} = f(\text{PO}_4^{3-}, \text{NH}_4^+)$

Por lo tanto los términos que linealizan el modelo 8 son los nitratos y la relación Mn/Fe.

5.3. Papel del Mn y del Fe.

La introducción de la relación Mn/Fe linealiza la función dependiente de los fosfatos, nitratos y amonio. A medida que aumentan las condiciones reductoras del medio, concentración en clorofila-a, se liberan de los sedimentos parte del Mn, (figura 63), y del Fe, (figura 64), tal y como aparece descrito en la

bibliografía [12]. La concentración de Mn en disolución aumenta a partir de 2 mg m^{-3} de clorofila-a, sin embargo el Fe en disolución sufre dos procesos. En primer lugar disminuye la cantidad de Fe en disolución hasta una concentración de clorofila-a de 6 mg m^{-3} , y a partir de aquí aumenta la concentración de Fe en disolución.

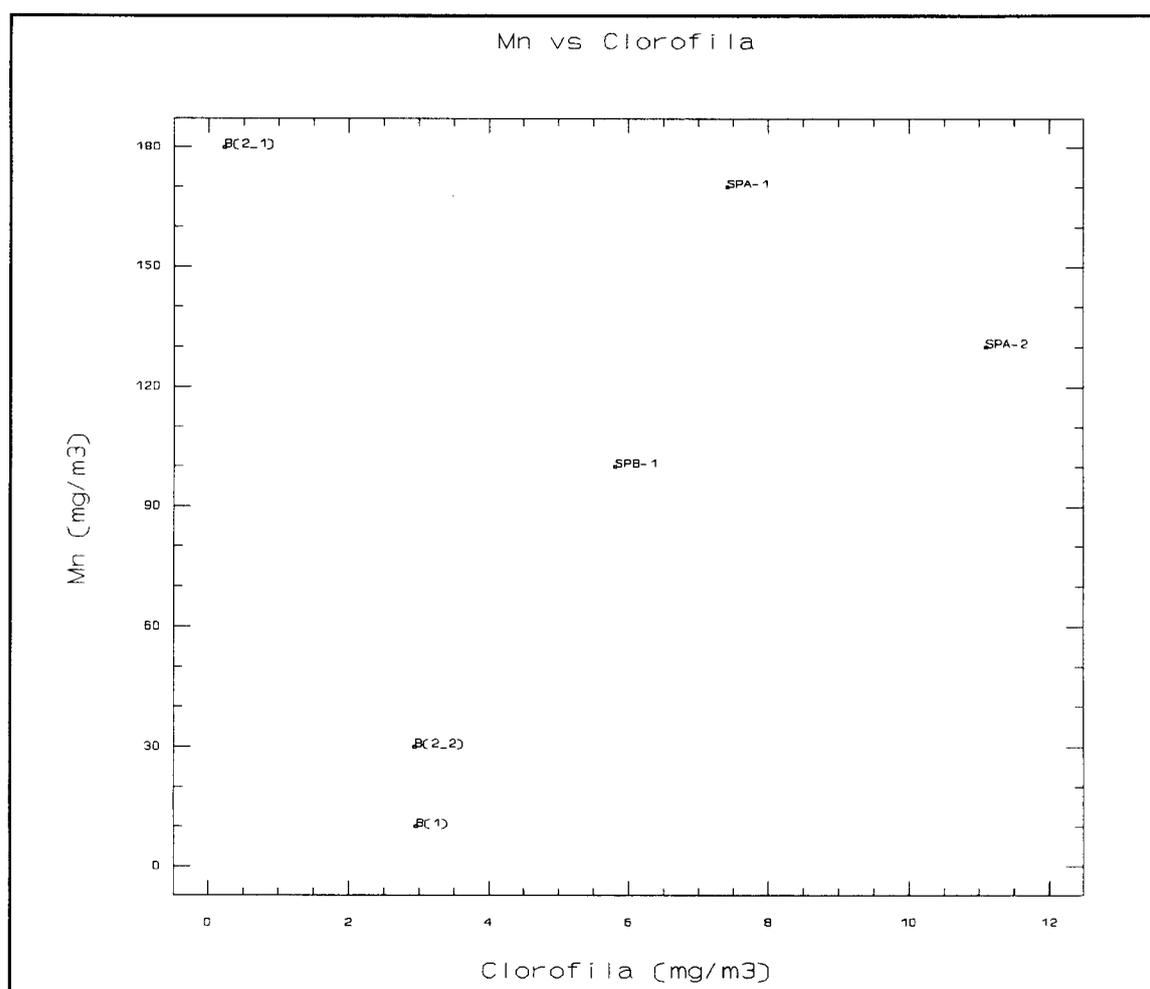


Figura 63. Mn frente clorofila-a.

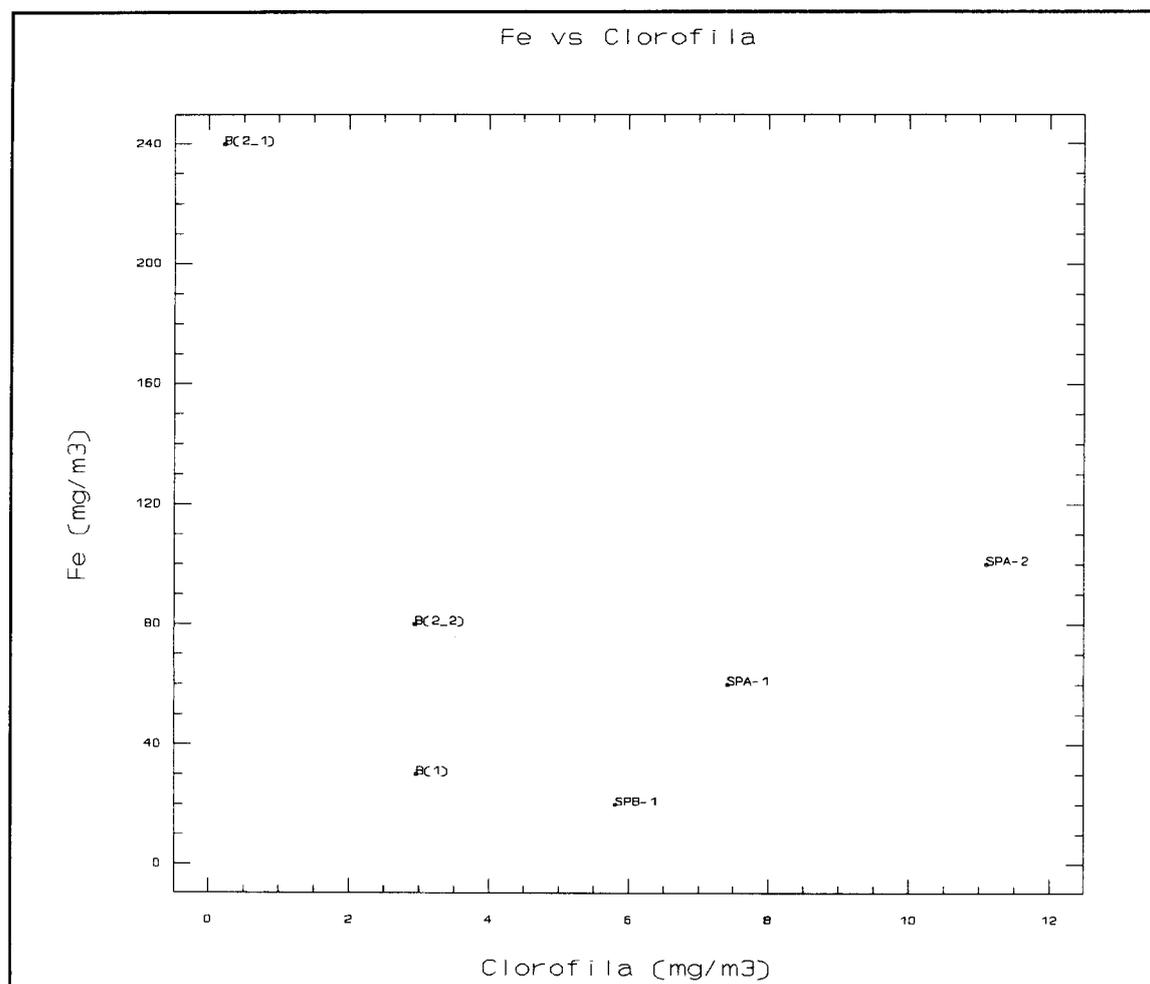


Figura 64. Fe frente clorofila-a.

5.4. Constituyentes del fósforo y nitrógeno total.

Aparte de averiguar cual es el papel de cada uno de los parámetros que entran en el modelo, estudio que se ha realizado anteriormente, es necesario investigar las formas predominantes en disolución de fósforo y nitrógeno, los principales nutrientes. Para cumplir este objetivo, se empleará la regresión SMLR (Stepwise Multivariate Regression) [143] para la construcción de modelos que permitan averiguar cuales son las variables (las

formas de fósforo y nitrógeno) que forman parte del fósforo y nitrógeno total.

5.4.1. Constituyentes del nitrógeno total.

Se han considerado las formas más usuales del nitrógeno: nitratos, nitritos y amonio. A continuación se les sometió al proceso de selección de variables hacia delante (Forward) y hacia atrás (Backward) con y sin término independiente con los siguientes resultados.

a. Hacia delante sin término independiente.

Selection: Forward F-to-enter: 4.00

Control: Manual Step: 1 F-to-remove: 4.00

R-squared: .97772 Adjusted: .97327 MSE: 0.919181 d.f.: 5

V. in Model	Coeff.	F-Remove	Var.	Not in Model	P.Corr.	F-Enter
1. Nitratos	0.21776	219.4534	2.	NH ₄	.4530	1.0326
			3.	NO ₂	.3069	.4159

F-regresión: 219.4

b. Hacia delante con término independiente.

Selection: Forward F-to-enter: 4.00

Control: Manual Step: 1 F-to-remove: 4.00

R-squared: .78202 Adjusted: .72752 MSE: 0.626013 d.f.: 4

V. in Model	Coeff.	F-Remove	Var Not in Model	P.Corr.	F-Enter
1. Nitrat	0.14924	14.3499	2. NH4	.0494	.0074
			3. NO2	.2641	.2250

F-regresión: 14.3

c. Hacia atrás con término independiente.

Selection Backward F-to-enter: 4.00

Control: Manual Step: 0 F-to-remove: 4.00

R-squared: .97779 Adjusted: .94447 MSE: 0.127576 d.f.: 2

Var.in Model	Coeff.	F-Remove	Var Not in Model	P.Corr.	F-Enter
1. Nitrat	0.16025	56.4383			
2. NH4	4.81342	16.2585			
3. NO2	-3.50618	17.5799			

F-regresión: 29.3

d. Hacia atrás sin término independiente.

Selection: Backward F-to-enter: 4.00

Control: Manual Step: 0 F-to-remove: 4.00

R-squared: .99646 Adjusted: .99292 MSE: 0.243603 d.f.: 3

Var.in Model	Coeff.	F-Remove	Var. Not in Model	P.Corr.	F-Enter
1. Nitrat	0.19918	426.4488			
2. NO2	-3.88838	11.9953			
3. NH4	5.70727	14.0894			F- regresión: 281.3

A la vista de los resultados, es el último modelo quien explica más la varianza del nitrógeno total, debido a que tiene la F-regresión de más alto valor. Por lo tanto, en la composición del nitrógeno total entran las tres formas de nitrógeno más comunes, y de esta forma, además se confirma el papel de los nitratos y el amonio en el modelo de eutrofización construido.

5.4.2. Constituyentes del fósforo total y equilibrio del fosfato.

Para averiguar cuáles son las especies presentes en disolución de fósforo se tendrán en cuenta, en principio, los análisis de fosfatos y de Ca^{2+} - Mg^{2+} .

Se tienen en cuenta estas especies debido a que existe un equilibrio entre las formas de fósforo solubles y estos cationes en disolución. La precipitación de este anión es una de las técnicas empleadas en el control de esta sustancia nutritiva.

a. Hacia delante y con término independiente.

Selection: Forward F-to-enter: 4.00

Control: Manual Step: 0 F-to-remove: 4.00

R-squared: .00000 Adjusted: .00000 MSE: 0.07883 d.f.: 5

Var.in Model	Coeff.	F-Remove	Var.Not in Model	P.Corr.	F-Enter
			1. Fosfato	.4465	.9959
			2. Ca	.6544	2.9955
			3. Mg	.1654	.1125

F-regresión: 0.0

b. Hacia delante y sin término independiente.

Selection: Forward F-to-enter: 4.00

Control: Manual Step: 1 F-to-remove: 4.00

R-squared: .84763 Adjusted: .81715 MSE: 0.0586416 d.f.: 5

Var.in Model	Coeff.	F-Remove	Var. not in Model	P.Corr.	F-Enter
2. Ca	0.00239	27.8146	1. Fosfato	.2497	.2660
			3. Mg	.6312	2.6490

F-regresión: 27.8

c. Hacia atrás y con término independiente.

Selection: Backward F-to-enter: 4.00

Control: Manual Step: 3 F-to-remove: 4.00

R-squared: .00000 Adjusted: .00000 MSE: 0.07883 d.f.: 5

Var.in Model	Coeff.	F-Remove	Var.Not in Model	P.Corr.	F-Enter
			1. Fosfato	.4465	.9959
			2. Ca	.6544	2.9955
			3. Mg	.1654	.1125

F-regresión: 0.0

d. Hacia atrás y sin término independiente.

Selection: Forward F-to-enter: 4.00

Control: Manual Step: 1 F-to-remove: 4.00

R-squared: .84763 Adjusted: .81715 MSE: 0.0586416 d.f.: 5

Var.in Model	Coeff.	F-Remove	Var.in Model	P.Corr.	F-Enter
2. Ca	0.00239	27.8146	1. Fosfato	.2497	.2660
			3. Mg	.6312	2.6490

F-regresión: 27.8

A la vista de estos resultados, se intentó variar el modelo relajando las exigencias de pertenencia de las variables, forzándolas a entrar en el modelo. Se consiguieron los siguientes valores de F-regresión para los tres siguientes:

- Ca^{2+} y fosfato: $F = 12.0$
- Ca^{2+} , Mg^{2+} y fosfato: $F = 11.1$
- Ca^{2+} y Mg^{2+} : $F = 19.8$

Ninguno de los tres modelos tiene una F mayor que el modelo

construido solamente con el Ca^{2+} . Por lo tanto una parte muy importante, 85 %, de la variabilidad del fósforo total está explicado por los equilibrios que sufren las formas solubles de fósforo con el Ca^{2+} .

Una opción más para mejorar el modelo es relacionar otros elementos de menor concentración con la concentración de fósforo total. Los elementos que ha continuación se han probado son el Na^+ , Mn y Fe, junto con los anteriores Ca^{2+} y Mg^{2+} . No se incluye PO_4^{3-} como variable independiente debido a que el número de variables es igual al número de datos y en este caso el número de grados de libertad es 0. Por esta razón trataremos el caso de la dependencia del PO_4^{3-} posteriormente.

a. Hacia atrás y sin término independiente.

Selection: Backward F-to-enter: 4.00 F-to-remove: 4.00

R-squared: .93344 Adjusted: .90016 MSE: 0.03202 d.f.: 4

Var.in Model	Coeff.	F-Remove	Var.Not in Model	P.Corr.	F-Enter
Ca	0.00136	5.8471	Na	.3262	.3572
Fe	2.43295	5.1570	Mg	.3812	.5102
			Mn	.1512	.0702

b. Hacia atrás y con término independiente.

Selection: Backward F-to-enter: 4.00 F-to-remove: 4.00

R-squared .62146 Adjusted: .52683 MSE: 0.0372999 d.f.: 4

Var.in Model	Coeff.	F-Remove	Var.Not in Model	P.Corr.	F-Enter
Fe	2.76312	6.5670	Na	.1332	.0542
			Mg	.0399	.0048
			Ca	.4702	.8514
			Mn	.2641	.2250

c. Hacia delante y con término independiente.

Selection: Forward F-to-enter: 4.00 F-to-remove: 4.00

R-squared .62146 Adjusted: .52683 MSE: 0.0372999 d.f.: 4

Var.in Model	Coeff.	F-Remove	Var.Not in Model	P.Corr.	F-Enter
Fe	2.76312	6.5670	Na	.1332	.0542
			Mg	.0399	.0048
			Ca	.4702	.8514
			Mn	.2641	.2250

d. Hacia delante y sin término independiente.

Selection: Forward F-to-enter: 4.00 F-to-remove: 4.00

R-squared .93344 Adjusted: .90016 MSE: 0.03202 d.f.: 4

Var.in Model	Coeff.	F-Remove	Var.Not in Model	P.Corr.	F-Enter
Ca	0.00136	5.8471	Na	.3262	.3572
Fe	2.43295	5.1570	Mg	.3812	.5102
			Mn	.1512	0702

Al observar los modelos construidos es claro que la concentración de fósforo total en disolución depende de la concentración de Ca^{2+} y Fe en disolución, o dicho de otra forma el 93% de la variabilidad de las formas solubles de fósforo dependen de la concentración de estos metales.

Como el Fe es un metal que tiene un papel importante en el equilibrio de las formas de fósforo se puede decir de él que debido al intervalo de pH en el que se mueven las aguas de la balsa (7.4 - 7.9) la forma predominante en disolución será el Fe^{2+} .

Para averiguar que especies intervienen en el equilibrio del PO_4^{3-} realizaremos el mismo análisis con los metales anteriores y con SMLR.

a. Hacia delante y término independiente.

Selection: Forward F-to-enter: 4.00 F-to-remove: 4.00

R-squared: .66085 Adjusted: .57606 MSE: 0.0343051 d.f.: 4

Var.in Model	Coeff.	F-Remove	Var.Not in Model	P.Corr.	F-Enter
Ca	0.00813	7.7942	Na	.2239	.1583
			Mg	.1265	.0488
			Fe	.4545	.7810
			Mn	.3155	.3316

b. Hacia delante y sin término independiente.

Selection: Forward F-to-enter: 4.00 F-to-remove: 4.00

R-squared: .73106 Adjusted: .67727 MSE: 0.0527763 d.f.: 5

Var.in Model	Coeff.	F-Remove	Var.Not in Model	P.Corr.	F-Enter
Fe	3.01521	13.5917	Na	.3581	.5885
			Mg	.3646	.6134
			Ca	.4407	.9641
			Mn	.2884	.3628

c. Hacia atrás y con término independiente.

Selection: Backward F-to-enter: 4.00 F-to-remove: 4.00

R-squared: .66085 Adjusted: .57606 MSE: 0.0343051 d.f.: 4

Var.in Model	Coeff.	F-Remove	Var.not in Model	P.Corr.	F-Enter
Ca	0.00813	7.7942	Na	.2239	.1583
			Mg	.1265	.0488
			Fe	.4545	.7810
			Mn	.3155	.3316

d. Hacia atrás y sin término independiente.

Selection: Backward F-to-enter: 4.00 F-to-remove: 4.00

R-squared: .73106 Adjusted: .67727 MSE: 0.0527763 d.f.: 5

Var.in Model	Coeff.	F-Remove	Var.Not in Model	P.Corr.	F-Enter
Fe	3.01521	13.5917	Na	.3581	.5885
			Mg	.3646	.6134
			Ca	.4407	.9641
			Mn	.2884	.3628

Tal y como se observa en los resultados de las diferentes regresiones el mejor modelo es el que explica el 73 % de la variabilidad del PO_4^{3-} frente al Fe. Este resultado es muy importante para el control de las sustancias nutritivas que favorecen la eutrofización, ya que la precipitación de los fosfatos mediante la adición de Fe es uno de los tratamientos más importantes en el control de la eutrofización.

6. INFLUENCIA DE LOS PROCESOS EUTROFICOS SOBRE LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS.

Las consecuencias de la eutrofización sobre las aguas superficiales son varias y muy bien conocidas. A continuación citamos las dos consecuencias más relevantes que se han encontrado en la balsa estudiada y que se han comprobado en los apartados anteriores.

- Aumento de la concentración de amoníaco.
- Aumento de las concentraciones de Fe y Mn mediante la disolución de estos elementos de los sedimentos.

A nuestro entender, solamente el segundo punto tiene realmente posibilidades de influir en la composición de las aguas subterráneas por infiltración. Ya que el amonio se oxidaría al salirse del ambiente biológico, reductor, de la balsa donde puede existir. Además se ha demostrado que es el río la principal fuente de nitrógeno y no la balsa, en todo caso ésta fijaría el nitrógeno inmovilizándolo como nitrógeno orgánico.

La metodología para investigar la posible influencia de estos elementos sobre las aguas subterráneas ha sido la siguiente:

- Partiendo del PCA realizado con todos los datos recopilados, buscar relaciones con las coordenadas de los puntos de muestreo (río, balsa, sondeos y pozos) entre las dos campañas realizadas. Trabajando con las coordenadas de PCA de esta forma se logra una visión conjunta de todos los parámetros implicados, ahorrándose el estudio de los parámetros individuales.

- Si los resultados obtenidos se consideran mejorables, se pasará a trabajar con las coordenadas de los factores rotados mediante el FA con rotación varimax.

Antes de pasar directamente al estudio de los componentes o de los factores, que implican al Fe o al Mn, realizaremos

también el estudio de los componentes y factores más importantes para obtener una visión en conjunto de los fenómenos que ocurren, tanto en la balsa como en los sondeos, en función de la distancia.

6.1. Variación conjunta de los muestreos: estudio de las coordenadas de PCA.

Se han representado las coordenadas de los puntos de muestreo en las dos campañas realizadas. No se han tenido en cuenta los análisis realizados durante abril-mayo-junio (primer muestreo) debido a que no se pudieron realizar los sondeos durante este período. El punto que aparece en las gráficas sin unir mediante líneas pertenece al muestreo de Octubre (segundo muestreo) en el lóbulo inferior. En este período se tomaron muestras en dos zonas de la balsa, lóbulo superior (situado más cerca del núcleo habitado de la finca) y lóbulo inferior. Simplemente se han unido los puntos por razones de mejor representación, por lo tanto el punto que queda sin unir es perfectamente válido. En la figura 65, aparece la representación de PC-1 vs Distancia.

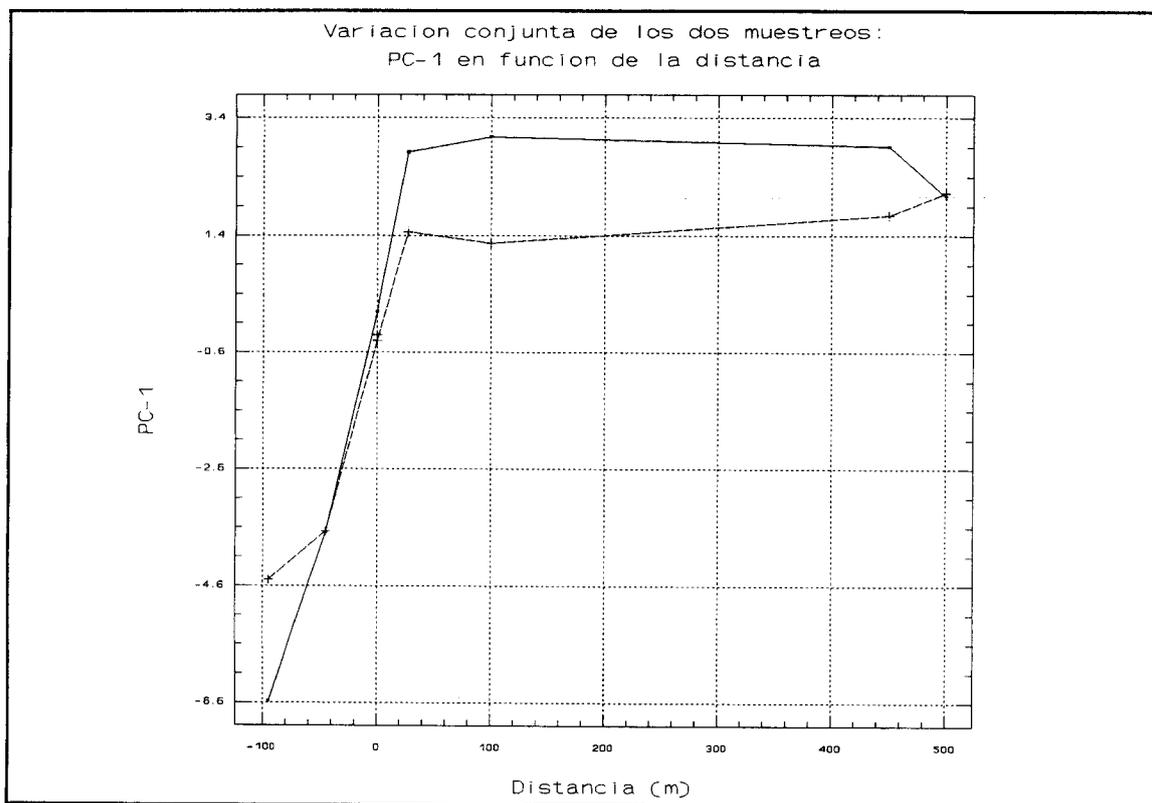


Figura 65. Coordenadas de PC-1 en función de la distancia. (—) Primer muestreo; (- -) segundo muestreo.

Como se puede ver el perfil de PC-1 en la distancia es bastante similar en los dos muestreos con la salvedad de que las coordenadas del primero tienen mayor valor absoluto. El comportamiento hasta las cercanías del sondeo S3 ($d = 27$ m. de la balsa) es lineal y prácticamente idéntico. Exceptuando el río, los valores de las coordenadas son casi iguales. A partir del sondeo S3 el comportamiento cambia radicalmente pero los perfiles de los dos muestreos permanecen paralelos. Si representamos las coordenadas de PC-1 de los dos muestreos ,frente a frente, se obtiene la figura 66.

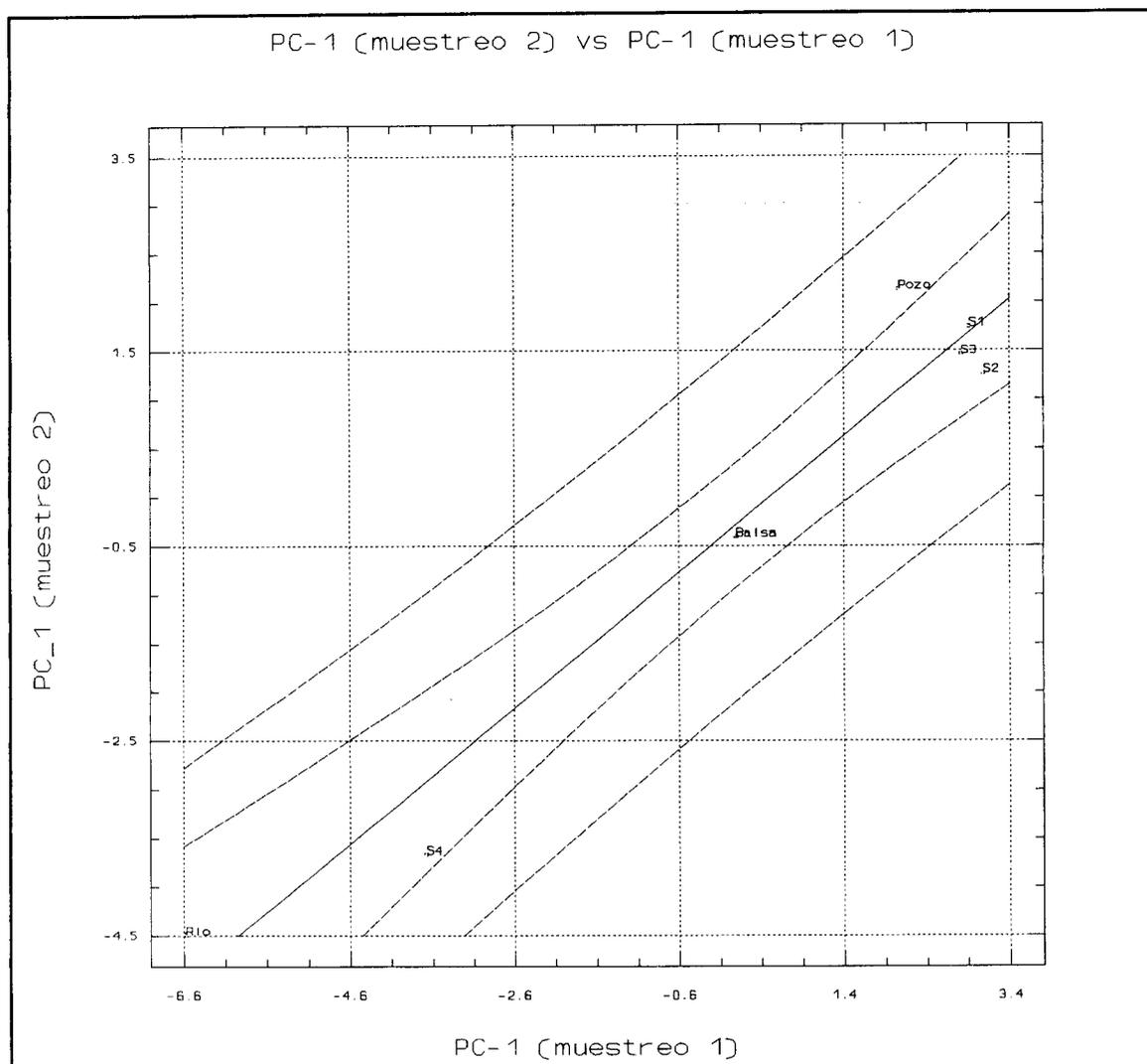


Figura 66. PC-1 (muestreo 2) frente PC-1 (muestreo 1).

La interpretación de las dos gráficas es la siguiente:

- En el segundo muestreo, los parámetros inorgánicos (valores positivos de PC-1) han disminuido a partir del sondeo S3 y permanecen constantes desde el río hasta los alrededores de éste. La explicación más plausible es la misma a la que anteriormente se ha hecho mención. Como este segundo muestreo se realizó después de una semana de lluvias la concentración en

disolución de la zona dominada por los parámetros inorgánicos ha visto rebajado su perfil de concentraciones.

- Existe una relación lineal entre las coordenadas de los puntos de muestreo en las dos campañas. Es decir existe una relación entre orgánico(muestreo 1)-orgánico(muestreo 2) e inorgánico(muestreo 1)-inorgánico(muestreo 2).

¿ Qué produce esta relación lineal ?

A nuestro juicio esta relación está causada por el terreno, ya que la misma relación gobierna a los diferentes puntos de muestreo, siendo aquel el principal foco de parámetros inorgánicos. Si existiesen diferentes focos la relación entre los diferentes puntos de muestreo sería irregular. Para comprobar esto, se pueden ver las gráficas de formas de nitrógeno y de fosfatos en función de la distancia.

Por otra parte, si se dibujase la línea imaginaria $y=x$, donde estarían todos los puntos de muestreo si no existiese cambio en las concentraciones, se observaría como la relación existente entre los dos muestreos es ligeramente diferente de $y=x$. Este resultado evidencia igualmente el cambio producido en el intervalo de tiempo transcurrido entre los dos muestreos.

La variación conjunta de las coordenadas en PC-2 y de sus posibles relaciones están representadas en las gráficas de las páginas siguientes, figuras 67 y 68. PC-2 está asociada principalmente a las formas de nitrógeno, al hierro y al pH. La

figura 67 muestra un comportamiento prácticamente paralelo en las dos campañas en PC-2 y opuesto a PC-1. En éste es el terreno el principal foco de parámetros, mientras que para PC-2 el río es el foco.

En la figura 68 se obtiene un hábito que podría ser calificado de lineal pero con una gran dispersión de los datos. Por lo tanto esta componente no muestra una relación tan clara como la primera. Parece que existe una relación lineal, pero con los actuales datos la dispersión es tan alta que se realizará el mismo análisis que el realizado en este apartado pero con las coordenadas de los factores rotados.

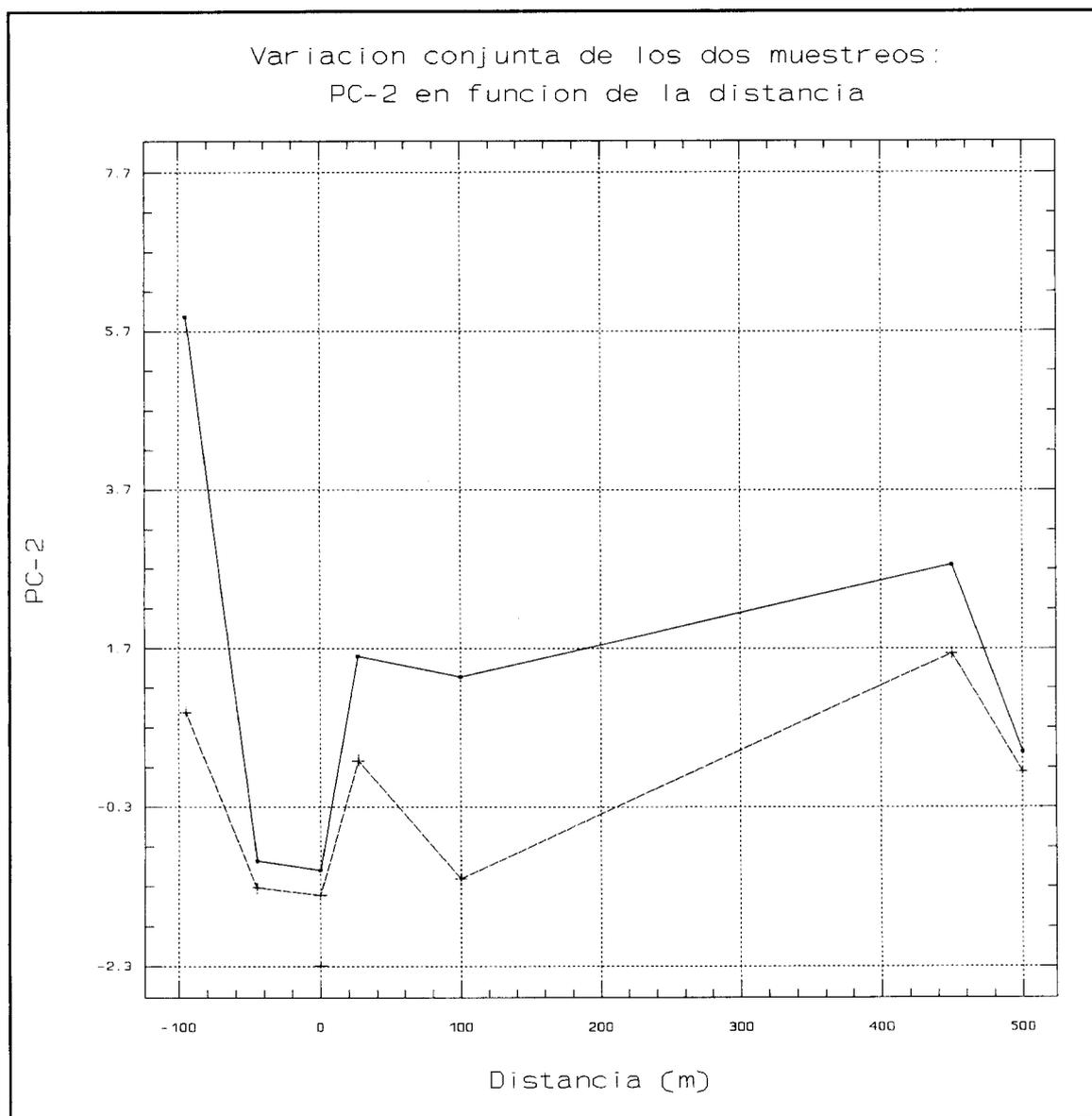


Figura 67. Coordenadas de PC-2 en función de la distancia.
(—) Primer muestreo; (- -) segundo muestreo.

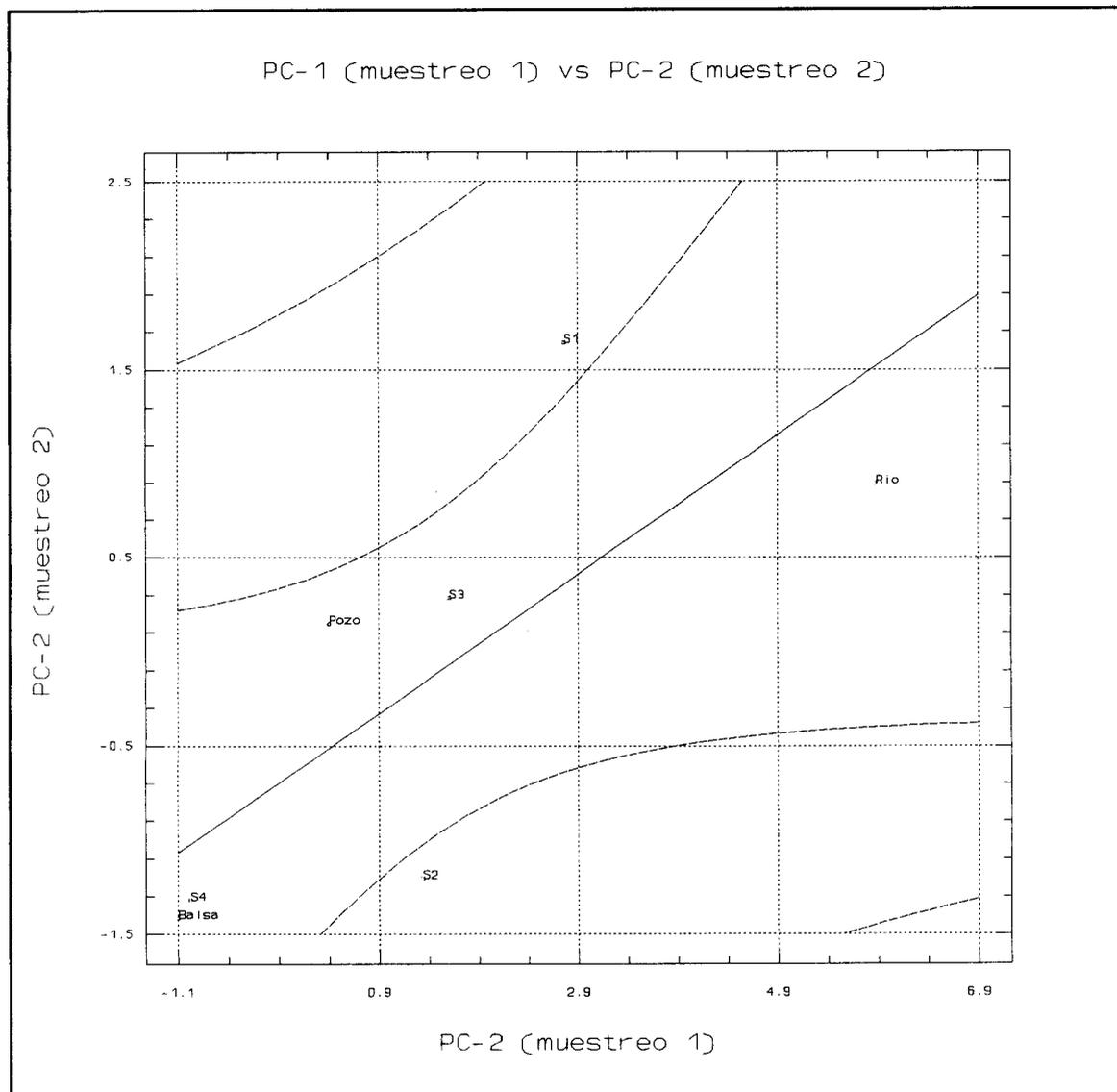


Figura 68. PC-2 (muestreo 2) frente PC-2 (muestreo 1).

El tercer componente principal está dominado por HCO_3^- , pH y el Mn. En la gráfica siguiente, (figura 69), se representan las coordenadas en PC-3 de los puntos de muestreo en función de la distancia para los dos campañas.

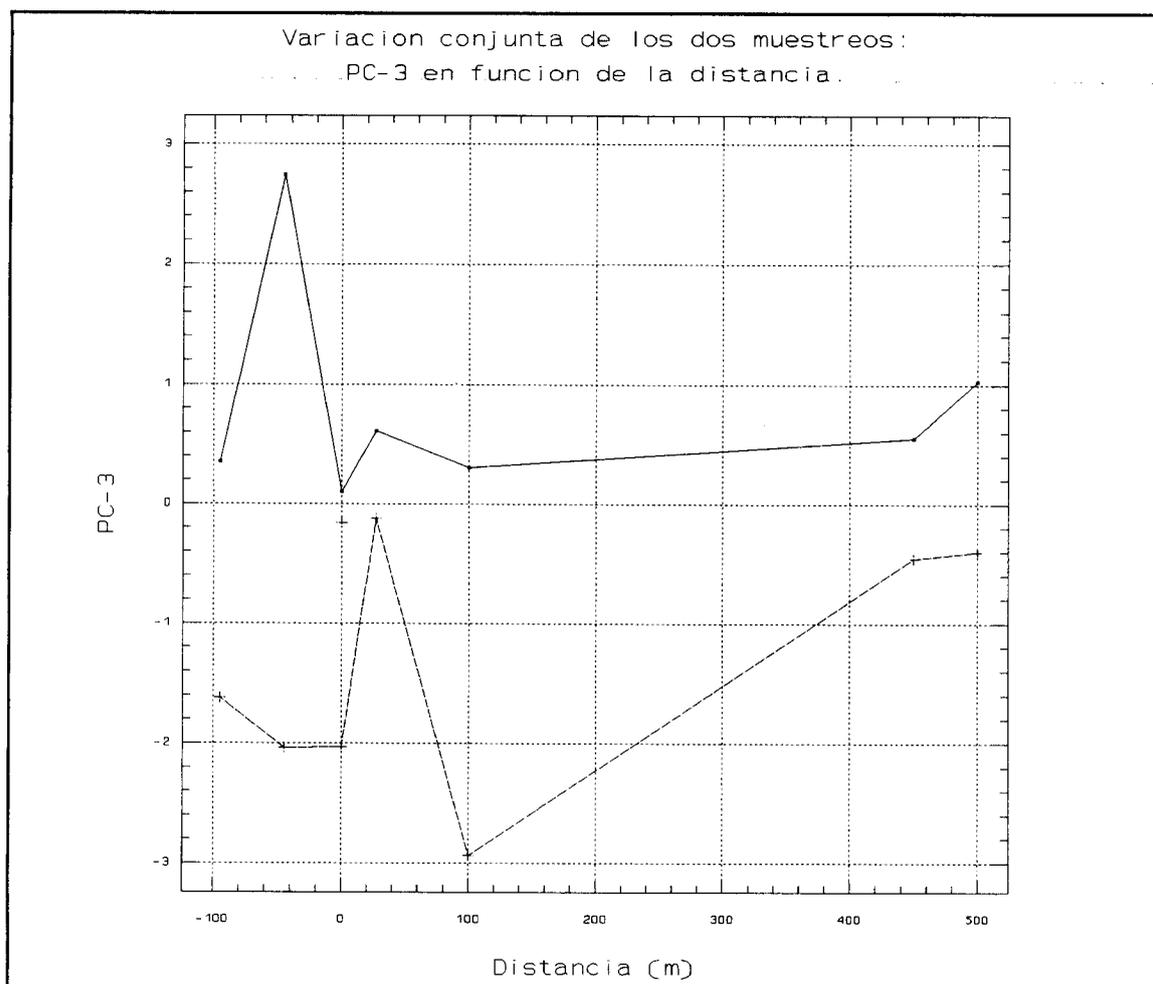


Figura 69. Coordenadas de PC-3 en función de la distancia.
(—) Primer muestreo; (--) segundo muestreo.

Para analizar la gráfica, realizaremos la regresión entre los valores de PC-3 del primer muestreo con los del segundo. El resultado aparece en la figura 70.

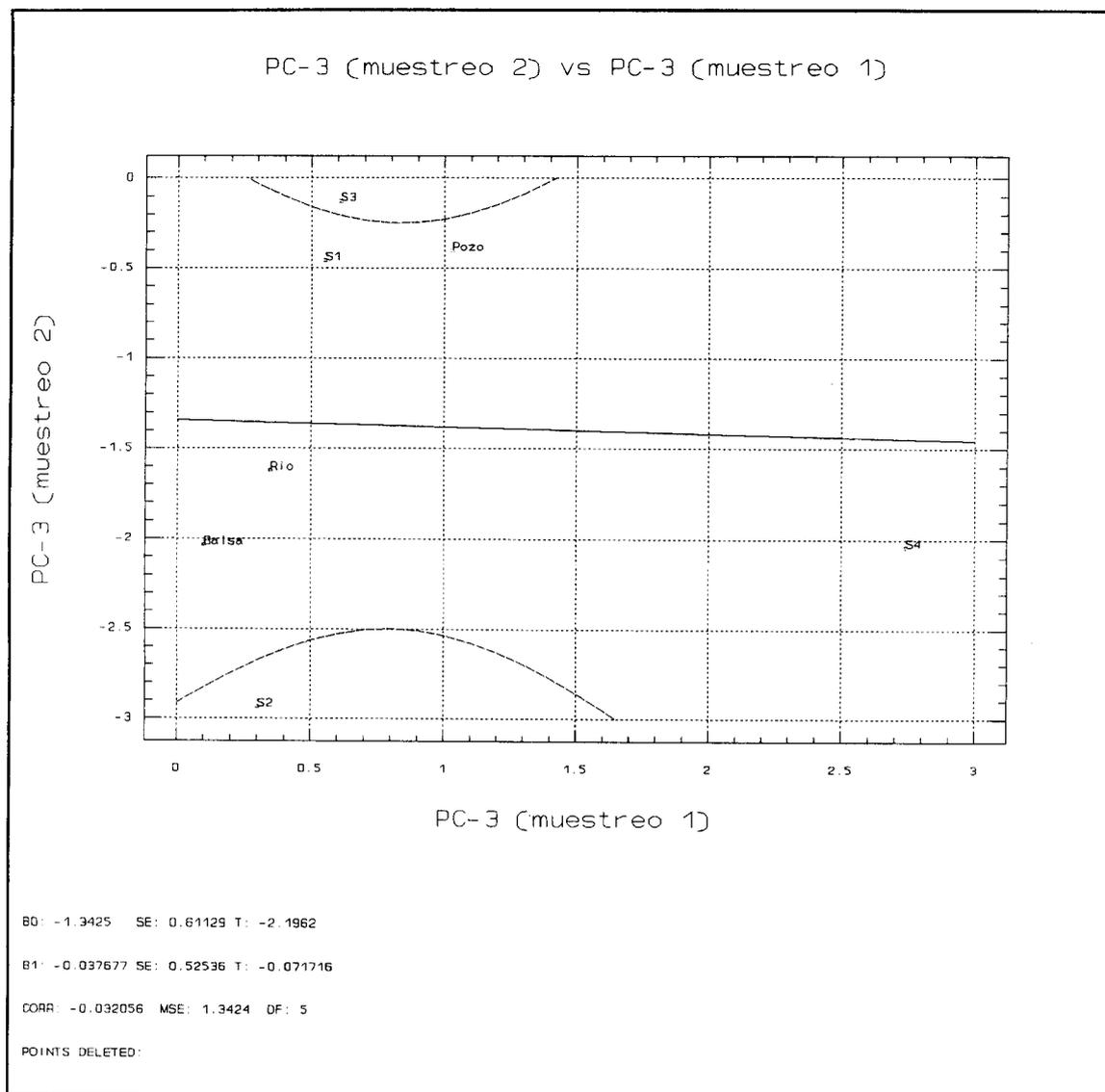


Figura 70. PC-3 (muestreo 2) frente PC-3 (muestreo 1).

En esta figura se aprecia como la regresión está condicionada por el sondeo S4 debido a su alto valor de PC-3, sin embargo, parece que existe una relación lineal entre los restantes puntos, por lo cual se realizó una nueva regresión sin tener en cuenta el sondeo S4 (cuya posición extrema se puede explicar por la existencia de alguna anomalía), y que aparece en la figura 71.

Como se puede observar el coeficiente de correlación ha aumentado significativamente (de prácticamente 0 a 0.7), confirmando la existencia de una relación lineal entre los dos muestreos. Los puntos de muestreo en las coordenadas de PC-3 están claramente divididos en dos zonas: las coordenadas del primer muestreo son todas positivas, mientras que en el segundo son todas negativas. De este hecho, y teniendo en cuenta las correlaciones de PC-3 con las variables, se deduce que en el segundo muestreo ha disminuido el pH, aumentado la concentración de bicarbonatos y dando lugar al aumento de la cantidad de Mn en disolución.

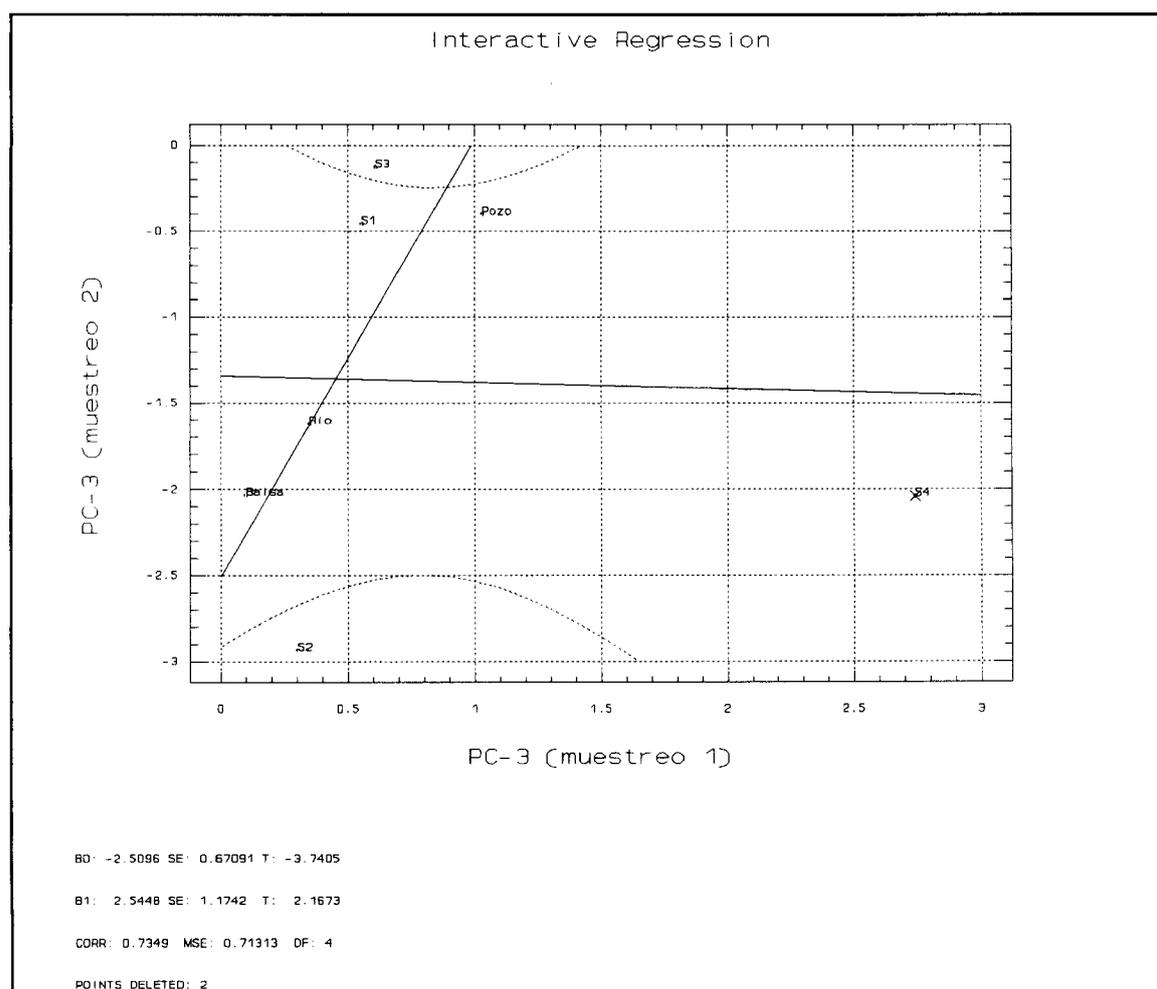


Figura 71. PC-3 (muestreo 2) frente PC-3 (muestreo 1), sin S4.

Que haya aumentado la cantidad de Mn en disolución en los sondeos no quiere decir que éste provenga de las infiltraciones de las aguas de la balsa en el terreno, sino que puede haberse producido por disolución del Mn del terreno al disminuir el pH, que es lo que se produce en la segunda campaña. A nuestro modo de ver, para determinar que es la balsa quien produce el aumento de Mn en disolución en las aguas subterráneas los puntos de datos de la figura 69, exceptuando S4, deben estar ordenados según la concentración en Mn:

Balsa > S3 > S2 > S1 > Pozo

Asumiendo que la concentración de Mn en el terreno es aproximadamente constante. El dato correspondiente al río puede comportarse independientemente de los demás y S4 podría estar colocado en una posición aun más extrema que el río al poder recibir aportes de éste y de la balsa. Al observar la figura 71, lo anteriormente comentado no ocurre. Es decir, según los datos actuales no existe influencia de la balsa sobre la composición de las aguas subterráneas, y en particular, en la concentración de Mn en disolución. Con respecto al Fe, no podemos decir nada todavía debido a que la relación entre los diferentes muestreos es muy difusa. Para intentar aclarar el papel del hierro, y a ser posible de algún otro elemento más, pasaremos a analizar los puntos de muestreo según las coordenadas de los factores conseguidos mediante FA y rotación varimax.

6.2. Representación conjunta de los muestreos estudio de las coordenadas de FA.

En la figura 72 se representa la variación de las coordenadas de F-1 en función de la distancia.

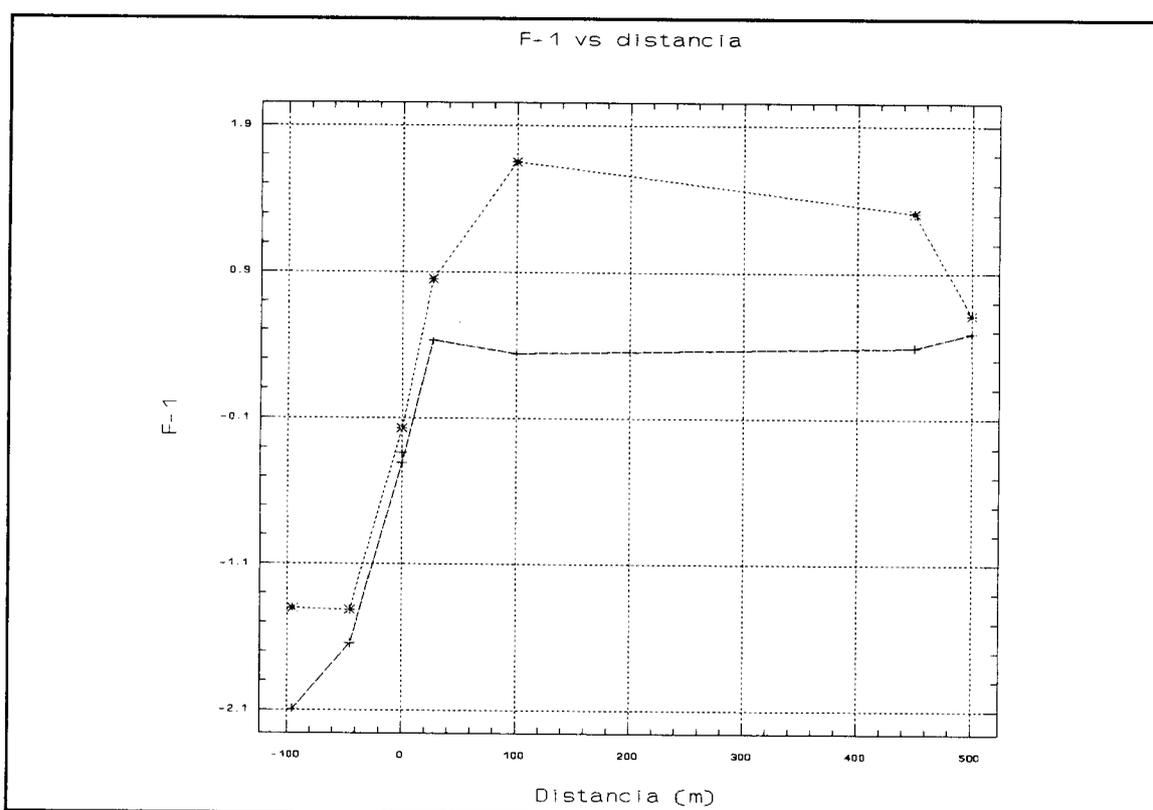


Figura 72. Coordenadas de F-1 en función de la distancia. (··) Primer muestreo; (--) segundo muestreo.

En la gráfica anterior se pueden diferenciar tres zonas:

- Zona 1. Desde el río hasta el primer sondeo (S4), que abarca aproximadamente 50 m. El comportamiento de los perfiles de concentración en los dos muestreos es diferente. En el primer muestreo el perfil de concentraciones en el río y en S4 es el

mismo. Sin embargo, en el muestreo de Octubre el comportamiento es el habitual, diluyéndose la concentración de sustancias orgánicas en disolución y aumentando las inorgánicas a medida que aumenta la distancia.

- Zona 2. Comprendida entre el sondeo S3 y el S2, incluyendo la balsa. El comportamiento es lineal, creciente y además prácticamente paralelo en los dos muestreos. Es decir, muestran un comportamiento lógico, al aumentar la distancia aumenta la concentración de sustancias inorgánicas en disolución, y el perfil de concentraciones de Octubre es menor que el de Julio al presentar el río menor concentración de sustancias inorgánicas en Octubre.

- Zona 3. A partir de S3, la concentración en cada uno de los muestreos es prácticamente constante a medida que aumenta la distancia, e igualmente el comportamiento de los dos muestreos es prácticamente paralelo. El perfil de Julio es mayor que el de Octubre al existir mayor concentración en el río de sustancias inorgánicas en disolución. La alta diferencia encontrada entre los dos perfiles coincide con la encontrada en PCA (PC-1), siendo la explicación la ya comentada en 5.1. es decir que el muestreo de Octubre se realizó después de una semana de lluvias, disminuyendo las concentraciones en disolución en el río y nivelándose el perfil de concentraciones a partir del sondeo S3.

No se coloca el gráfico de los muestreos en diferentes campañas, en las coordenadas de F1 frente a frente, porque no añade nada nuevo.

En la figura 73, se muestra la variación de las coordenadas de F-2 en función de la distancia.

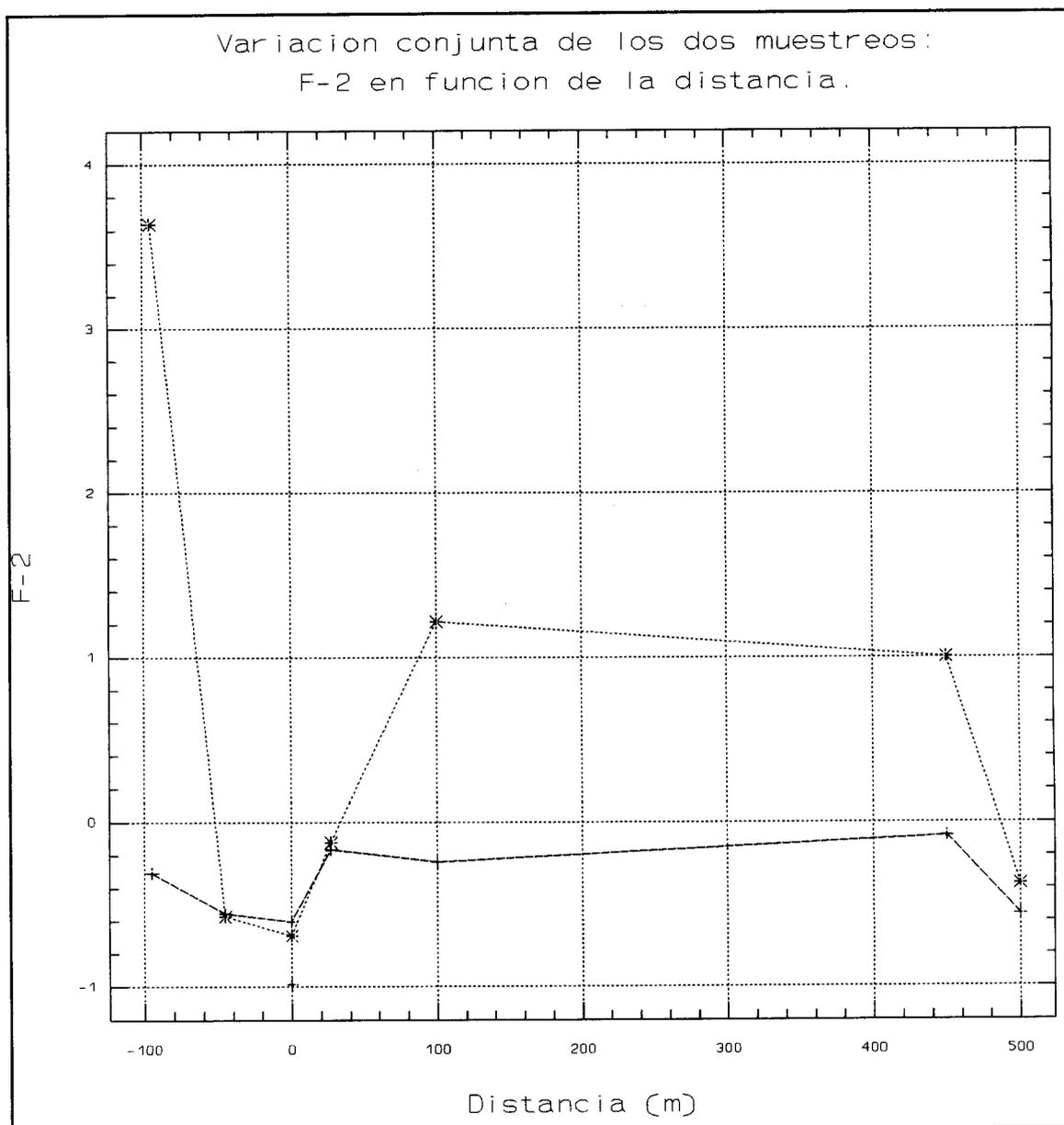


Figura 73. Coordenadas de F-2 en función de la distancia.

El segundo factor incluye la mayor parte de la varianza del Fe. Por lo tanto, del análisis de las coordenadas de este factor se puede obtener información sobre el comportamiento del Fe en

las aguas subterráneas (sondeos).

El segundo factor también contiene la mayor parte de la varianza de las formas de nitrógeno y parte del fosfato. La posición extrema del río en la campaña de Julio se atribuye a la alta concentración en nitritos que existe en este punto. Igualmente como en el caso del primer factor se pueden distinguir tres zonas.

- Entre el río y el sondeo S4. Hábito decreciente, disminución de formas de nitrógeno y del hierro, y la ya explicada posición extrema del río.

- Entre el sondeo S4 y S3. Prácticamente los puntos S4 y S3 permanecen en la misma posición en los dos muestreos. Respecto a los dos lóbulos de la balsa que en F-1 prácticamente permanecían en la misma posición, ahora se diferencian bastante (como ya se comentó al principio de este apartado, se decidió realizar el análisis de las coordenadas tomando todos los datos, considerando solamente las medias de los análisis en la balsa de cada muestreo). A pesar de estas diferencias que se han producido en la balsa, la posición de S3 y S4 es prácticamente la misma. Por lo tanto, las variaciones de Fe que se han producido en la balsa no han afectado a la composición de los sondeos S4 y S3 en la concentración de Fe en disolución.

- A partir de S3. Las diferencias existentes desde el sondeo S3 en los perfiles de concentración no deben ser atribuidos a la balsa. Si en S3 no existen diferencias creadas por la balsa, a partir de aquí tampoco pueden existir. El comportamiento paralelo

entre los dos muestreos, se puede atribuir a las lluvias sufridas que han dado lugar a la disminución de las concentraciones de las formas de nitrógeno en disolución en las aguas subterráneas.

Por lo tanto, con los datos recogidos y análisis estadísticos realizados, se concluye que las diferencias en la concentración de Fe encontradas en la balsa en el período Julio-Octubre, no influyen en la composición de las aguas subterráneas.

El tercer factor explica la mayor parte de la variabilidad del SiO_2 e igualmente parte de las formas de nitrógeno. Como este factor no incluye ninguna variable que nos sea de interés, pasamos directamente al estudio del cuarto factor.

El cuarto factor explica la mayor parte de la variabilidad del pH, HCO_3^- y Mn. En la gráfica siguiente, (figura 74), aparece la variación de las coordenadas de F-4 con la distancia.

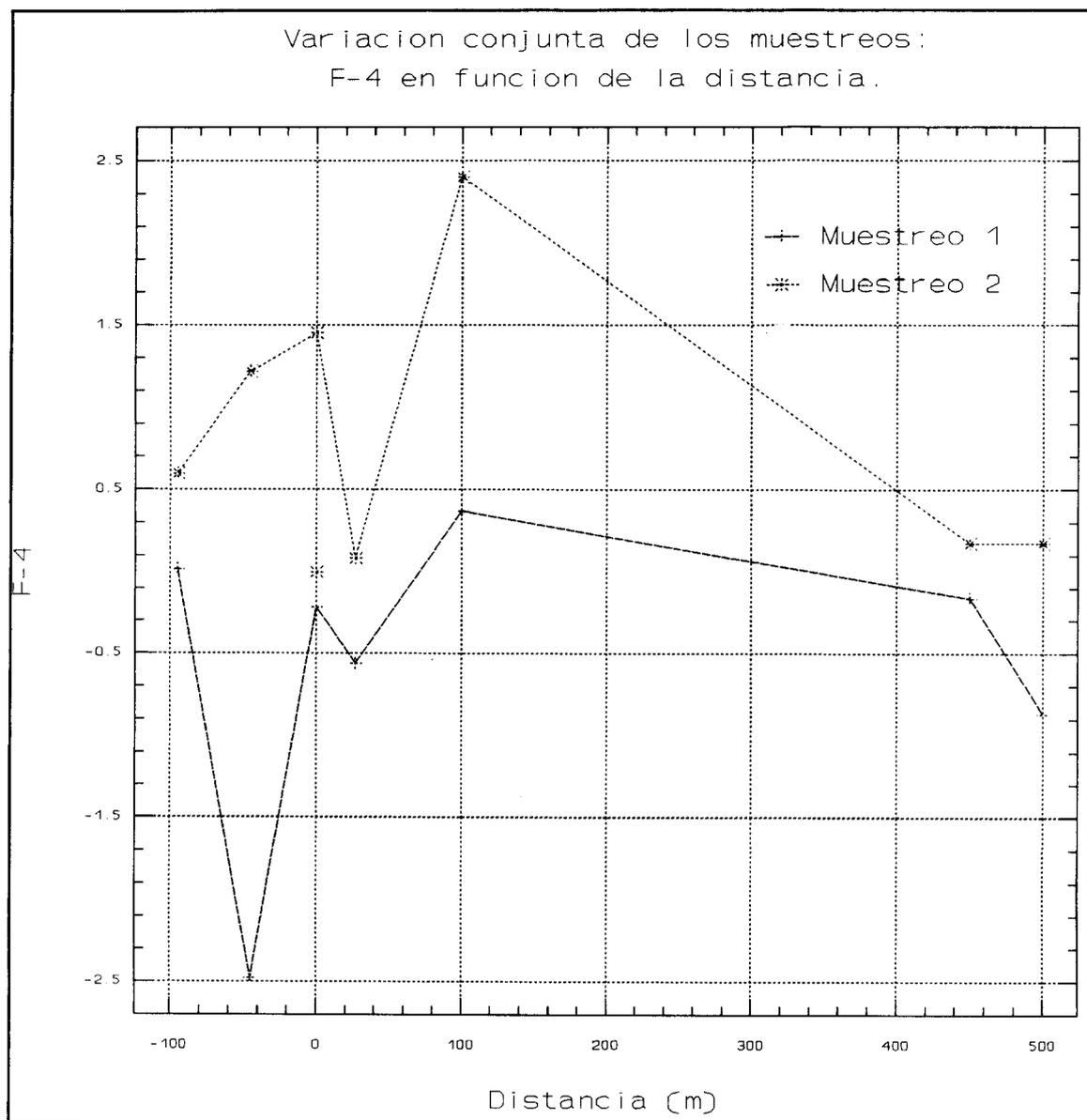


Figura 74. Coordenadas de F-4 en función de la distancia. (--) Primer muestreo; (··) segundo muestreo.

La interpretación de la gráfica anterior es bastante compleja. Por una parte el hábito de los perfiles de concentración a partir de la balsa es bastante similar, pero lo que sucede en la zona comprendida entre el río y la balsa es diferente. El principal problema consiste en el descenso tan apreciable en el sondeo S4 de la concentración de Mn. No se puede atribuir a las lluvias, ya que el perfil sería prácticamente

plano. Una posible explicación sería la existencia de bacterias que metabolizasen el Mn; de todas formas el sondeo S4 se comporta como un punto particular y no se considera en el análisis de relaciones entre los puntos de muestreo de las dos campañas.

En la figura 75, aparecen los puntos de muestreo de las dos campañas en F-4.

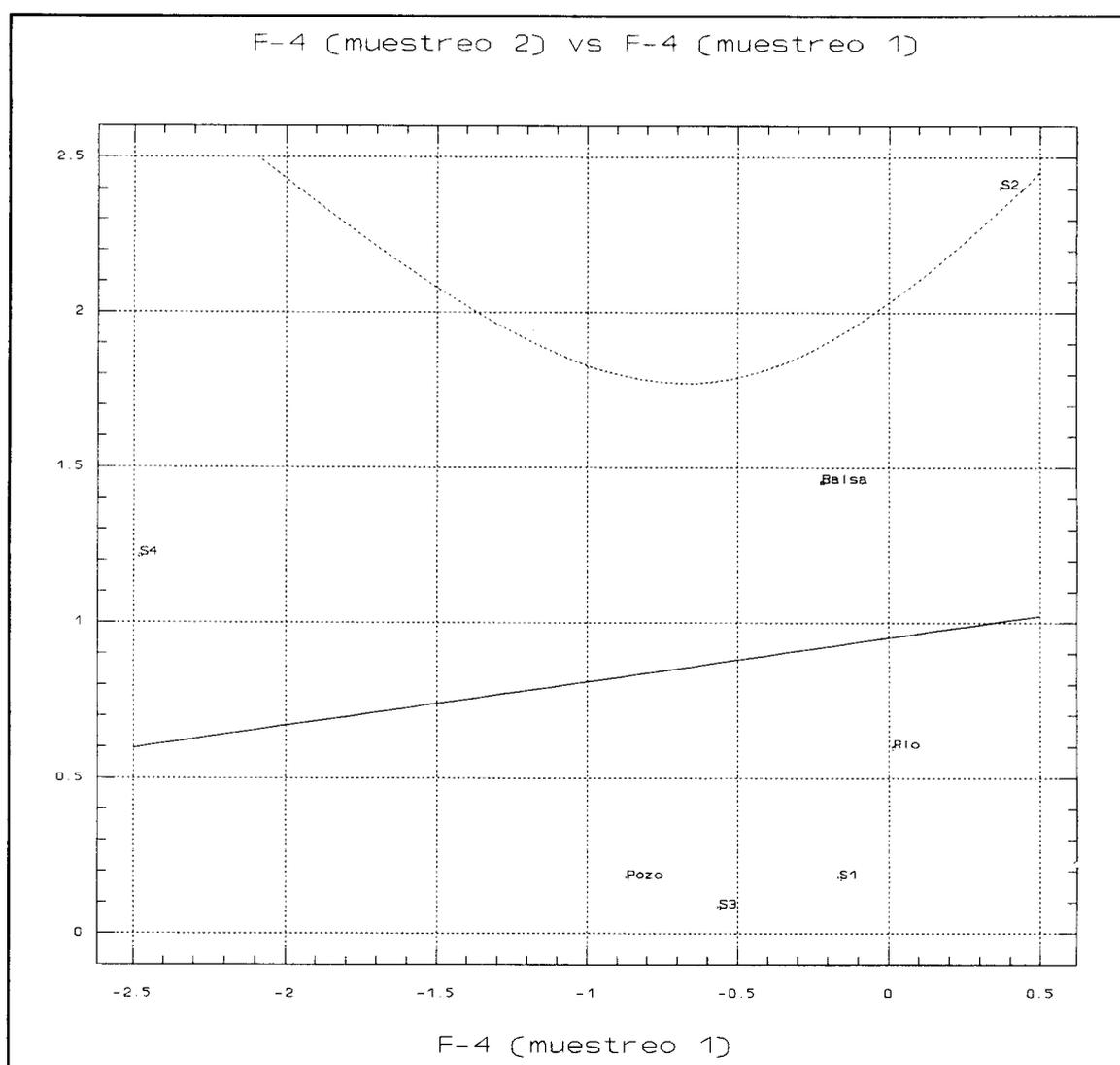


Figura 75. F-4 (muestreo 2) frente F-4 (muestreo 1).

En la gráfica anterior se observa como S4 es un punto extremo con respecto a los demás, tal y como se ha comentado. La disposición de estos puntos informan de la ausencia de una posible influencia por parte de la variabilidad del Mn de la balsa. Esto es así, debido a que no están ordenados según la distancia. Si existiese un solo foco de Mn (en realidad existen como mínimo dos: el río y la balsa) los puntos de muestreo deberían estar ordenados según la distancia.

Por lo tanto, a la vista de estos resultados se concluye que no existe influencia por parte de las variaciones de Mn de la balsa en la concentración de este elemento en las aguas subterráneas.

7. INFLUENCIA DE LOS SEDIMENTOS EN EL EQUILIBRIO DE LOS FOSFATOS.

Los sedimentos juegan un papel muy importante en los procesos de eutrofización porque debido a las condiciones físico-químicas de la balsa de agua, éstos pueden actuar como liberadores de materias nutritivas o pueden servir para almacenar éstas mediante previa precipitación. Cuando las condiciones de la masa de agua son anóxicas se liberan fosfatos, y al contrario, en condiciones de buena oxigenación los fosfatos precipitan.

En esta balsa se han realizado los análisis pertinentes de sedimentos para intentar averiguar la capacidad de adsorción de los fosfatos (PAC) por parte de los sedimentos mediante la comparación con otros datos obtenidos de la bibliografía [12]. La PAC de los sedimentos lo que indica es el grado en que, una vez precipitado el fosfato mediante algún procedimiento, éste no se vuelve a redissolver, precisamente porque los sedimentos en función de su composición tienen una determinada capacidad de retención.

En el apartado 5.4.2. de este volumen se demuestra como el fósforo total en disolución depende de las concentraciones de Ca^{2+} y de Fe, siendo la forma principal del Fe el Fe^{2+} . También que el equilibrio del PO_4^{3-} depende en una gran parte del Fe^{2+} . En consecuencia es posible controlar la concentración de fósforo total en disolución mediante la adición de sales de Ca^{2+} y de Fe^{2+} o de Fe^{3+} . Si se añade Fe^{2+} es necesario que las condiciones de la

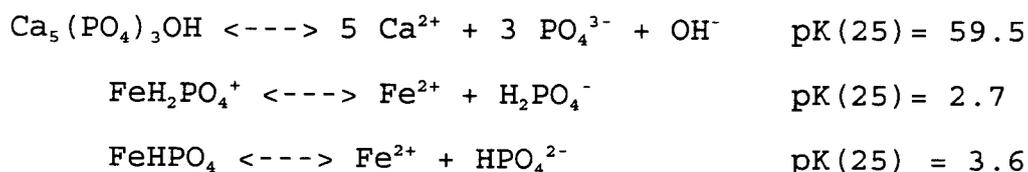
balsa sean relativamente favorables debido a que si se mantienen las condiciones anaeróbicas durante bastante tiempo la sal formada, $(\text{PO}_4)_2\text{Fe}_3 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$ vivianita [138, 139], es más soluble que la férrica pudiendo redisolverse. Si se añade Fe^{3+} y las condiciones son las mismas que la anterior, este catión se podría reducir pasando a sal ferrosa, corriendo el mismo peligro de redisolución. Por lo tanto, en general, es aconsejable la oxigenación de las aguas mediante aireación o disminución del tiempo de retención de éstas, unido a la adición de productos químicos.

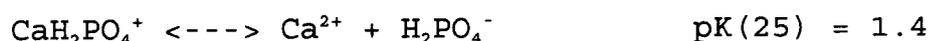
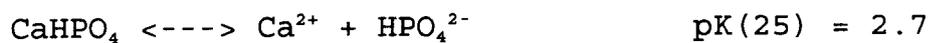
La reacción de formación de la vivianita es la siguiente:



En nuestro caso, sería aconsejable la adición de Fe (ferroso o férrico) junto a una sal de Ca^{2+} (CO_3Ca). Como la balsa es de tamaño reducido y el régimen de vientos es bastante fuerte (aireación), y se emplean sus aguas para el riego, existe una renovación de las aguas mediante la lluvia o el flujo del río, no siendo necesario una ayuda adicional.

Otros posibles mecanismos de precipitación en la masa de agua pueden ser:





La PAC por parte de los sedimentos depende en su mayor parte del contenido en Fe orgánico y en menor medida de la cantidad de materia orgánica existente en los sedimentos, medida como PPC (Pérdida Por Calcinación). Los datos de que disponemos forman parte de un estudio de control y de gestión de la eutrofización de un conjunto de 7 embalses del este de Inglaterra [12], se discuten diversas opciones para el control artificial del intercambio de los fosfatos sedimentos-agua.

Es necesario aclarar que no se analizó la PPC según el método seguido en [12] debido a que no se pudo encontrar la bibliografía necesaria. Por lo tanto, los resultados que aquí se ofrecen solo se pueden considerar como aproximados.

La comparación de los datos conseguidos en la balsa con los del trabajo comentado, (figura 76), indica que el comportamiento de la balsa podría ser bastante parecido al de los embalses ingleses.

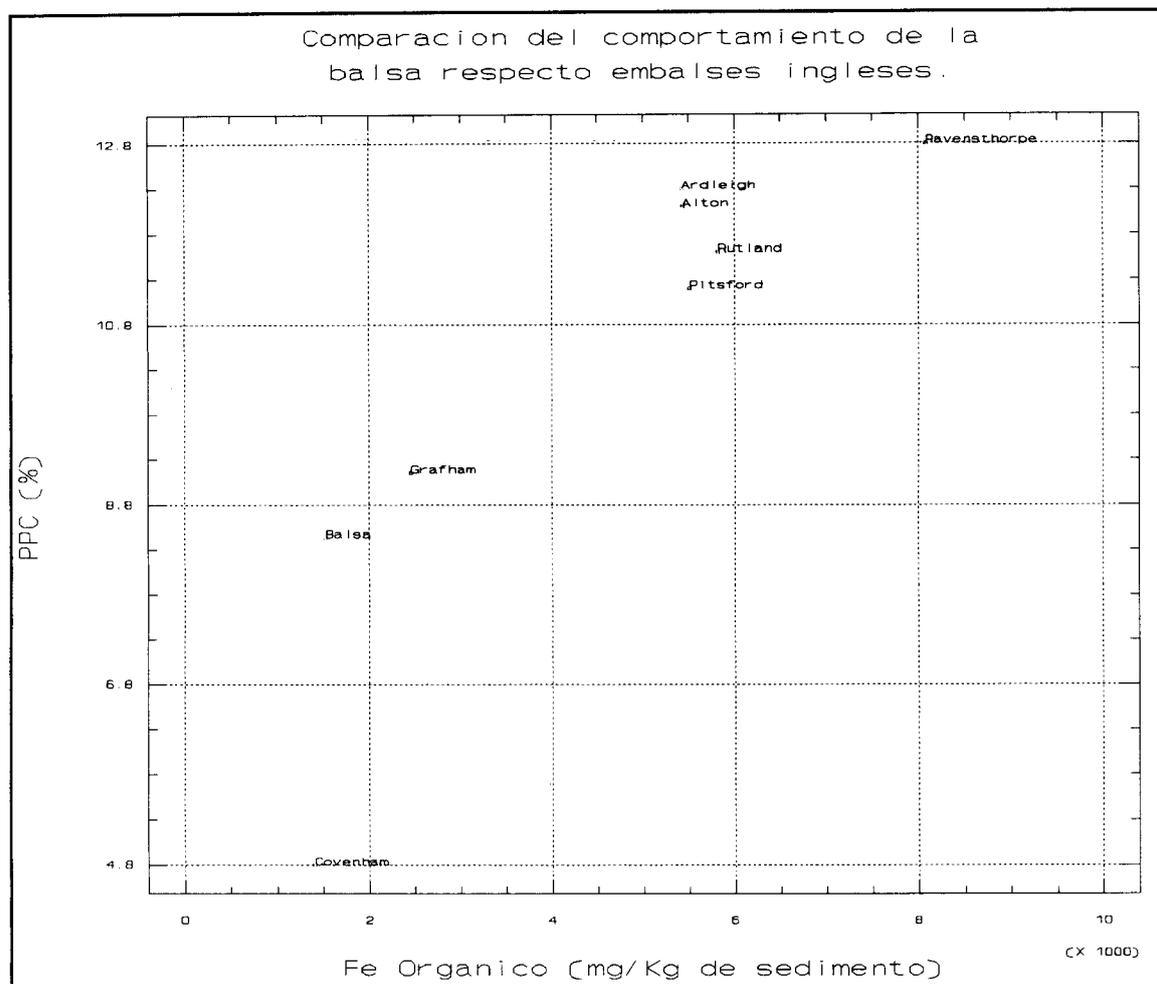


Figura 76. Comparación de la balsa con respecto a los embalses ingleses.

En el trabajo mencionado, no se ha encontrado la expresión que liga PAC con el Fe orgánico y la PPC, parámetros que forman el modelo, pero con los datos experimentales y la posición que ocupa la balsa con respecto a los embalses se estima que la PAC de la balsa debe ser de alrededor del 25 %, es decir, por cada 100 g. de PO_4^{3-} precipitados, 25 g. se adsorberían en los sedimentos y el resto volverían a redisolverse.

Como parece ser que la balsa mantiene una fuerte relación

entre los parámetros estudiados, el tratamiento que se aconseja para el control del fosfato en estos embalses se puede aplicar a la balsa estudiada. Este tratamiento consistiría en unas condiciones físico-químicas de la balsa basadas en mantener baja la temperatura (realizar el tratamiento en invierno), bajo pH, alto contenido en oxígeno, aumentar el contenido en Fe de los sedimentos y precipitación del fosfato por medio de Fe^{2+} o Fe^{3+} inducida con CO_3Ca .

8. ANALISIS DEL FITOPLANCTON.

Cuando existen procesos eutróficos en una masa de agua suelen aparecer una serie de cambios en la composición del fitoplancton. En general, desde un estado oligotrófico a otro eutrófico se sustituyen diversas especies propias del anterior al de éste, y además disminuye el número de especies existentes en la masa de agua.

En nuestro caso, el estudio se ha realizado a lo largo de un año, por lo que no se pueden observar los cambios anteriormente citados, pero sí es posible comentar el predominio de ciertas especies debido al nivel trófico en el que se encuentra la balsa.

Se ha demostrado experimentalmente que altas relaciones nitrógeno total/fósforo total (NT:PT), favorece el desarrollo de las clorofitas (algas que no fijan el nitrógeno) y que las bajas relaciones favorecen a las cianofíceas, que sí fijan el

nitrógeno. Por otra parte, también se ha constatado que en las masas de agua eutróficas predominan las diatomeas [141, 142] y que además la presencia de estas algas puede acelerar los procesos de precipitación del PO_4^{3-} cuando se busca reducir la concentración de esta sustancia en disolución [127].

En la figura 77, aparece la distribución de los principales grupos de algas. En la balsa predominan por encima de los demás las diatomeas, que alcanzan su máximo desarrollo en otoño y las cianofíceas. La presencia de las diatomeas sugiere la existencia de eutrofización de las aguas, y de las cianofíceas la presencia de una relación NT:PT relativamente baja. Lógicamente es en primavera-verano donde existe mayor diversidad de grupos y de géneros de fitoplancton y en otoño la concentración de diatomeas aumenta espectacularmente. Como parece que el predominio de estas últimas favorece la precipitación del PO_4^{3-} y en esta balsa es el grupo más abundante, sería aconsejable en el caso de decidir una política de reducción del fosfato el inicio del tratamiento en los meses de otoño.

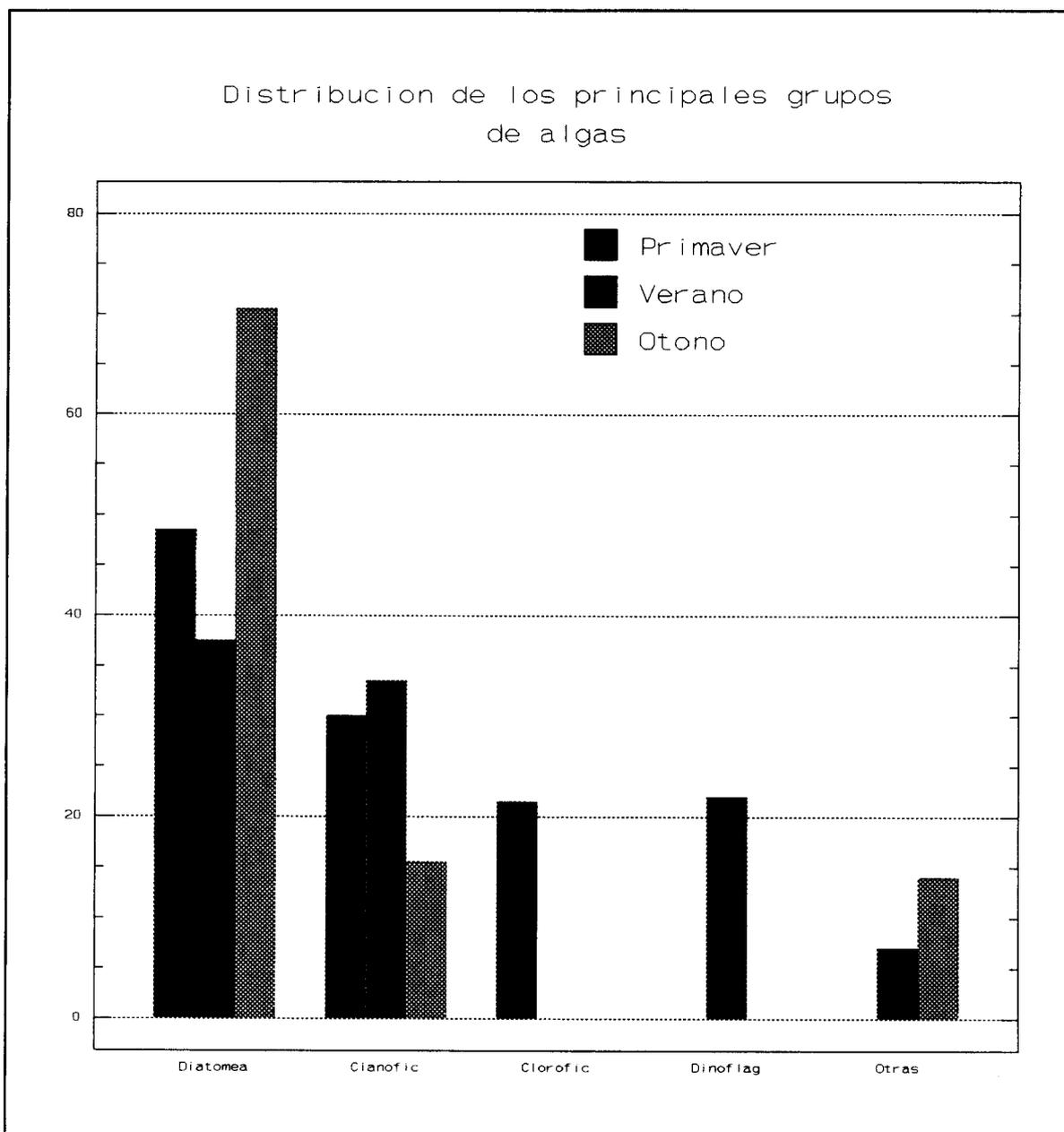


Figura 77. Distribución de los principales grupos de algas.

9. CONCLUSIONES.

9.1. Clasificación de las balsas en España.

La clasificación se ha realizado considerando dos factores de primordial incidencia sobre el estudio:

1. Qué balsas pueden dar lugar a problemas de infiltración.
2. Qué balsas pueden desarrollar procesos eutróficos.

El análisis estadístico ha dado como resultado la definición de dos grupos de balsas con las siguientes características:

- Grupo 1.

Balsas asentadas sobre el terreno sin ninguna preparación previa, con una alta permeabilidad del recubrimiento de la balsa y sobre terreno de fácil accesibilidad.

- Grupo 2.

Balsas implantadas en terrenos sin ninguna preparación, con una permeabilidad media del recubrimiento de la balsa, con una profundidad mayor de 1m. y situadas predominantemente en vaguada.

Según el proyecto de la OCDE, si la profundidad de la balsa es menor de 1m. el desarrollo de la eutrofización puede estar controlado por la luz y no por las sustancias nutritivas, fósforo y nitrógeno, que puedan existir en la balsa o en sus alrededores. Por este motivo, parece evidente que el estudio debe centrarse en las balsas clasificadas como grupo 2.

9.2. Eutrofización.

- Utilizando el Análisis de la Correlación Canónica, se ha obtenido un modelo matemático de eutrofización que relaciona la concentración de clorofila-a con las concentraciones en nitratos, nitritos, fosfatos y la relación Mn/Fe.

Las variables que participan en el modelo son las que explican la mayor parte de la variabilidad de la clorofila, por lo que para producir cualquier variación sobre la concentración de clorofila será necesario actuar sobre estas variables.

El modelo obtenido es el siguiente:

$$\text{CHL-A} = 5.075 + 3.868 \cdot \text{VC}$$

Siendo:

CHL-A: clorofila-a.

VC: Variable canónica normalizada de las variables independientes. Antes de aplicar el modelo es necesario normalizar las variables.

$$\text{VC} = -0.501 \cdot \text{NO}_3^- + 0.301 \cdot \text{PO}_4^{3-} - 0.829 \cdot [\text{Mn/Fe}] + 1.455 \cdot \text{NH}_4^+$$

- Mediante el estudio de los equilibrios, y el predominio de las formas de nitrógeno y fósforo total, se obtiene la forma de reducir la concentración de estas sustancias nutritivas

actuando sobre sus equilibrios químicos correspondientes.

9.3. Estudios complementarios.

Se realizaron análisis de los sedimentos de las formas adsorbibles de Fe, Mn y Al, y del fitoplancton para intentar conocer su variabilidad estacional, ya que:

1. Los sedimentos juegan un papel importante cuando se actúa contra las sustancias nutritivas mediante precipitación. Una vez precipitados los fosfatos, es necesario que éstos no se redisuelvan para que no vuelvan a estar biológicamente disponibles. Según la composición química de los sedimentos, en sus formas adsorbibles, la capacidad de adsorción de los fosfatos (PAC) por parte de los sedimentos será mayor o menor.

2. Según la OCDE la precipitación de los fosfatos se puede acelerar mediante la presencia de diatomeas. Por esta razón, es recomendable realizar este tipo de estudios para averiguar que estación del año es la de mayor contenido en estas algas.

Los resultados de todos estos estudios dan lugar a las siguientes recomendaciones:

* Precipitación de los fosfatos mediante sales de hierro y adición de CaCO_3 .

* Inicio del tratamiento en otoño-invierno.

* Si no existen diatomeas sería recomendable el sembrado de éstas como tratamiento biológico.

9.4. Influencia de la eutrofización sobre las aguas subterráneas.

Las consecuencias fundamentales que se desprenden del estudio, son las siguientes:

1. Solamente el aumento de las concentraciones de Fe y Mn puede afectar a la calidad de las aguas subterráneas.

2. En el intervalo estudiado de clorofila-a no existe influencia de la eutrofización sobre la calidad de las aguas subterráneas.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS.

La revisión bibliográfica correspondiente a artículos, se ha realizado desde 1980 hasta la actualidad.

(*) Indican referencias.

1. Riley, Michael J.; Stefan, Heinz G.; "MINLAKE: a dynamic lake water quality simulation model". Ecoll. Modell. 1988, 43(3-4), 155-82.

*2. Hosomi, Masoaki; Sud, Ryuichi; "Development of an ecological model of Lake Yunoko and assement of eutrophication control programs using the ecological model". Kokuritsu Kogai Kenkyusho Kenkyu Hokoku". 1988, 117, 87-111.

3. Spiller, Gary B.; Auclair, Allan N.D.; "A mathematical model of seasonal and spatial variation in phosphorus concentrations in Lake Memphremagog, Quebec". Ecoll. Modell. 1986, 34(3-4), 143-166.

4. Nishida, N.; Hiratsuka, S.; Tanaka, T.; Okino, T.; "An interactive algorithm for the parameter estimation of complex systems and its applications to an ecological modelling of an actual Japanese Lake". Ecoll. Modell. 1986, 32(1-3), 85-93.

5. Kutas, Tibor; Herodek, Sandor; "BEM: a complex model for simulating the lake Balaton ecosystem". IIASA Collab. Proc. Ser.

1983, CP-83-53, 257 - 272.

6. Antonios, Medhat Naguib; "Input-Output analysis of Mathematical models of ecosystems". Diss. Abstr. Int. B. 1983, 43(9), 2922.

7. Jorgensen, S.E.; Kamp-Nielsen, L.; Mejer, H.F.; "Comparison of a simple and a complex sediment phosphorus model". Ecoll. Modell. 1982, 16(2-4), 99-124.

8. "Modelo matemático de simulación y control de la calidad del agua para embalses". Barcelona: [s.n.], 1989 XIV,

9. Bas, Zubeyde; Oguz, Mustafa; "Statistical Eutrophication modelling of the lakes in Sparta and its environs". Int: J. Environ. Stud. 1990, 36(4), 285-302.

*10. Nagafuchi, Osamu; Murata, Atsuko; "Studies on eutrophication in Rikimaru reservoir. Relation between C.O.D. and the standing crop of algae". Suishitsu Odaku Kenkyu 1989, 12(11), 707-714.

11. Lammens, Eddy H.R.R.; "The relation of biotic and abiotic interactions to eutrophication in Tjeukemeer, The Netherlands." Hydrobiologia, 1990, 191, 29-37.

12. Redshaw, C.J.; Mason, C.F.; Hayes, C.R.; Roberts, R.D.; "Factors influencing phosphate exchange across the sediment-water interface of eutrophic reservoirs". Hydrobiologia, 1990, 192 (2-

3), 233-245.

13. Yoshimi, Hiroshi; "Simultaneous construction of single-parameter and multiparameter trophic state indexes". *Water. Res.* 1987, 21(12), 1505-1511.

14. Hunsaker, C.T.; Christensen, S.W.; Beauchamp, J.J.; Olson, R.J.; Turner, R.S.; Malanchuk, J.L.; "Empirical relationships between watershed at tributes and headwater lake chemistry in the Adirondack region". *Energy Res. Abstr.* 1987, 12(19), Abstr. No. 39614.

15. "Eutrophication model of the Venice Lagoon: statistical treatment of "in-situ" measures of phytoplankton growth parameters". *Ecoll. Modell.* 1987, 37(1-2), 103-30, vol. 107.

16. Smith, R.V.; Jordan, C.; Stewart, D.A.; "The application of empirical modeling to eutrophication management in Lough Neagh". *Pap. Int. Conf. Water Qual. Modell. Inland. Nat. Environ.*, 1st 1986, 309-324.

*17. Berdatseva, L.B.; Lebedev, Yu. M.; "Time dependent and spatial characteristics of the transformation of organic matter in the Mozhaiskn Reservoir". *Vodn. Resur.* 1986, (2), 118-24.

18. Henderson-Sellers, B.; "The relative significance of various physicochemical factors in limnological eutrophication studies". *IAHS-AISH Publ.* 1985, 153, 127-138.

19. Meglen, Robert R.; Sistko, Roberts, J.; "Evaluating data quality in large data bases using pattern-recognition techniques". ACS Symp. Ser. 1985, 292 (Environ. Appl. Chemometrics), 16-33.
20. Gilliom, Robert J.; "Relationships between water quality and phosphorus concentrations for Puget Sound region lakes". Water Resour. Bull. 1984, 20(3), 435-442.
- *21. Li, Zuoyong; Deng, Xinmin; Hong, Jihua; "Application of PCA in comparison to eutrophication assessment of lakes". Huanjing Kexue Xuebao, 1990, 10(3), 311-317.
- *22. Skopintsev, B.A.; "Chemical and biochemical indexes of the eutrophication of reservoirs". Vodn Resur. 1979, (4), 43-50.
- *23. Kaminskii, V.S.; "Methods of slowing down and eliminating the eutrophication process". Vodn. Resur. 1979, (4), 51-63.
24. Foissner, Wilhelm; "Ecological and systematics studies on the Neuston of Alpine pools, with special regard to ciliates". Int.Rev. Gesamten Hydrobiol. 1979, 64(1), 99-140.
25. Thomas, E. A.; "The reaction of lake Zurich to waste purification". Ing. Ambientale Inquinamento Depurazione, 1978, 7(6), 740-744.
26. Lijklema, L.; Peeters, J.C.H.; "Comparative studies on eutrophication in large scale- model reservoirs". Environ Sci.

Appl. 1978, 603-615.

27. Blake, G.; Gentil, S.; "A discrete lake model and its sensitivity study". Environ Sci. Appl. 1978, 7, 527-544.

28. Kothandaraman, V.; Evans, Ralph L.; "Nutrient budget and its critical evaluation for the Fox Chain of lakes [Illinois]". Trans. Ill. State Acad. Sci. 1978, 71(3), 273-285.

29. Benndorf, J.; Recknagel, F.; "Experiments with a dynamic ecological model of the free-water region of reservoirs and lakes". Acta Hydrochim. Hydrobiol. 1979, 7(5), 473-490.

*30. Kodama, Takenori; Yoshimoto, Kenji; "Relation between detergent and eutrophication". Kogai to Taisaku, 1979, 15(11), 1467-1472.

31. Hartikainen, Helina; "Phosphorus and its reactions in terrestrial soils and lake sediments". J. Sci. Agric. Soc. Finl. 1979, 51(8), 537-624.

32. Straskraba, M.; Desortova, B.; Fott, J.; "The methodology for determination and estimation of chlorophyll-a in surface waters". Acta Hydrochim. Hydrobiol. 1979, 7(6), 569-90.

33. Orlando, P.; Garaventa, G.; Coppola, R.; "Eutrophication of water in an artificial lake in Liguria". G. Ig. Med. Prev. 1979, 20(1-2), 79-97.

34. "Phosphorus and nitrogen balance of the eutrophic lake Tuusulanjarvi [Finland]". Vesientutkimuslaitoksen Julk. 1979, 34, 74-87.

*35. Sudo, Ryuichi; "Effect of eutrophication and its prevention". Kagaku Gijutsushi MOL, 1980, 18(7), 44-50.

36. Jones, R. Anne; Lee, G. Fred.; "Application of US OECD eutrophication study results to deep lakes". Prog. Water Technol. 1980, 12(2), 81-88.

*37. Trifonova, I.S.; "Changes in the structure and productivity of phytoplankton as an index of eutrophication". Evtrofirovanie Mezotrofnogo Oзера (Matewr Mngoletnitkn Nabl. Oz. Krasnom". 1980, 59-77.

38. Bachmann, Roger W.; "The role of agricultural sediments and chemical in eutrophication". J.-Water Pollut. Control. Fed. 1980, 52(10), 2425-2431.

39. Berhardt, Heinz; "Recent development in the field of eutrophication prevention". Z. Wasser Abwasser Forsch. 1981, 14(1), 14-26.

40. Leentvaar, P.; "Eutrophication, nature, management, and the role of potassium". Hydrobiol. Bull. 1980, 14(1-2), 22-29.

41. Hoare, P.A.; "The sensitivity to phosphorus and nitrogen

loads, of lake Rotorua, New Zealand". *Water Sci. Technol.* 1981, 13(2), 897-904.

42. Yoneda, Shigeo; "Mechanism of leakage of fertilizer composition by underdrainage. Evaluation of eutrophication by fertilizers". *Nogyo Oyobi Engei* 1981, 56(4), 533-535.

43. Medine, Allen J.; Porcella, Donald B.; "Eutrophication". *J. Water Pollut. Control. Fed.* 1982, 4(16), 770-778.

44. Mueller, David K.; "Mass balance model estimation of phosphorus concentrations in reservoirs". *Water Resour. Bull.* 1982, 18(3), 377-382.

45. Barroin, G.; Blanc, P.; Chassaing, B.; Olive, P.; Pelletier, J.P.; "Water quality of Lake Lemman". *Eau. Que.* 1982, 15(2), 154-157.

46. Elster, Hans Joachim; "Recent studies on the eutrophication and restoration of lake Constance". *GWF, Gas-Wasserfach: Wasser/Abwasser* 1982, 123(6), 277-287.

47. Nusch, Ernst A.; "Problem of critical nutrient loading of impounded flowing waters. limits of the input-output models for lakes and reservoirs". *Z. Wasser Abwasser Forsch.* 1982, 15(3), 103-112.

48. Ambuehl, Heinz; "Measures to control eutrophication in Swiss

midland lakes". Z. Wasser Abwasser Forsch. 1982, 15(3), 113-120.

49. Manczak, Henryk; Szymanska, Helina.; "Diffused type pollution control for catchment areas of rivers used to provide drinking water". Aqua Sci. Tech. Rev. 19982(5), 479-484.

50. Ambuehl, H.; "Phosphates and water, present status and future prospects". Wasser'81, 1981,1, 375-399.

51. Sigfried, Clifford A.; "Phosphorus loading to a mountain reservoir in Southern California". Water Resour. Bull. 1982, 18(4), 613-620.

52. Ambuehl, H.; "Phospates and water protection. Studies on the eutrophication of Alpine border lakes". Seifern, Oele, Fette, Wachse 1982, 108(15), 453-459.

*53. Rismal, Mitja; "Limnologic models in the study and control of lake and water reservoir eutrophication". Vodoprivreda 1982, 14(78-79), 391-393.

54. Kilham, Peter; "Acid precipitation: its role in the alkalization of a lake in Michigan". Limnol. Oceanogr. 1982, 27(5), 856-867.

*55. Milius, A.; "Eutrophication parameters and trophic state indexes in small Estonian Lakes". Eesti NSV Tead: Akad. Toim. Biol. 1982, 31(4), 302-309.

56. Grimard, Y.; Jones, H. G.; "Trophic upsurge in new reservoirs: a model for total phosphorus concentrations". Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1982, 39(11), 1473-1483.

57. Lambon, Victor W.; Hern, Stephen C.; Taylor William D.; "Chlorophyll, phosphorus, Secchi disk, and trophic state". Water Resour. Bull. 1982, 18(5), 807-813.

58. Jones, R. Inne; Lee, G. Fred.; "Recent advances in assessing impact of phosphorus loads on eutrophication related water quality". Water. Res. 1982, 16(5), 503-515.

59. Fahrni, Hans Peter; "Loading capacity of lakes". Gas, Wasser, Abwasser. 1982, 62(3), 122-134.

60. Stabel, Hans Hennning; "The role of phosphorus in the material cycling of lake Constance". Prax. Naturwiss., BId. 1982, 31(11), 330-336.

61. Walker, William W. Jr.; "Significance of eutrophication in water supply reservoirs". J. Am. Water Works Assoc. 1983, 75(1), 38-42.

*62. Kumashiro, Kazuo; Yamamoto, Hirokatsu; Shimizu, Mitsuo; Ohnishi, Noboru; Hata, Hiroshi; "Eutrophication of Kojima Lake". Okayama-Ken Kankyo Hoken Senta Nenpo". 1982, 6, 2215-218.

63. Kettanen, Juhani; "Model for a eutrophic Finnish lake-a case

study". *Aqua Fenn.* 1981, 11, 49-54.

*64. "Evaluation of five lakes in Fuji by trophic state index". *Yamanashi-Kenritsu Eisei Kogai Kenkyusho Nempo*, 1981, 25, 27-29.

65. "The characteristics of ammonium and nitrate uptake by phytoplankton in lake Kinneret". *Limnol. Oceanogr.* 1984, 29(2), 287-297.

66. Georgieva, V.; Milanova, Ts.; "Role of phosphorus in bloom and eutrophication of a water body". *Priroda (Sofia)*, 1983, 32(6), 28-33.

67. De Ruiter, M.A.; "Practical aspects of combatting eutrophication" *Chem. Mag. (Rijswijk, Neth.)* 1984, (April), 237-241.

68. Hoogweg, P.H.A.; Hosper, S.H.; "Policy in combatting eutrophication". *Chem. Mag. (Rijswijk, Neth.)* 1984, (April), 217-219.

69. Mericas, C.E.; Malone, R.F.; "Stochastic representation of a hiper-eutrophic lake". *J. Environ. Eng. (N.Y.)* 1984, 110(2), 312-324.

70. "Methods of assessing the trophic state of lakes and reservoirs". *Water Sci. Technol.* 1984, 16 (5-7), 653-662.

*71. Zhang, Shuiyuan; Lui, Quxia; Huang, Yaotang; "Main sources of nitrogen and phosphorus in Lake Donghu, Wuhan [China]". Haiyang Yu Huzbao, 1984, 15(3), 203-213.

72. "A linked hydrodynamic and biogeochemical model of eutrophication in lake Balaton". Dev. Environ. Modell. 1983, 5 (Anal. Ecol. Syst.), 837-843.

*73. Milius, A.; "Determination of the trophic state of small lakes by total phosphorus concentration in the spring". Eesti NSV. Tead. Akad. Toim., Biol. 1984, 33(3), 198-203.

74. Walmsley, R.D.; Thorton, J.A.; "Evaluation of OECD-type phosphorus eutrophication models for predicting the trophic status of Southern African man-made lakes". S. Afr. J. Sci. 1984, 80(5), 257-259.

75. Gilliom, Robert J.; "Relationships between water quality and phosphorus concentrations for Puget Sound region lakes". Water Resour. Bull. 1984, 20(3), 435-442.

*76. "Evaluation of policy instruments for measures for prevention of eutrophication of lake Kasumigaura". Kokuritsu Kogai Kenkyusho Kenkyu Hokoku 1984, 55, 75-94.

77. Bowles, B.A.; "Physical factors and eutrophication". Aust. Water Resour. Counc. Conf. Ser. 1983, 7, 7-43.

78. Cullen, Peter; "Sources of nutrients to aquatic ecosystems". Aust. Water Resour. Counc. Conf. Ser. 1983, 7, 44-57.

*79. Vordanyan, T.T.; Darvinyan, O.A.; Mikhoyan, L.P.; Mkhitaryan, L.P.; "Inflow of mineral nitrogen and phosphorus into Lake Sevan with the waters of its tributaries and atmospheric precipitations". Biol. Zh. Arm. 1984 37(7), 564-569.

80. Voinov, A.A.; Yu, M.; "A minimal model of eutrophication in fresh water ecosystems". Ecoll. Modell. 1984, 23(4), 277-292.

81. Nuernberg, Gertrud; Peters, Robert H.; "The importance of internal phosphorus load to the eutrophication of lakes with anoxic hypolimnia", Verh.- Int. Ver. Theor. Angew. Limnol. 1984, 22(1), 190-194.

82. Janus Lorraine L; Vollenweider, Rich.; "Phosphorus residence time in relation to trophic conditions in lakes". Verh.-Int. Ver. Theor. Angew. Limnol. 1984, 22(1), 179-184.

83. Cordella, P.; Paganelli, A.; Cappelletti, E.M.; Trevisan, R.; "Primary production and chlorofill-a in the central zone of lake Iseo". Mem. Ist. Ital. Idrobiol. Dott. Marco de Marchi. 1982, 40, 99-112.

*84. Watanabe, Yoshio; "Methods for water quality preservation". Suishitsu Odaku Kenkyu 1985, 8(4), 200-202.

85. Ryding, Sven Olof; "Erosion of agricultural land- a growing water quality problem in rural areas". IAHS-AIHS Publ. 1984, 150 (Hydrochem. Balances Fresh. Water Syst.), 303-311.

86. Rigouard, A.; Brandel, E.; "Technology of the introduction of pure oxygen into deep water reservoirs. Example of the Gouet-Saint-Brieuc Reservoir". Tech. Sci. Munic.", 1985, (4), 199-202.

87. Somlyódy, László; "Lake eutrophication management models". IIASA Collab. Proc. , Serv. 1983, CP-83-93, 257-272.

*88. Study of conditions of phosphorus compound transformation in the lake Balaton ecosystem in connection with its eutrophication". Vodn. Resur. 1985, (1), 131-146.

*89. Moriya, Masaru; "Water conservation research from now. One administrator's desire". Suishitsu Odaku Kenkyu. 1985, 8(4), 212-214.

90. Kauppi, L.; "The contribution of agricultural loading to eutrophication in Finnish Lakes". Water Sci. Technol. 1985, 17(6-7), 1133-1140.

91. Bogardi, I; Walker, W.W.; Kuhner, J.; "Assessing the water quality impacts of agricultural practices: some methodological comparisons". IIASA Collab. Proc. Ser. 1983, CP-83-51, 243-262.

92. Jenq, Tzay Rong; Vchrin, Christopher G.; Granstrom, Marvin

L.; Hsueh, Shing Fu; "A phosphorus management model for lake Carnegie". Dev. Environ. Modell. 1983, 5, Anal Ecol. Syst. 601-608.

93. Rott, E.; "Phytoplankton as biological parameter for the trophic characterization of lakes". Verh.-Int. Ver. Theor. Angew. Limnol. 1984, 22(2), 1078-1085.

94. Lennox, L.J.; "Sediment-water exchange in Lough Ennell with particular reference to phosphorus". Water. Res. 1984, 18(12), 1483-1485.

95. Stabel, H.H.; "Impact of sedimentation on the phosphorus content on the euphotic zone of lake Constance". Verh.-Int. Ver. Theor. Angew. Limnol. 1984, 22(2), 964-999.

96. Sincero, Arcadio P.; "Eutrophication control and the fallacy of nitrogen removal". Pollut. Eng. 1984, 16(11), 33-36.

97. Ortiz Casas, J.L.; Peña Mtinez, R.; "Applicability of the OECD eutrophication models to spanish reservoirs". Verh.-Int. Ver. Theor. Angew. Limnol. 1984, 22(3), 1521-1535.

98. Kauppi, Lea; Niemi, Maarit; "The role of run-off water phosphorus in eutrophication". Vesientutkimuslaitoksen Julk. 1984, 57, 41-51.

99. Van Stratten, Gerrit; "Lake eutrophication models". IIASA

Collab. Proc. Ser. 1983, CP-83-93.

100. Hanisch, Baldefrid; "Advances phosphorus removal in the Lake Constance Area". Stuttg. Ber. Siedlung-wasserwirtsch. 1986, 90, 53-66.

101. Teruggi, S.; Vendegna, V.; "Ecological models as support systems to decisions in lake management planning". Sci. Total Environ. 1986, 55, 261-273.

102. Rosenberg, Diane B.; Freedman, Stephen M.; "Succession theory, eutrophication and water quality management". Int. J. Environ. Stud. 1986, 28(2-3), 109-121.

103. Toth, Vilmos; Noszmuller, sandor; Gyepes, Jozsef.; "Eutrophication control and elimination in surface waters". Hung. Teljes HU 36,056. 1985.

104. Bostroem, Bengt; Ahlgrem, Ingemar; Bell, Russell. "Internal nutrient loading in a eutrophic lake, reflected in seasonal variations of some sediments parameters". Verh.-Int. Ver. Theor. Angew. Limnol. 1985, 22(5), 3335- 3339.

105. Koster, E.L.C.; White, P.L.; Hogendoorn-Roozmond; "Lake Naarden conservation strategy: supply water treated in special phosphorus-removal unit". Water Sci. Technol. 1985, 17(8), 1495-1497.

106. Henderson Sellers, B.; "Relative significance of various physicochemical factors in limnological eutrophication studies". IAHS-AIHS Publ. 1985, 153, 147-238.

107. Malatati, Mounir A.; Fox, Ian.; "A review of the role of bed deposits in the phosphate eutrophication of lake and rivers". Int. J. Environ. Stud. 1985, 26(1-2), 43-54.

*108. Khrisanov, N.I.; Dushenkova, G.A.; "Modeling of biogenic loading from agricultural watersheds in the Ladoga basin". Vodn. Resur. 1986, (5), 137-146.

109. Mientki, Czeslaw; "Effect of removing hypolimnion waters on thermal and oxygen conditions and the content of nitrogen and phosphorus in water of lake Karlowskie". Acta Acad. Agric. Tech. Olstenensis: Prot. Aquarum Piscatoria 1986, 14(Suppl. A), 53 pp.

*110. Takado, Tokio; "Eutrophication of water". Kagaku Gijutsushi MOL 1986, 24(10), 69-73.

*111. Pirozhkova, G.P.; "Dynamic of organic phosphorus and characteristics of the nature of organic matter of the lake Onega water". Org. Veshchestvo Biog. Elem. Vodakh Karelii 1985, 30-51.

*112. Mori, Kazutaka; Yamamoto, Akihiro; "Improvement of soil retention of nitrogen and phosphorus". Japan Kokai Tokkyo Koto Jp 61,264,088. [86 264, 088] (Cl. C09K17/00), 21 Nov. 1986, Appl. 854/103, 994, 17 May 1985, 5 pp.

113. Pinter, j.; Somlyodi, L.; "Optimization of regional water quality monitoring strategies". *Water Sci. Technol.* 1987, 19(5-6), 721-727.

114. Kloetzli, Frank. "Oligotrophic wetlands in a eutrophicated area. Increase in the human-related discharge of nutrients (nitrogen, phosphorus)". *G. Bot. Ital.* 1987, 121, (1-2), 101-120.

*115. Fiala, Ladislav; Grau Petr.; Farkac, Jiri; "Relation of the trophic potential to total phosphorus and nitrogen". *Vodni Hospod. B* 1987, 37(11), 301-307.

116. Kutas, Tibor; Herodek, Sandor; "Effects of load reductions on the water quality of a large shallow lake". *Ecoll. Modell.* 1987, 39(1-2), 85-99.

117. Kauppi, Lea; Kenttamies, Kaarte; Puomio, Eeva Riitta; "Effect of nitrogen and phosphorus removal from sewage on eutrophication of lakes". *Vesientutkimuslaitoksen Julk.* 1986, 69, 70-87.

*118. Lola, M.V.; Akhmet'eva, N.P.; Grigoriev, V.T.; Lakhtyuk, R.A.; "Soils levels of nutrients and their effects on the eutrophication of water reservoirs". *Vodn. Resur.* 1988 (6), 108-116.

119. Ahl, Thorsten; "Background yield of phosphorus from drainage area and atmosphere: and empirical approach". *Hydrobiologia* 1988,

170, 35-44.

120. Kerekes, Joseph J.; Blouin, Anthony C.; Beauchamp, Stephen T.; "Trophic response to phosphorus in acidic and non-acidic lakes in Nova Scotia, Canada". *Hydrobiologia* 1990, 191, 105-110.

121. Szylagyi, Ferenc; Somlyódy, László; Koncsos, László; "Operation of the Kis-Balaton reservoir: evaluation of nutrient removal rates". *Hydrobiologia* 1990, 191, 297-306.

122. Lijklema, Lambertus; Jansen, Jan H.; Roijackers, Rudi M.M.; "Eutrophication in the Netherlands". *Water Sci. Technol.* 1989, 21(12), 1899-1902.

123. "Light Limited algal growth in lake Loosdrecht: steady state studies in laboratory scale enclosures". *Hydrobiologia*, 1990, 191, 241-248.

124. "Factors influencing phosphate exchange across the sediment-water interface of eutrophic reservoirs". *Hydrobiologia* 1990, 192(2-3), 233-245.

125. Sas, H.; "Lake restoration by reduction of nutrient loading: expectations, experiences, extrapolations". *Verh.-Int. Ver. Theor. Angew. Limnol.* 1989 (Pub. 1990), 24(1), 247-251.

126. Osgood, Richard A.; Stiegler, Jonathan E.; "The effects of artificial circulation on a hyper-eutrophic lake". *Water Resour. Bull.* 1990, 26(2), 209-217.

127. "Eutrophisation des eaux: methodes de surveillance, d'évaluation et de lutte". OCDE, 1982.
129. "Aplicación de filtro de Kalman a un modelo de variación diaria de oxígeno disuelto". Anales de Química, vol 84, 89-92. 1988.
130. Marchetti, Roberto. "L'eutrofizzazione: un processo degenerativo delle acque." Milano: Franco Angeli, cop. 1987.
131. Valero, Emilio; "La legislación europea del medio ambiente: su aplicación en España". Ed. Colex, 1990.
132. Gómez Martos, María; Ocaña Robles, Luis y Navarro Iánez, Juan Antonio. "Metodología para la evaluación del impacto causado por la contaminación atmosférica sobre las aguas subterráneas".
133. Izco, Jesús. "Madrid Verde". Comunidad de Madrid, 1984.
134. "La naturaleza de Madrid". Comunidad de Madrid. Consejería de Agricultura y Ganadería. Ed. Consejería de Agricultura y Ganadería de la Comunidad de Madrid. Dirección General del Medio Rural. 1987.
135. Lacalle Pareja, B. y González García P. "Producción y transporte de nutrientes debidos a la ganadería de la cuenca del embalse de Pinilla (Comunidad de Madrid). Influencia sobre el control de eutrofización de sus aguas". IV Congreso de Geoquímica de España. 1991.
136. "Mapa de vulnerabilidad a la contaminación de los mantos acuíferos: de la España Peninsular, Baleares y Canarias". Instituto Tecnológico y Geominero de España. 1976.
137. "La contaminación de las aguas subterráneas". Unidades Temáticas Ambientales. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. 1990.

138. Emerson, Steve. "Early diagenesis in anaerobic lake sediments: chemical equilibria in interstitial waters". *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1976, Vol. 40, 925-934.
139. Emerson, Steve; Widmer, Gerhard. "Early diagenesis in anaerobic lake sediments - II. Thermodynamic and kinetic factors controlling the formation of iron phosphate". *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1978, Vol. 42, 1307 - 1316.
140. McKeague, J. A.; Brydon, J. E.; Miles, N. M. "Differentiation of forms of extractable iron and aluminium in soils". ; *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 1971, Vol 35, 33 - 38.
141. Barica, J. "Seasonal variability of N:P ratios in eutrophic lakes". *Hydrobiologia*, 1990, Vol. 191, 97-103.
142. De Bernardi, R.; Giussani, G.; Manca, M.; Ruggiu, D. *Hydrobiologia* "Trophic status and the pelagic system in Lago Maggiore". 1990, Vol 191. 191, 1-8.
143. Jobson, J. D. "Applied Multivariate Data Analysis. Vol II: Categorical and Multivariate Methods". Springer Text in Statistics. 1992.
144. Hopke, P. K. "Chemometrics in Environmental Studies". Conferencia en Viena (Austria), Agosto de 1990, EUROANALYSIS VII.

ANEXOS

RELACION ATOMICA/EN PESO ENTRE EL NITROGENO Y EL FOSFORO.

La relación atómica existente en los tejidos vegetales entre el fósforo y el nitrógeno 1P:16N, equivale en peso a 1P:7.2N de la siguiente forma:

$$\text{Patm (N)} = 14.0067 \text{ g.}$$

$$\text{Patm (P)} = 30.9730 \text{ g.}$$

$$\begin{array}{ccccccc}
 1\text{P} & & 1 \text{ atm/g (P)} & & 1 \text{ atm/g} * 30.9730 \text{ g} & & 1 \text{ P} \\
 \text{-----} & <> & \text{-----} & <> & \text{-----} & <> & \text{-----} \\
 16 \text{ N} & & 16 \text{ atm/g (N)} & & 16 \text{ atm/g} * 14.0067 \text{ g} & & 7.2 \text{ N}
 \end{array}$$

Así pues:

$$\begin{array}{ccccccc}
 1\text{P} & & & & 1 \text{ P} & & & & 69 \text{ P} \\
 \text{-----} & & \text{(atómica)} & <> & \text{-----} & & \text{(peso)} & <> & \text{-----} & & \text{(peso)} \\
 16 \text{ N} & & & & 7.2 \text{ N} & & & & 500 \text{ N}
 \end{array}$$

Si se quiere actuar contra el fósforo, por cada unidad en peso de biomasa vegetal que se quiera retirar de la masa de agua, será necesario retirar una unidad en peso de fósforo. Sin embargo, si se quiere retirar biomasa actuando contra el nitrógeno, será necesario eliminar, aproximadamente, 7.2 veces más nitrógeno que fósforo, para obtener los mismos resultados.

ANEXO 2.

CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS DEL RIO JARAMA.

Temperatura:

La temperatura de las aguas superficiales sigue las oscilaciones de la temperatura del aire, como es natural amortiguadas, y en contraposición con la temperatura de las aguas subterráneas cuyo régimen térmico es prácticamente constante.

Composición química del agua de lluvia:

En este caso, el agua meteórica es el componente principal, tanto de las aguas que discurren en superficie como de las subterráneas. El agua procedente de la fusión de la nieve es un componente secundario, debido a la irregularidad de los deshielos. Por este motivo, no se consideran.

No disponiendo de información detallada de la zona del Jarama que se estudia, se han considerado como válidas en aproximación las informaciones disponibles del área metropolitana, que indican una elevada cantidad de sustancias en disolución, en especial sulfatos y otras sales disueltas. Debe tenerse en cuenta que estos datos están afectados por la contaminación metropolitana.

Quimismo del río Jarama:

El río Jarama nace en la Sierra de Navafría, a 1.200 m. de altitud. Sus aguas se caracterizan por la casi total ausencia de sales disueltas. Esto es debido a la naturaleza de los materiales adyacentes, rocas plutónicas y metamórficas con litologías de minerales muy poco solubles (variedad de silicatos).

A medida que el río se interna en el Terciario madrileño, se detecta un ligero aumento del contenido en sales, debido a la incorporación al río de cantidades importantes de aguas de escorrentía subterránea cargadas de sales que han discurrido por materiales miocenos calcoarenosos. Sin embargo, al tratarse aún de una zona de Terciario detrítico de muy moderada salinidad, el quimismo del río no se ve afectado de modo importante.

Las aguas subterráneas que pasan por la facies evaporítica del Mioceno, son notablemente portadoras de material salino, pero al tratarse de un volúmen muy pequeño el que vierte en el Jarama, tampoco son causa de aumentos de salinidad importantes. De hecho, sólo afecta a los tramos más bajos del río Jarama.

Canales.

Existe un importante canal que comienza en las cercanías de la Serna, por la margen izquierda del río. Continúa luego por la derecha del mismo y sigue un curso más o menos paralelo a el, por San Martín de la Vega y Ciempozuelos. En las proximidades de

Aranjuez, donde el Jarama vierte al Tajo, el canal sigue paralelo a este río hasta el arroyo de Guatén, tras bordear Añover de Tajo.

ANEXO 3.

VEGETACION.

La descripción de la vegetación de la zona donde se situa la balsa de estudio se va a realizar principalmente en función de la vegetación de la localidad de Arganda, San Martín de la Vega y vega del Jarama.

Una unidad corológica es aquella zona con una flora y una vegetación peculiares, pero a su vez estas unidades se pueden dividir en lo que se denominan pisos bioclimáticos. Este se define como la zona que constituye una serie de medios ecológicos que se suceden en altitud o en latitud delimitados y caracterizados por comunidades vegetales cambiantes en función de los factores climáticos. La caracterización de los pisos es fundamentalmente termoclimática, teniendo en cuenta aquellos aspectos más significativos y limitantes como pueden ser la temperatura media anual (T), la media en las mínimas del mes más frío (m), media del mes más frío (tm), media de las mínimas absolutas en el mes más frío (m') y meses con riesgo de helada.

Arganda y San Martín de la Vega se sitúan en el piso Mesomediterráneo ($T < 16$, $m < 5$, $tm < 9$), con heladas de Noviembre a Abril). La vegetación potencial de Arganda pertenece a los encinares basífilos manchegos (as. *Bupleuro-Quercetum rotundifoliae*) y al distrito corológico Henaro-tajuñense de la superprovincia Mediterráneo-Levantina. Existen intrusiones de la vegetación de la superprovincia Carpetano-ibérico-leonesa, debido a su preferencia por los suelos ácidos, en aquellos puntos con

afloramientos graníticos, cuarcíticos o pizarrosos. Una de las zonas arenosas y guijarrosas más importantes se localiza en San Martín de la Vega, Dehesa de Arganda y en algunos bancos de arrastre del río Jarama. Existen también intrusiones de comunidades de la serie esclerófila en San Martín de la Vega como el jaral con carraspique (*Iberidi Lavanduletum pedunculatae*) y del pastizal asociado (*Helianthemion*). Asimismo existe presencia de esta flora acidófila en esplegueras manchegas que llevan jaras (*Halimium atriplicifolium*, *Cistus albidus*, *Cistus salvifolius*) y cantueso (*Lavandula stoechas* subsp. *pedunculata*) que corresponden a la asociación *Lino Salvietum lavandullifoliae* subas. *cistetosum salvifolii*. En la Dehesa de Arganda junto a los romerales termófilos se incluyen elementos acidófilos *Halimium umbelatum* subsp. *viscosum*, *Halimium atriplicifolium*, *Cistus salvifolius* y *Lavandula stoechas* subsp. *pedunculata* que modifican la asociación *Cisto clusi-Rosmarinetum* en una subasociación (*halimio-cistetosum*) de moderado carácter silíceo. En las arenas de los cauces del Jarama se desarrollan pastizales que también contienen elementos acidófilos tales como *Trifolium arvense*, *Trifolium tormentosum*, *Corynephorus canescens*, *Tolpis barbata*, *Chaetopogon fasciculatus* y *Sesamoides canescens*.

A continuación se citan las diferentes comunidades de la vegetación de Arganda, San Martín de la Vega y riberas del Jarama.

Bosques y matorrales.

* Arbustales ribereños esclerófilos:

- Clase Nerio-Tamaricetea:

Formaciones arbustivas de tarayes (*Tamarix*) que bordean los arroyos y lagunazos con suelos arcillosos, húmedos salinos o no.

- Tarayales no halófilos (asociación *Tamaricetum gallicae*). Los tarayales no halófilos son formaciones de arbustos de las terrazas bajas de los ríos, bordes de charcas y bodones sobre sustratos ricos en bases de climas cálidos. La principal es la *Tamarix gallica* que sin embargo ha ido desapareciendo poco a poco siendo una de las principales causas la explotación de graveras para la extracción de áridos. Estos tarayales se pueden encontrar en la vega del Jarama, con una longitud de unos 2 Km. en ambas riberas, aguas arriba y abajo del puente entre Rivas-Vaciamadrid y La Poveda cerca de Arganda. También cerca de esta zona abundan plantas nitrófilas como la menta de burro (*Marrubium vulgare*), *Centaurea calcitrapa*, *C. melitensis*, un ajenjo (*Artemisia campestris*), y la grama (*Cynodon dactylon*), entre otras. Las principales especies presentes genuinas del tarayal son el regaliz (*Glycyrrhiza glabra*), la cola de caballo (*Equisetum ramosissimum*), la sara o sauce colorado (*Salix purpurea*) y la altabaca (*Dittrichia viscosa*). En el área de Arganda vive preferentemente sobre los depósitos arenosos y guijarrosos arrastrados por el río, y aunque el taray es indiferentemente edáfico, tiene preferencia por los suelos ricos, como el de la zona mencionada debido a que las crecidas depositan limos ricos

en sustancias minerales solubles.

* Romerales con romerina (asociación *Cisto clusi-Rosmarinetum*).

Son comunidades calcícolas de los enclaves termófilos manchegos en que domina el romero, aunque la auténtica característica es *Cistus clusii*, nombre científico que recibe la romerina, y que no debe confundirse con el romero (*Cistus rosmarinifolius*)

Existen romerales muy reducidos en los alrededores de Arganda y San Martín de la Vega, y en otras zonas de Madrid. A veces están acompañados los romerales de esplegueras como el lino blanco (*Linum suffruticosum* subsp. *differens*), espliego, salvia, y rabo de gato (*Sideritis incana* subsp. *incana*). También de aulagares almohadillados: aulaga almohadillada, erizón (*Erinacea anthyllis*), lino adpreso (*Linum salsoloides* subsp. *appresum*) entre otros. Pueden aparecer asociados a los encinares manchegos.

* Esplegueras (asociación *Lino-Salvietum lavandulifoliae*).

Se llaman esplegueras a los matorrales meseteños de suelos calizos formados por el lino blanco (*Linum suffruticosum* subsp. *differens*) y salvia (*Salvia lavandulifolia*), junto al espliego (*Lavandula latifolia*). Aparecen sobre todo en Arganda y su dehesa, en el camino desde esta localidad hasta San Martín de la Vega aparece la subasociación *Cistetosum Salviifolii*.

* Jabunales (asociación *Gypsophilo-Centauretum hyssopifoliae*).

El área madrileña del jabunal incluye la cuenca del Jarama y Arganda. Es el más frecuente y extenso de los matorrales yesíferos de la provincia de Madrid, la jabuna (*Gypsophila strutum*) es la principal especie. Aparece en el jabunal otras especies como pueden ser el tomillo de Aranjuez (*Thymus aranjuezii*) más *Thymus zygis*, jarilla de escamas (*Helianthemum squamatum*), herniaria (*Herniaria fruticosa*), lepidio de hoja estrecha (*Lepidium subulatum*), *Centaurea hyssopifolia*, *Koeleria castellana*, *Zollikoferia*, espartos y estipa.

Matorrales acidófilos mediterráneos.

* Jarales pringosos (asociación *Rosmarino-Cistetum ladaniferi*)

Matorral mediterráneo dominado por la jara pringosa (*Cistus ladanifer*) y por el romero (*Rosmarinus officinalis*), se asientan sobre los suelos ácidos del piso mesomediterráneo de la meseta. El jaral es un matorral muy pobre en flora y que la mayoría de las veces solo se compone de romero, jara pringosa, cantueso y tomillo blanco (*Thymus mastichina*). Se desarrolla en suelos brutos a veces sobre depósitos arenosos.

* Jarales pringosos con carraspique (asociación *Iberidi-Lavanduletum pedunculatae*).

Forma parte de los jarales pringosos repartidos por los suelos ácidos, el más meridional y termófilo es éste con carraspique (*Iberis linifolia* subsp. *linifolia*). Le suelen acompañar otras plantas acidófilas como el cantueso, tomillo blanco, romero, siempreviva amarilla y bolina, entre otras. Se desarrolla en suelos limo-arenosos.

Bosques y monte bajo perennifolio.

* Tamujares (asociación *Pyro bourgaeanae*-*Securinegetum tinctoriae*).

Solo aparecen en localidades específicas de Madrid como El Porcal (Arganda) y en San Martín de la Vega. El tamujo (*Securinea tinctoria*) es un endemismo de la unidad corológica Luso-extremadurese, que aparece en las ramblas de los ríos que corren por los sustratos ácidos del cuadrante suroccidental de la Península Ibérica. De carácter ripario el tamujar solo está presente en ramblas que presentan un prolongado estiaje o en terrazas fluviales altas. Además de la planta dominante viven acompañando al tamujar algunas rosas como *Rosa micrantha* y *Rosa canina*, zarzamoras (*Rubus ulmifolius*), majuelo (*Crataegus monogyna*), encinas (*Quercus rotundifolia*), espárrago triguero (*Asparagus acutifolius*), torvisco (*Daphne gnidium*) y otras hierbas.

El bosque natural potencial está dominado por la encina, serie de los encinares basífilos castellano-manchegos (*Blupeuro*

rigidi-Quercetum rotundifoliae), sin embargo la superficie que ocupa es muy pequeña, el encinar está en su mayor parte arrasado por una prolongada explotación o eliminación con fines energéticos, agrícolas, pastorales o madereros. La dehesa de Arganda es uno de los mejores restos. El bosque natural potencial está dominado por la encina (*Quercus ilex* subesp. *rotundifolia*), es el, casi, único árbol existente. El enebro tiene una modesta extensión (*Juniperus oxycedrus*). Actualmente se encuentra una vegetación mixta de bosque y monte bajo-encinar y coscojar donde junto a la encina y plantas de sombra se desarrollan los arbustos *Rhamno cocciferum*, la coscoja (*Quercus coccifera*), jazmín (*Jasminum fruticans*), espino negro (*Rhamnus lycioides*), efedras (*Ephedra fragilis* y *Ephedra major*) y torvisco (*Daphne gnidium*) entre otras.

ANEXO 4 .

CLIMATOLOGIA DE LA ZONA.

Madrid tiene una climatología que suele denominarse Mediterráneo contrastado, es decir, la existencia de una estación en la que coinciden altas temperaturas con una sequía manifiesta. Esta estación es el verano, siendo lógicamente la menos lluviosa y la más cálida, en alternancia con otras más lluviosas y frías.

Del estudio de la bibliografía se desprende que la localidad con mayor carácter mediterráneo es Arganda con 5 meses secos, y El Paular la que menos con 2 meses secos.

El clima de San Martín de la Vega está muy cerca del tipo Mediterráneo árido. Existen otras zonas como Guadarrama que casi desbordan el límite hacia climas eurosiberianos. La distribución de localidades según las temperaturas mínimas del mes más frío resultan poco dispares, aunque existen diferencias en altitud de más de 600 m. Las localidades por debajo de la anterior altitud corresponden a un clima mediterráneo semiárido, las comprendidas entre 600 y 850 m al mediterráneo templado y las situadas por encima de 850 m al mediterráneo húmedo. El clima madrileño es calificado a veces como continental, debido a los contrastes en los valores de los diversos meteoros. Por ejemplo, la existencia de heladas, muchas de las cuales se intercalan con días de buen tiempo hasta bien entrada la primavera. En pocas horas, se producen grandes descensos de temperatura sobre todo en noches despejadas que facilitan una gran radiación, seguidas de altas cotas de temperatura. Este contraste de temperaturas funciona

como seleccionador de la vegetación. Existen riesgos de heladas hasata mediados de Junio en la zona más alta de Madrid, y hasta Mayo en las más bajas, como en la zona que nos ocupa. Las heladas empiezan en Octubre en toda la provincia.

Como anteriormente se ha mencionado el clima mediterráneo está caracterizado por un período de sequía estival y escasa precipitación invernal, siendo la época de lluvias la primavera y el otoño. Las precipitaciones estivales son las más escasas y las más bajas que en cualquier otra estación. El efecto de este régimen climático sobre la vegetación que depende de la lluvia es que en el estío tienden a reducir la transpiración y a reducir su metabolismo incluso con caída de hojas o de porciones de tallo. Las dos terceras partes de la provincia reciben menos de 600 l año^{-1} , las mínimas provinciales están situadas en la vega baja del Tajo, cerca de Toledo, y la otra en la zona comprendida entre Arganda y San Martín de la Vega, donde se localiza la balsa escogida para realizar el estudio. El área más lluviosa se encuentra en una zona situada entre los montes Carpetanos y la Cuerda Larga con 1500 l año^{-1} . Sin embargo, en una misma localidad pueden existir diferencias notables entre las medias del mes más cálido y del más frío. Las temperaturas medias oscilan entre los 16 C de Ciempozuelos (505 m) y los 4-6 C de Peñalara (>2000 m), las cuatro quintas partes de Madrid superan los 12 C. Los veranos, como se ha comentado, son muy calurosos, con una temperatura media de 24 C, entre el Tajuña y el Tajo, y por debajo de los 1000 m hay más de 20 C de media.

El clima que soporta San Martín de la Vega es calificado como Mediterráneo árido debido a que presenta uno de los menores regímenes de precipitaciones de la provincia.

En las siguientes gráficas se representan los valores medios durante un período de 30 años (1961-1990) de diferentes variables durante todos los meses del año. Estos valores corresponden a los tomados en la estación meteorológica de Getafe, del Instituto Nacional de Meteorología.

En la figura 1 se encuentran recogidas las temperaturas medias mensuales, mínimas medias y máximas medias, recogidas durante el período mencionado. Julio es el mes que presenta la temperatura máxima media más alta con 35.5 C, la mínima media más baja es Enero con 10.4 C. Julio es también el mes que presenta la mayor temperatura mínima media, y Enero la menor. Con respecto a las temperaturas medias mensuales, lógicamente es Julio quien presenta la mayor, y Enero la menor.

En la figura 2 se representan las temperaturas medias máximas y mínimas absolutas. Enero presenta la menor máxima con 19.6 C y Julio la mayor máxima con 40.6 C. Respecto a las temperaturas mínimas, Febrero presenta la menor con -12.0 C y Julio la mayor con 9.0 C.

En la figura 3 se representan la lluvia total mensual media y la lluvia máxima en un día. Respecto a la primera variable Diciembre es el mes donde más llueve con 47.7 mm y Agosto el que

menos con 11.1 mm. El mes donde se localiza el día que más ha llovido es Septiembre con 62 mm y el que menos Febrero con 29.3 mm.

En la figura 4 aparece la humedad relativa media del aire en tanto por ciento, lógicamente son los meses de verano quienes presentan la menor humedad relativa del aire y los de invierno los que más.

En la figura 5 se representan las horas de sol y la insolación en tanto por ciento. Las horas de sol son las horas totales en que en la práctica ha lucido el sol, y la insolación es el tanto por ciento de horas en que ha lucido el sol con respecto al número teórico de horas, contadas desde el orto hasta el ocaso.

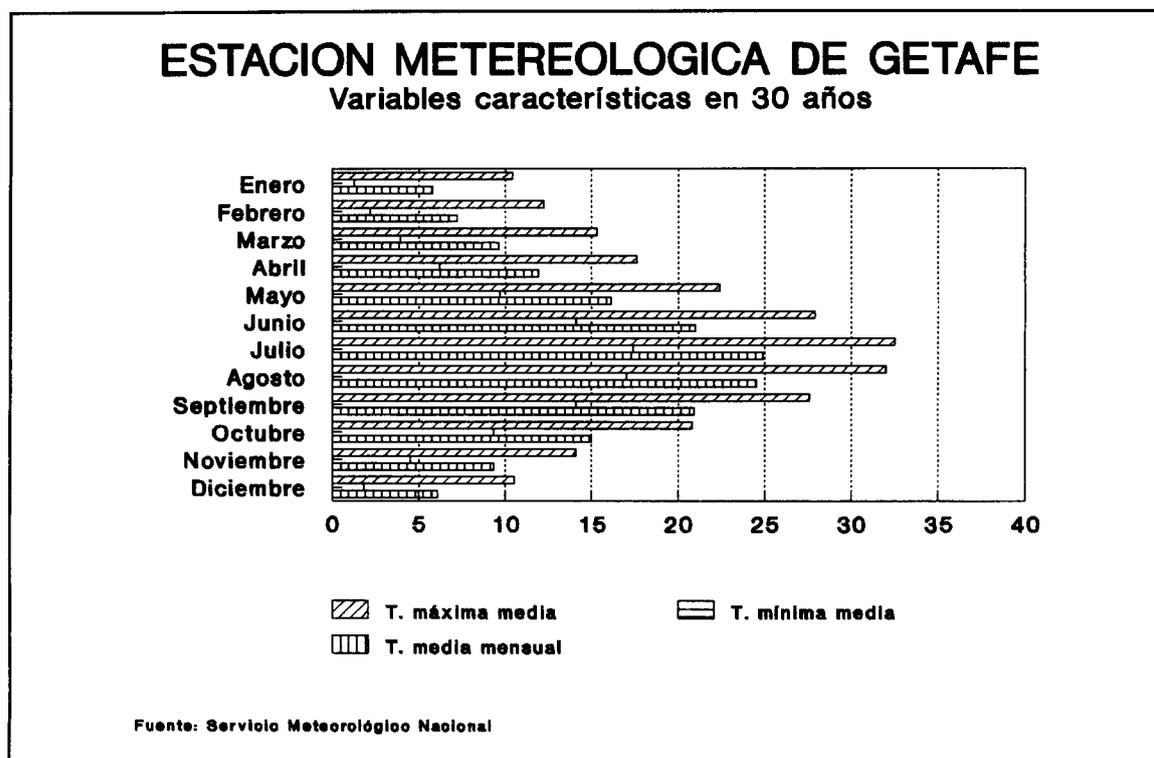


Figura 1. Temperaturas medias.

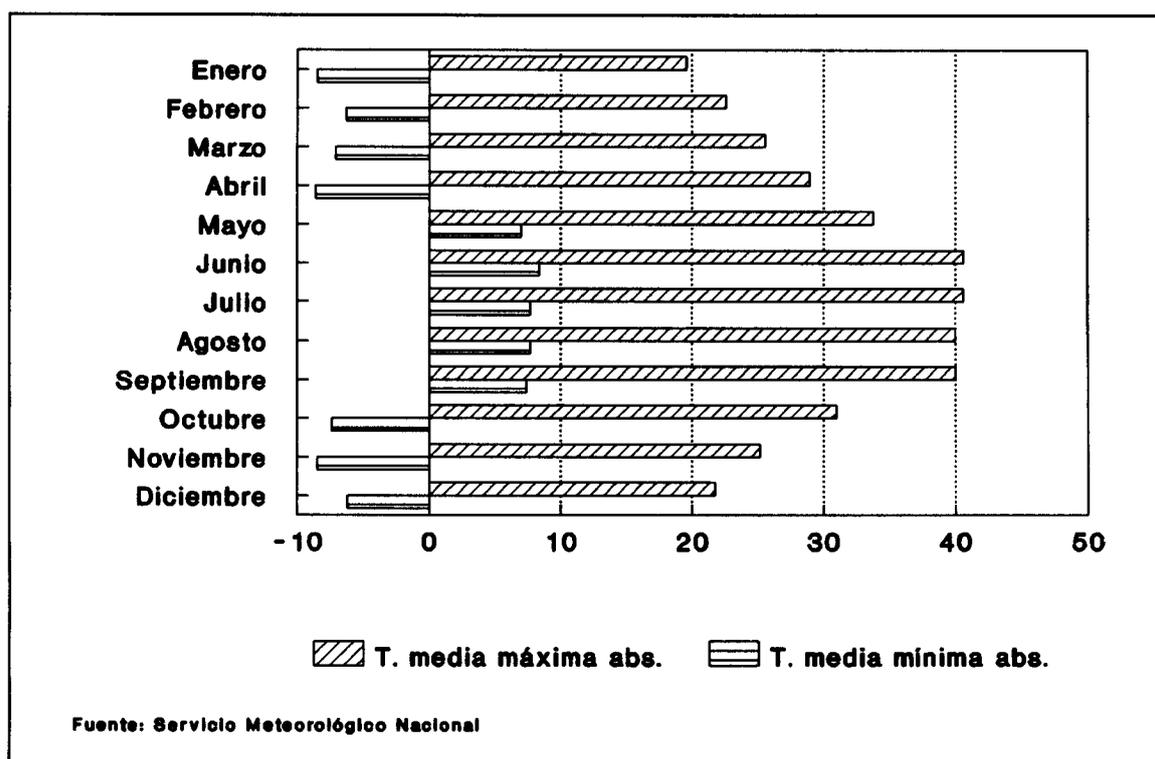


Figura 2. Temperaturas absolutas.

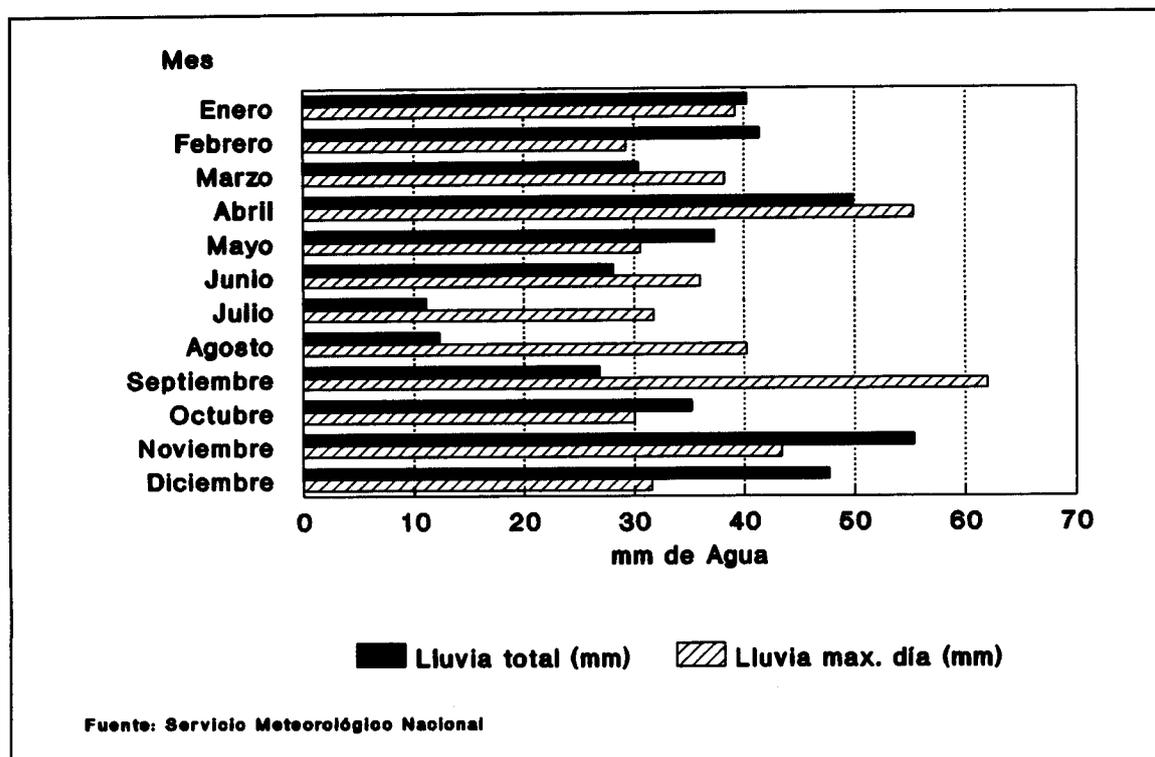


Figura 3. Precipitaciones mensuales.

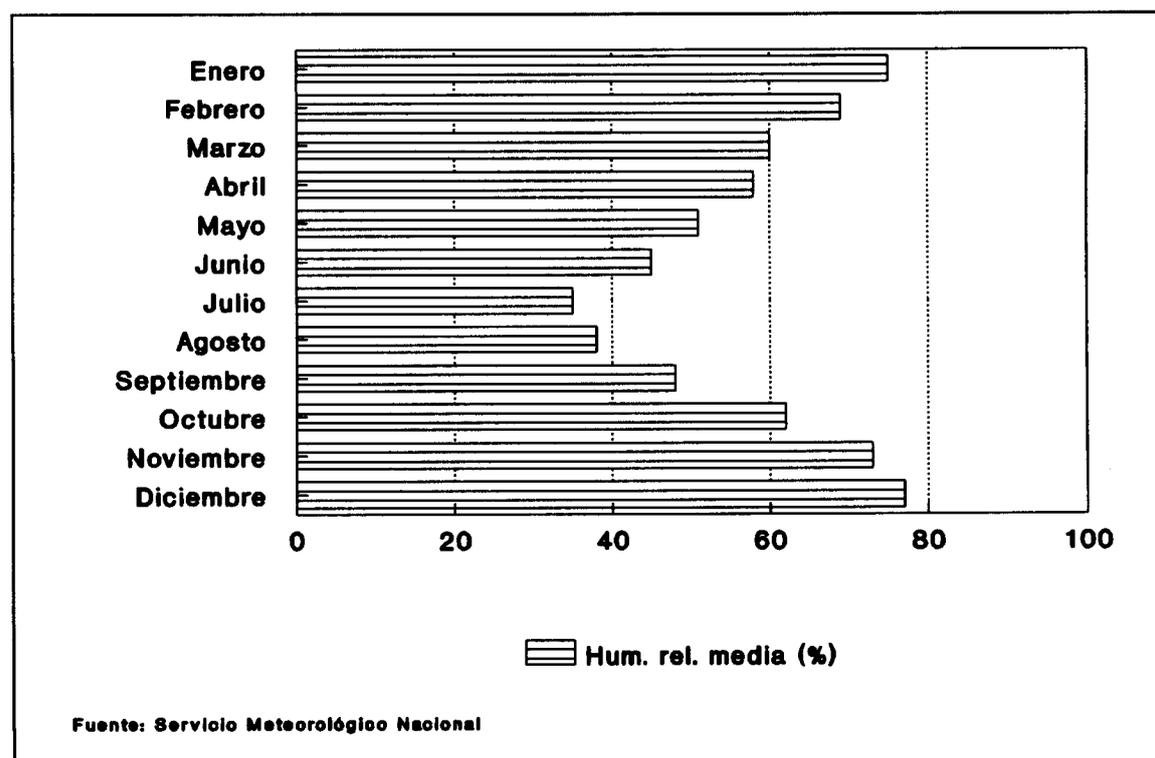


Figura 4. Parámetros anuales de la humedad.

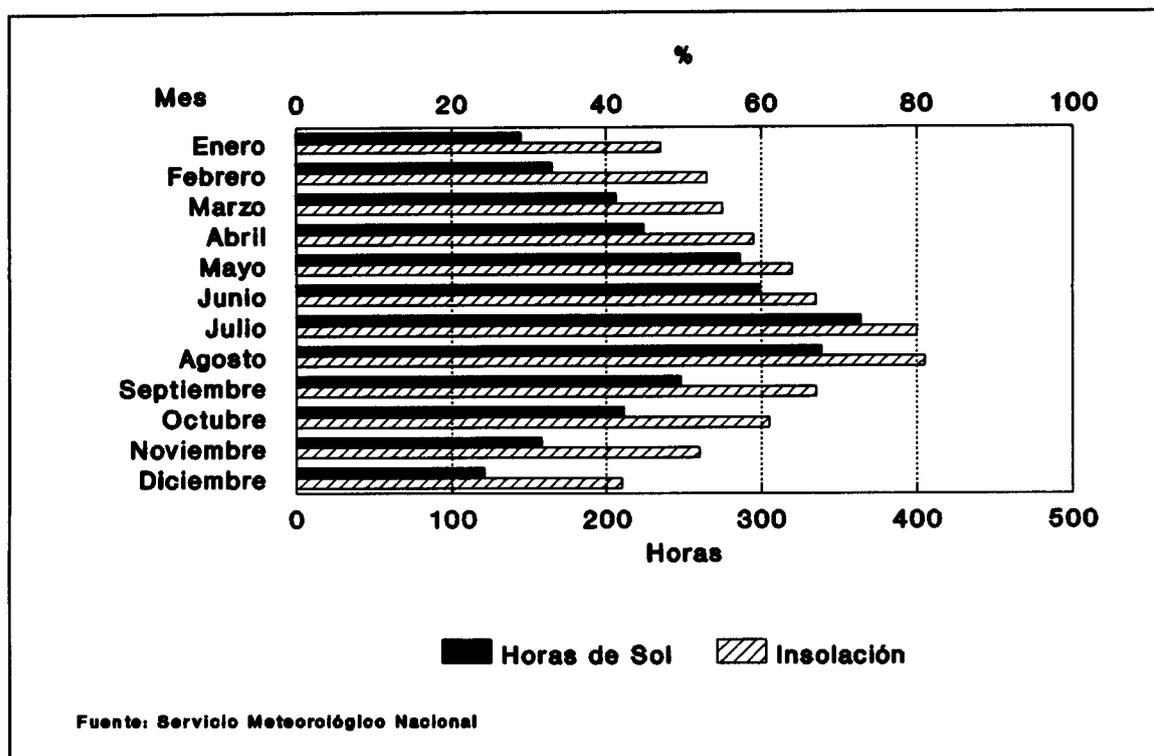


Figura 5. Horas de sol y de insolación.

ANEXO 5.

SUELOS DE LOS ALREDEDORES DE SAN MARTIN DE LA VEGA.

Al localizarse la balsa de estudio al lado del río Jarama, se sitúa en un tipo de terreno denominado fluvisol. Este puede ser calcáreo, dístrico y eútrico. Los fluvisoles son suelos poco evolucionados edáficamente, por estar formados a partir de depósitos aluviales recientes en los que no se distinguen horizontes o capas edáficas distintas, salvo una superior algo más oscura y mejor estructurada que coincide con el horizonte ócrico. Corresponden estos suelos a los "Suelos Aluviales" del Mapa de Suelos de España, escala 1:1.000.000 que editó el Instituto Nacional de Edafología y Agrobiología del CSIC. En la "Clasificación Francesa" equivalen a los suelos minerales brutos de aporte fluvial y en la "Soil Taxonomy" americana a los "fluvents".

Los fluvisoles eútricos son aquellos suelos que poseen una alta saturación en bases, pero que no poseen CO_3Ca , en contraposición al fluvisol calcáreo que lo posee en toda la profundidad de su perfil. El fluvisol dístrico es un suelo ácido saturado por debajo del 50 %

En el entorno de San Martín de la Vega, en la zona de Arganda, la existencia de calizas blancas tableadas y margas blancas da lugar a suelos poco desarrollados predominando la asociación formada por xerosoles cálcicos, regosoles calcáreos y litosoles. Los xerosoles son suelos que de una forma u otra presentan un régimen de humedad del suelo de tipo xérico, tienen

un horizonte superficial con poca materia orgánica, menos del 1%, y además deben tener un horizonte subyacente de tipo cámbrico o bien una capa con acumulaciones calcáreas o yesíferas. Los regosoles son suelos desarrollados sobre materiales no consolidados, pero no de tipo aluvial, y que presentan como horizonte edáfico un horizonte superficial de tipo ócrico.

Existen altas y medianas terrazas sobre el río Jarama que presentan suelos con horizonte textural argílico, como todos los luvisoles que se encuentran sobre la "Facies Madrid". Un suelo tipo luvisol presenta un horizonte B enriquecido en arcilla, que en parte es iluvial, que presenta un cierto lavado, y arrastre de arcilla del horizonte superior y acumulación de esa arcilla en ese horizonte B. El pH de estos suelos está próximo a la neutralidad. Son suelos donde predomina la explotación agrícola con preponderancia de los cultivos cerealísticos de secano.

Los suelos tipo fluvisol se dedican principalmente a la agricultura, y muchas veces en régimen de regadío. Los xerosoles son de muy variable aprovechamiento, pero cabe destacar los viñedos de Arganda, aquellas partes no cultivadas están, en su mayor parte, ocupadas por matorral xérico. Los luvisoles y cambisoles existentes entre los ríos Jarama y Henares se dedican a la agricultura.

ANEXO 6.

VERTIDOS.

Generalidades.

Entre los diversos mecanismos de contaminación de las aguas subterráneas figuran la infiltración en el terreno de los productos de lixiviación procedentes de los vertederos de residuos sólidos de origen urbano e industrial. En la selección de la ubicación de un posible vertedero es preciso tener en cuenta una serie de factores tales como la topografía y volumen útil, distancia y accesos, material de recubrimiento, propiedades del terreno, dirección del viento, ecología, paisaje, etc. Debe estimarse en cada caso los peligros de degradación de la calidad del agua subterránea a partir de actividades tales como el vertido de aguas fecales, los pozos negros y fosas sépticas. La eliminación de aguas residuales industriales mediante absorción por el terreno a partir de balsas, zanjias, pozos, etc, y el vertido de residuos sólidos industriales requerirán en general un estudio específico de la composición de los residuos antes de determinar el impacto general de los vertidos.

De especial interés es tener en cuenta la profundidad a la que se sitúa el agua subterránea, debido al papel depurador que posee la zona saturada de las formaciones permeables, especialmente en las formaciones detríticas de grano fino, ya que el agua infiltrada contaminada va perdiendo progresivamente esta característica en su descenso hasta la zona saturada. Es evidente que el peligro de contaminación (para una misma litología) será

mayor en las zonas con aguas más someras.

En el Mapa de Orientación al vertido de Residuos Sólidos Urbanos de la provincia de Madrid, no se han considerado los cuaternarios, cuyas calidades son muy variables, influenciados notablemente por las aguas superficiales. En este criterio, las áreas idóneas de vertido serían aquellas que peor calidad de aguas presenten. En particular, el cuaternario aluvial del Jarama se considera como zona desfavorable para vertidos, por su importante permeabilidad en superficie. Con frecuencia, estos acuíferos se encuentran en la actualidad fuertemente contaminados, ya que sobre ellos incide también cualquier clase de vertido que se realice aguas arriba, contaminando aguas superficiales parte de las cuales pueden infiltrarse al atravesarlos. La proximidad de importantes núcleos urbanos y la precariedad de la infraestructura hidráulica en lo que a saneamiento y depuración de las aguas se refiere, pone de manifiesto la importancia de los vertidos urbanos sobre la calidad de las aguas. Sin embargo dado el gran lapso de tiempo que suele transcurrir entre la agresión contaminante a un acuífero y la primera observación de sus efectos, puede considerarse como importante pero no decisivo en el comportamiento de las aguas, desde un punto de vista general.

Dejando aparte la problemática de la contaminación de los ríos aguas abajo de los núcleos urbanos, nos centraremos en la eutrofización de las aguas embalsadas, situación que además hace que sea mucho más costoso y difícil el proceso de tratamiento de

las aguas destinadas al consumo urbano. Esta situación parece ser realmente llamativa, según Urbistondo (1980), prácticamente todos los embalses del Canal de Isabel II están real o potencialmente eutrofizados en un alto grado, a excepción de El Atazar, situado en el curso alto del Jarama. Los vertidos de núcleos urbanos aguas arriba de los embalses parecen ser la causa más directa.

En particular, para el río Jarama se tienen las siguientes cifras de vertidos contaminantes:

Ayuntamientos.....	100
Industrias.....	49
Urbanizaciones.....	28
Granjas.....	3
Otros.....	95
Total.....	275

Se encuentra además la dificultad de que el análisis del impacto que los lixiviados de los vertederos producen en las aguas es un tema más estudiado desde un punto de vista cualitativo que cuantitativo.

Características de los vertidos.

La composición típica de los vertidos urbanos está constituida por la de los residuos domésticos, compuestos principalmente por materia orgánica putrescible y con humedad

propia. Su descomposición origina diversas sustancias (ácidos orgánicos, etc.) que van a favorecer la descomposición de los demás residuos, originando los principales focos de contaminación. (Lopez Vera, 1978).

Como nota optimista, López Vera concluye que la rápida mineralización de los vertidos en los vertederos por él estudiado, hace que en 10 años aproximadamente no presente impacto alguno los lixiviados sobre la calidad de las aguas.

Zona de la balsa escogida.

En la zona particular de la balsa "Isla del Herrero", no existe ningún vertido de importancia en las proximidades. Sin embargo se describen aquellos situados en un radio máximo de 10 Km.

*** Vertido N°1.**

Situado aproximadamente a 2 Km. al NE. de Arganda. Vertedero semicontrolado. Se realizan descargas de 4557 tm./año.

*** Vertido N°2.**

Situado aproximadamente a 2 Km. al SO de Campo Real. Vertedero no controlado. Descargas de hasta 584 tm/año.

* Vertido N°3.

Situado en Vaciamarid. Vertedero no controlado. Con descargas de hasta 95 tm/año. Su emplazamiento no es favorable debido a la existencia de áreas permeables en superficie.

* Vertido N°4.

Situado en Morata de Tajuña. Vertedero no controlado. Descargas de hasta 996 tm/año. Emplazamiento desfavorable.

* Vertido N°5.

Aproximadamente a 2 Km. de Perales de Tajuña. Vertedero no controlado. Descargas de 460 tm/año. Emplazamiento desfavorable.

Fuera de este radio, pero relativamente próximo se encuentran otros tantos vertederos de grandes dimensiones, varios de ellos ubicados en emplazamientos desfavorables, pero aguas abajo del río Jarama, siendo el impacto sobre la zona de estudio prácticamente despreciable.

Aguas arriba, existen vertederos de riesgo y no controlados en Velilla de San Antonio (298 tm/año), San Fernando de Henares (3066 tm/año), Paracuellos del Jarama (365 tm/año), Fuente el Sanz (416 tm/año), Talamanca del Jarama (551 tm/año) Torrelaguna (786 tm/año) y Patones (99 tm/año). Debe tenerse en cuenta la incorporación del Henares a las aguas del Jarama, que padece

también el efecto de algunos vertederos no controlados de
peligroso desplazamiento.

ANEXO 7.

PROVINCIA: BADAJOZ

<u>NUMERO</u>	<u>LATITUD (G M S)</u>	<u>LONGITUD (G M S)</u>	<u>PARAJE</u>
001	39 11 12	-7 4 40	QUINOLA
002	38 21 27	-6 49 23	LA BOVEDA
003	38 21 33	-6 49 23	LA BOVEDA

PROVINCIA: BURGOS

<u>NUMERO</u>	<u>LATITUD (G M S)</u>	<u>LONGITUD (G M S)</u>	<u>PARAJE</u>
004	42 16 43	-3 53 13	SALCEDILLA
005	42 16 40	-3 53 20	SALCEDILLA
006	42 17 40	-3 32 53	ESPINOSA
007	42 17 27	-3 32 55	ESPINOSA
008	42 17 38	-3 33 04	ESPINOSA
009	42 02 15	-3 44 45	LOS CURAS
010	41 40 35	-3 43 01	LOS MONJES
011	42 43 13	-2 59 44	ROBLEDAL
012	42 44 02	-3 00 59	MONTAZANA
013	42 42 10	-2 58 01	CABRIANA
014	42 42 16	-2 58 12	CABRIANA
015	42 40 09	-2 38 19	EL CERRO
016	42 40 24	-2 38 28	EL CERRO

PROVINCIA: CASTELLON

<u>NUMERO</u>	<u>LATITUD (G M S)</u>	<u>LONGITUD (G M S)</u>	<u>PARAJE</u>
017	39 46 24	-0 14 59	S. CABALLO
018	40 01 25	-0 02 37	BOBALAR
019	40 31 03	0 09 53	PUEBLO

PROVINCIA: LEON

<u>NUMERO</u>	<u>LATITUD (G M S)</u>	<u>LONGITUD (G M S)</u>	<u>PARAJE</u>
020	42 31 13	-5 21 46	VILLOMAR
021	42 49 15	-5 07 33	VEGABARRIO
022	42 49 21	-5 07 29	VEGABARRIO
023	42 49 25	-5 07 25	VEGABARRIO
024	42 49 28	-5 07 20	VEGABARRIO
025	42 48 29	-4 59 05	TARANILLA
026	42 48 19	-4 59 05	TARANILLA
027	42 52 06	-5 38 43	SANTALUCIA
028	42 52 10	-5 38 15	SANTALUCIA
029	42 48 34	-5 37 24	LA ROBLA
030	42 48 24	-5 37 23	LA ROBLA
031	42 21 27	-5 33 34	BENAMARIEL

PROVINCIA: LERIDA

<u>NUMERO</u>	<u>LATITUD (G M S)</u>	<u>LONGITUD (G M S)</u>	<u>PARAJE</u>
032	41 21 39	0 22 50	LA CANOTA

PROVINCIA: MURCIA

<u>NUMERO</u>	<u>LATITUD (G M S)</u>	<u>LONGITUD (G M S)</u>	<u>PARAJE</u>
033	37 35 43	-0 53 07	EL GORGUEL
034	37 35 49	-0 52 54	EL GORGUEL
035	37 35 43	-0 52 52	EL GORGUEL
036	37 35 44	-0 52 56	EL GORGUEL
037	37 35 44	-0 52 54	EL GORGUEL
038	37 35 48	-0 52 51	EL GORGUEL
039	37 35 29	-0 52 40	EL GORGUEL
040	37 35 24	-0 52 46	EL GORGUEL
041	37 35 21	-0 52 55	EL GORGUEL
042	37 35 23	-0 51 55	LAV.NAVIDAD
043	37 35 26	-0 51 54	LAV.NAVIDAD
044	37 35 20	-0 51 41	PORTMAN
045	37 35 19	-0 51 52	PORTMAN
046	37 35 26	-0 51 37	PORTMAN
047	37 35 33	-0 51 29	PORTMAN
048	37 35 28	-0 51 27	PORTMAN
049	37 36 50	-0 50 12	JULIO CESAR
050	37 36 06	-0 50 19	EL AGUILA
051	37 35 35	-0 50 39	LA BOLTADA
052	37 35 37	-0 50 39	LA BOLTADA
053	37 35 55	-0 50 47	RMBBOLTADA
054	37 35 53	-0 50 44	RMBBOLTADA
055	37 35 51	-0 50 48	RMBBOLTADA
056	37 35 50	-0 50 46	RMBBOLTADA
057	37 35 16	-0 50 25	PLAYA
058	37 37 33	-0 50 34	ENCONTRADA
059	37 35 00	-0 53 33	EL GORGUEL
060	37 35 04	-0 53 36	EL GORGUEL
061	37 35 02	-0 53 33	EL GORGUEL
062	37 35 04	-0 53 33	EL GORGUEL
063	37 35 06	-0 53 35	EL GORGUEL

PROVINCIA: NAVARRA

<u>NUMERO</u>	<u>LATITUD (G M S)</u>	<u>LONGITUD (G M S)</u>	<u>PARAJE</u>
064	42 12 42	-1 40 02	RASODELAVEN
065	42 10 18	-1 40 18	CORRALDELSE

PROVINCIA: PALENCIA

<u>NUMERO</u>	<u>LATITUD (G M S)</u>	<u>LONGITUD (G M S)</u>	<u>PARAJE</u>
066	42 51 09	-4 52 47	ZALAPIOJOS
067	42 51 04	-4 52 29	VALDEHAYA
068	42 51 04	-4 52 40	VALDEHAYA
069	42 50 39	-4 51 58	VALDEHAYA
070	42 46 34	-4 51 02	ALBAR
071	42 46 30	-4 51 04	ALBAR
072	42 46 17	-4 51 04	ALBAR
073	42 46 04	-4 51 03	ARENAL
074	42 46 08	-4 51 03	ALBAR
075	42 46 30	-4 50 51	ALBAR
076	42 46 37	-4 50 58	ALBAR
077	42 48 14	-4 44 31	SANTIBAÑEZ
078	42 48 11	-4 44 24	SANTIBAÑEZ
079	42 27 22	-4 41 38	TRAIDOR
080	41 51 05	-4 31 30	R. PISUERGA
081	42 35 59	-4 20 20	LOSRENEDOS
082	42 25 19	-4 20 17	SANPANTALE
083	42 25 13	-4 20 04	SANPANTALE
084	41 58 19	-4 27 45	A. PALENTINA

PROVINCIA: SALAMANCA

<u>NUMERO</u>	<u>LATITUD (G M S)</u>	<u>LONGITUD (G M S)</u>	<u>PARAJE</u>
085	40 41 15	-6 18 17	ELCARRASCAL
086	41 05 08	-5 54 46	OLMILLOS
087	41 00 44	-5 55 41	JARALITA
088	41 00 36	-5 55 41	C. DEL JARAL
089	40 58 32	-5 36 05	A. DEL ANGEL
090	40 48 06	-5 31 33	LA VEGUILLA
091	40 55 26	-5 19 28	LOS CASCABEL
092	40 54 49	-5 29 51	LAS VIÑAS

PROVINCIA: CANTABRIA

<u>NUMERO</u>	<u>LATITUD (G M S)</u>	<u>LONGITUD (G M S)</u>	<u>PARAJE</u>
093	43 23 21	-3 53 02	VENEROS
094	43 23 37	-3 52 22	CAMARGO
095	43 24 29	-3 52 45	CAMARGO
096	43 24 42	-3 51 52	LA CALVA
097	43 24 19	-3 52 03	CAMARGO
098	43 24 26	-3 52 18	EL MAZO
099	43 19 37	-4 04 54	LA MORCAN
100	43 19 24	-4 04 36	LA MORCAN
101	43 19 27	-4 05 38	MERCADAL
102	43 19 24	-4 06 13	MERCADAL
103	43 19 29	-4 05 29	MERCADAL
104	43 21 45	-3 48 29	CABARCENO
105	43 21 48	-3 48 52	CABARCENO

106	43 25 49	-4 01 20	CUCHIA
107	43 20 21	-4 04 21	POZO JAIME
108	43 20 18	-4 04 34	MIJAROJOS
109	43 21 13	-4 04 37	TORRES
110	43 23 14	-4 02 17	REQUEJADA
111	43 23 39	-4 01 51	HINOJEDO
112	43 20 21	-4 04 19	POZO JAIME
113	43 20 36	-4 04 03	POZO JAIME

PROVINCIA: SORIA

<u>NUMERO</u>	<u>LATITUD (G M S)</u>	<u>LONGITUD (G M S)</u>	<u>PARAJE</u>
114	41 42 57	-2 23 47	LA NAVA
115	41 42 51	-2 23 51	LA NAVA

PROVINCIA: TARRAGONA

<u>NUMERO</u>	<u>LATITUD (G M S)</u>	<u>LONGITUD (G M S)</u>	<u>PARAJE</u>
116	41 07 53	1 16 06	LABUDALLERA
117	41 07 52	1 16 10	COSTAGROSA

PROVINCIA: VALLADOLID

<u>NUMERO</u>	<u>LATITUD (G M S)</u>	<u>LONGITUD (G M S)</u>	<u>PARAJE</u>
118	41 30 44	-4 55 32	EL MONTICO
119	41 31 03	-4 52 31	LA VEGA
120	41 31 00	-4 52 22	LA VEGA
121	41 21 22	-4 58 18	P.DE RUEDA
122	41 46 57	-4 36 57	LAS CASCAJE
123	41 48 31	-4 35 11	ESPARRAGUER
124	41 40 34	-4 41 37	AVD. SANTAND
125	41 41 32	-4 38 35	LA BOQUILLA
126	41 35 45	-4 45 36	EL PINAR
127	41 35 28	-4 31 59	CANTARRANAS
128	41 31 40	-4 50 53	VALDEACABAD
129	41 34 06	-4 43 54	LAS LOBAS
130	41 33 22	-4 42 31	P. BOECILLO
131	41 33 32	-4 45 24	VALDELIMON
132	41 34 48	-4 40 11	TARAGUDO

PROVINCIA: ZAMORA

<u>NUMERO</u>	<u>LATITUD (G M S)</u>	<u>LONGITUD (G M S)</u>	<u>PARAJE</u>
133	42 00 11	-5 42 01	STA. CRISTINA

PROVINCIA: BARCELONA

<u>NUMERO</u>	<u>LATITUD (G M S)</u>	<u>LONGITUD (G M S)</u>	<u>PARAJE</u>
134	41 50 37	1 52 28	VILAFRUNS
135	41 48 39	1 53 41	LA BUTJOSA

PROVINCIA: MADRID

<u>NUMERO</u>	<u>LATITUD (G M S)</u>	<u>LONGITUD (G M S)</u>	<u>PARAJE</u>
136	40 21 58	-3 30 10	EL SOTILLO
137	40 18 29	-3 37 26	VERDEGUERAL
138	40 18 29	-3 37 26	VERDEGUERAL
139	40 22 24	-3 38 31	QUINTANA

ANEXO 8.

MATRIZ DE DISEÑO DE LAS BALSAS RECOPIADAS.

Códigos:

0 Ausencia.

1 Presencia

2. Dato desconocido (missing data)

Balsas**Variables**

1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0
2	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0
3	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0
4	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0
5	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0
6	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0
7	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0
8	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
9	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0
10	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0
11	2	2	2	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0
12	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0
13	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0
14	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0
15	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0
16	1	0	0	0	0	0	1	0	2	2	0	1	0	1	0
17	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	2	0	1	0
18	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	2	2
19	2	2	2	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0
20	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0
21	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0
22	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0
23	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0
24	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0
25	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0
26	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0
27	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0
28	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0
29	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0
30	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0
31	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0
32	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0
33	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0
34	2	2	2	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0
35	2	2	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0
36	2	2	2	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0
37	2	2	2	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0
38	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
39	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	1
40	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
41	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
42	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
43	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0
44	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0
45	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0

CLUSTER 1 OF 2 CONTAINS 61 CASES

```

=====
1
11 1 1
11 1 1 1
11 11111
111 111111 111
111 1111111111
111111111111111 11 1 1

```

DISTANCE +.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+

FROM CENTER TO CASES IN THIS CLUSTER				2.500				
CASE	FREQ.	DISTANCE	I	VARIABLE	MINIMUM	CENTER	MAXIMUM	ST.DEV.
4	1.00	1.6518	I	1 X(1)	0.0000	0.3333	1.0000	0.475
5	1.00	1.4728	I	2 X(2)	0.0000	0.4211	1.0000	0.498
6	1.00	1.8351	I	3 X(3)	0.0000	0.2456	1.0000	0.434
7	1.00	1.5929	I	4 X(4)	0.0000	0.1803	1.0000	0.387
8	1.00	1.4002	I	5 X(5)	0.0000	0.0000	0.0000	0.000
9	1.00	1.4932	I	6 X(6)	0.0000	0.0328	1.0000	0.179
10	1.00	1.4728	I	7 X(7)	0.0000	0.8689	1.0000	0.340
11	1.00	1.3909	I	8 X(8)	0.0000	0.0164	1.0000	0.128
12	1.00	1.0249	I	9 X(9)	0.0000	0.1864	1.0000	0.392
13	1.00	1.6700	I	10 X(10)	0.0000	0.2542	1.0000	0.439
14	1.00	1.4932	I	11 X(11)	0.0000	0.1639	1.0000	0.373
15	1.00	1.1072	I	12 X(12)	0.0000	0.7797	1.0000	0.418
16	1.00	1.1401	I	13 X(13)	0.0000	0.5574	1.0000	0.500
18	1.00	2.0538	I	14 X(14)	0.0000	0.9167	1.0000	0.278
19	1.00	1.2161	I	15 X(15)	0.0000	0.0167	1.0000	0.129
20	1.00	1.3878	I					
21	1.00	1.3878	I					
22	1.00	1.3878	I					
23	1.00	1.3878	I					
26	1.00	1.6167	I					
27	1.00	1.2227	I					
30	1.00	1.1072	I					
35	1.00	1.1115	I					
50	1.00	1.6527	I					
51	1.00	1.4350	I					
61	1.00	1.2924	I					
65	1.00	1.3878	I					
66	1.00	1.0541	I					
67	1.00	1.1342	I					
68	1.00	1.1072	I					
72	1.00	1.0727	I					
73	1.00	1.3334	I					
74	1.00	1.1946	I					
75	1.00	1.8916	I					
78	1.00	1.2999	I					
85	1.00	1.0541	I					
86	1.00	1.2680	I					
87	1.00	0.9673	I					
88	1.00	1.2687	I					
89	1.00	1.0541	I					
90	1.00	1.0249	I					
91	1.00	1.0249	I					
96	1.00	1.3354	I					
106	1.00	1.0541	I					
108	1.00	1.5259	I					
109	1.00	1.4897	I					
110	1.00	1.2924	I					
111	1.00	1.0541	I					

ANEXO 9.

58	1.00	1.5628	I
59	1.00	1.7413	I
60	1.00	1.7333	I
62	1.00	1.0570	I
63	1.00	1.5522	I
69	1.00	1.3085	I
70	1.00	1.3085	I
71	1.00	1.3085	I
76	1.00	1.1432	I
77	1.00	1.1432	I
79	1.00	1.7671	I
83	1.00	1.4979	I
84	1.00	1.1950	I
92	1.00	1.6453	I
93	1.00	1.6750	I
94	1.00	1.7716	I
97	1.00	1.2759	I
98	1.00	1.4578	I
99	1.00	1.5342	I
100	1.00	1.5432	I
101	1.00	1.5432	I
102	1.00	1.4673	I
103	1.00	1.4673	I
104	1.00	1.7413	I
105	1.00	1.9308	I
107	1.00	1.5981	I
112	1.00	1.5067	I
113	1.00	1.5067	I
114	1.00	1.6862	I
115	1.00	1.6862	I
117	1.00	1.8903	I
118	1.00	1.2113	I
119	1.00	1.1720	I
120	1.00	1.1720	I
123	1.00	1.4979	I
124	1.00	1.1432	I
126	1.00	1.1720	I
130	1.00	1.3678	I
133	1.00	1.1432	I
134	1.00	1.4899	I
135	1.00	1.5323	I
136	1.00	1.1445	I
137	1.00	1.3820	I
138	1.00	1.3820	I
139	1.00	1.3820	I
1	1.00	1.7788	I
95	1.00	1.5232	I
64	1.00	1.6945	I

 VERAGE DISTANCE 1.4610

CLUSTER MEANS

	SIZE	X(1)	X(2)	X(3)	X(4)	X(5)	X(6)
	34.	0.3226	0.2903	0.3871	0.1471	0.0000	0.0000
	22.	0.8571	0.0476	0.0952	0.1364	0.0000	0.0455
3	22.	0.2727	0.0909	0.5000	0.4545	0.0000	0.0000
4	26.	0.2800	0.5600	0.1600	0.2308	0.0000	0.0769
	20.	0.5625	0.0000	0.3125	0.1500	0.0000	0.0000
6	15.	1.0000	0.0000	0.0000	0.0667	0.0000	0.0000

GRAND MEAN 0.4882 0.2047 0.2677 0.2014 0.0000 0.0216

	SIZE	X(7)	X(8)	X(9)	X(10)	X(11)	X(12)
1	34.	0.8824	0.0000	0.2121	0.3333	0.0294	0.7576
2	22.	0.0909	0.1818	0.2273	0.1905	1.0000	0.5500
3	22.	0.0000	1.0000	0.2727	0.2857	0.4286	0.3333
4	26.	0.8462	0.0385	0.2400	0.2400	0.2692	0.8000
5	20.	0.0500	0.0500	0.2222	0.2222	0.3333	0.3889
6	15.	0.0000	0.1333	0.2000	0.4000	0.0000	0.7857
GRAND MEAN		0.3957	0.2158	0.2296	0.2782	0.3309	0.6183

	SIZE	X(13)	X(14)	X(15)
1	34.	1.0000	0.9118	0.0294
2	22.	0.8095	1.0000	0.0000
3	22.	1.0000	0.1818	0.0000
4	26.	0.0000	0.9200	0.0000
5	20.	0.9500	0.0000	0.3500
6	15.	0.9333	1.0000	0.0000
GRAND MEAN		0.7681	0.6884	0.0580

CLUSTER STANDARD DEVIATIONS

	X(1)	X(2)	X(3)	X(4)	X(5)	X(6)
1	0.4752	0.4614	0.4951	0.3595	0.0000	0.0000
2	0.3586	0.2182	0.3008	0.3513	0.0000	0.2132
3	0.4558	0.2942	0.5118	0.5096	0.0000	0.0000
4	0.4583	0.5066	0.3742	0.4297	0.0000	0.2717
5	0.5123	0.0000	0.4787	0.3663	0.0000	0.0000
6	0.0000	0.0000	0.0000	0.2582	0.0000	0.0000

	X(7)	X(8)	X(9)	X(10)	X(11)	X(12)
1	0.3270	0.0000	0.4151	0.4787	0.1715	0.4352
2	0.2942	0.3948	0.4289	0.4024	0.0000	0.5104
3	0.0000	0.0000	0.4558	0.4629	0.5071	0.4830
4	0.3679	0.1961	0.4359	0.4359	0.4523	0.4082
5	0.2236	0.2236	0.4278	0.4278	0.4851	0.5016
6	0.0000	0.3519	0.4140	0.5071	0.0000	0.4258

	X(13)	X(14)	X(15)
1	0.0000	0.2879	0.1715
2	0.4024	0.0000	0.0000
3	0.0000	0.3948	0.0000
4	0.0000	0.2769	0.0000
5	0.2236	0.0000	0.4894
6	0.2582	0.0000	0.0000

COOLED WITHIN CLUSTER COVARIANCES

X(1) X(2) X(3) X(4) X(5) X(6)

		1	2	3	4	5	6
X(1)	1	0.2					
X(2)	2	-0.1	0.1				39
X(3)	3	-0.1	-0.1	0.2			
X(4)	4	-0.0	-0.0	0.0	0.2		
X(5)	5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
X(6)	6	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	0.0	0.0
X(7)	7	0.0	-0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0
X(8)	8	0.0	0.0	-0.0	-0.0	0.0	0.0
X(9)	9	0.0	0.0	-0.0	-0.0	0.0	0.0
X(10)	10	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	0.0	0.0
X(11)	11	-0.0	-0.0	0.0	-0.0	0.0	-0.0
X(12)	12	0.0	-0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0
X(13)	13	-0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

		X(1)	X(2)	X(3)	X(4)	X(5)	X(6)
		1	2	3	4	5	6
X(14)	14	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	0.0	0.0
X(15)	15	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	0.0	0.0

		X(7)	X(8)	X(9)	X(10)	X(11)	X(12)
		7	8	9	10	11	12
X(7)	7	0.1					
X(8)	8	-0.0	0.1				
X(9)	9	-0.0	0.0	0.2			
X(10)	10	-0.0	0.0	0.2	0.2		
X(11)	11	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	0.1	
X(12)	12	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	0.2
X(13)	13	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0
X(14)	14	-0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0
X(15)	15	-0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0

		X(13)	X(14)	X(15)
		13	14	15
X(13)	13	0.0		
X(14)	14	0.0	0.1	
X(15)	15	-0.0	-0.0	0.0

POOLED WITHIN CLUSTER CORRELATIONS

		X(1)	X(2)	X(3)	X(4)	X(5)	X(6)
		1	2	3	4	5	6
X(1)	1	1.0000					
X(2)	2	-0.4413	1.0000				
X(3)	3	-0.5673	-0.3761	1.0000			

X(4)	4	-0.1048	-0.1829	0.0974	1.0000		
(5)	5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
(6)	6	-0.0534	0.1309	-0.0557	-0.0791	0.0000	1.0000
X(7)	7	0.2219	-0.2328	-0.0240	0.0774	0.0000	-0.1504
(8)	8	0.0633	0.0235	-0.0761	-0.0892	0.0000	0.1684
(9)	9	0.0388	0.0441	-0.0411	-0.0619	0.0000	0.1568
X(10)	10	-0.0095	0.0631	-0.0078	-0.0959	0.0000	0.1550
X(11)	11	-0.0940	-0.1424	0.3253	-0.1766	0.0000	-0.0834
(12)	12	0.0767	-0.1688	-0.0352	0.1602	0.0000	-0.0573
(13)	13	-0.0593	0.0250	0.0405	0.0777	0.0000	0.0511

		X(1)	X(2)	X(3)	X(4)	X(5)	X(6)
		1	2	3	4	5	6
(14)	14	-0.1223	0.2491	-0.0408	-0.0725	0.0000	0.0314
(15)	15	0.1890	-0.0313	-0.1074	-0.1132	0.0000	0.0000

		X(7)	X(8)	X(9)	X(10)	X(11)	X(12)
		7	8	9	10	11	12
(7)	7	1.0000					
(8)	8	-0.1539	1.0000				
X(9)	9	-0.0713	0.2542	1.0000			
(10)	10	-0.0792	0.2206	0.8820	1.0000		
(11)	11	-0.0108	-0.0588	-0.1500	-0.1570	1.0000	
X(12)	12	-0.1154	-0.0580	-0.2323	-0.1468	-0.0292	1.0000
(13)	13	0.0620	-0.0078	-0.0562	-0.0448	-0.0765	-0.1732
(14)	14	-0.0771	0.0100	0.0759	0.0433	-0.1022	-0.0144
X(15)	15	-0.0319	0.1056	0.0190	0.0929	-0.0268	0.1479

		X(13)	X(14)	X(15)
		13	14	15
(13)	13	1.0000		
X(14)	14	0.0000	1.0000	
X(15)	15	-0.1222	-0.1385	1.0000

ANEXO 10.

MATRIZ DE CORRELACIONES.

	Cl	SO4	HCO3	NO3	Na	Mg
Cl	1.0000	.9146	.2291	-.1789	.8825	.9546
SO4	.9146	1.0000	.3177	-.1325	.9751	.9779
HCO3	.2291	.3177	1.0000	-.3264	.2383	.3591
NO3	-.1789	-.1325	-.3264	1.0000	-.0296	-.1561
Na	.8825	.9751	.2383	-.0296	1.0000	.9517
Mg	.9546	.9779	.3591	-.1561	.9517	1.0000
Ca	.9180	.9299	.5425	-.2721	.8657	.9610
K	.0727	.1993	-.1279	.3091	.3503	.2113
pH	-.2123	-.3593	-.4134	-.3128	-.3927	-.3280
Cduc	.9176	.9874	.2826	-.1023	.9790	.9700
NO2	-.3760	-.3763	-.3545	.7496	-.3203	-.4026
NH4	-.3682	-.4230	-.4598	.6406	-.3814	-.4430
SiO2	.1261	.3569	.2221	.4273	.4199	.3166

	Ca	K	pH	Conduct	NO2	NH4
Cl	.9180	.0727	-.2123	.9176	-.3760	-.3682
SO4	.9299	.1993	-.3593	.9874	-.3763	-.4230
HCO3	.5425	-.1279	-.4134	.2826	-.3545	-.4598
NO3	-.2721	.3091	-.3128	-.1023	.7496	.6406
Na	.8657	.3503	-.3927	.9790	-.3203	-.3814
Mg	.9610	.2113	-.3280	.9700	-.4026	-.4430
Ca	1.0000	.0600	-.3173	.9069	-.4597	-.4999
K	.0600	1.0000	-.1922	.1993	.0917	.0118
pH	-.3173	-.1922	1.0000	-.3586	-.1564	-.0107
Cndct	.9069	.1993	-.3586	1.0000	-.3689	-.4135
NO2	-.4597	.0917	-.1564	-.3689	1.0000	.9731
NH4	-.4999	.0118	-.0107	-.4135	.9731	1.0000
SiO2	.2712	.4600	-.4118	.3467	-.0228	-.2216

	SiO2	Fe	Mn	Al	Mo	NT
Cl	.1261	.2323	-.2815	.5792	.1401	.2547
SO4	.3569	.0725	-.2893	.3886	.0721	.3722
HCO3	.2221	-.0453	.1986	.0424	-.0330	-.2622
NO3	.4273	.4455	-.1731	.1241	.2627	.7507
Na	.4199	.1572	-.3176	.4188	.1554	.4895
Mg	.3166	.1912	-.3188	.5168	.1073	.3295
Ca	.2712	.1395	-.2169	.4979	.0707	.1759
K	.4600	.3590	-.2664	.1753	.0963	.4866
pH	-.4118	-.2712	-.4199	-.1577	-.1764	-.3424
Cndct	.3467	.0913	-.3083	.4150	.1203	.4112
NO2	-.0228	.3326	.0204	-.1289	-.0586	.3563
NH4	-.2216	.2880	.0293	-.1540	-.1337	.2328
SiO2	1.0000	.1047	-.3367	.1875	.3825	.6852

	PT	Fosfato
Cl	-.6334	-.6371
SO4	-.5725	-.5971
HCO3	-.2251	-.3355
NO3	.5798	.7912
Na	-.5079	-.5209
Mg	-.5867	-.6153
Ca	-.6485	-.6786
K	.1602	.2027
pH	-.1865	-.1935
Conduct	-.5577	-.5840
NO2	.3948	.8175
NH4	.3317	.7547
SiO2	.0580	.0811

	Cl	SO4	HCO3	NO3	Na	Mg
Fe	.2323	.0725	-.0453	.4455	.1572	.1912
Mn	-.2815	-.2893	.1986	-.1731	-.3176	-.3188
Al	.5792	.3886	.0424	.1241	.4188	.5168
Mo	.1401	.0721	-.0330	.2627	.1554	.1073
NT	.2547	.3722	-.2622	.7507	.4895	.3295
PT	-.6334	-.5725	-.2251	.5798	-.5079	-.5867
PO4	-.6371	-.5971	-.3355	.7912	-.5209	-.6153

	Ca	K	pH	Conduct	NO2	NH4
Fe	.1395	.3590	-.2712	.0913	.3326	.2880
Mn	-.2169	-.2664	-.4199	-.3083	.0204	.0293
Al	.4979	.1753	-.1577	.4150	-.1289	-.1540
Mo	.0707	.0963	-.1764	.1203	-.0586	-.1337
NT	.1759	.4866	-.3424	.4112	.3563	.2328
PT	-.6485	.1602	-.1865	-.5577	.3948	.3317
Fosf	-.6786	.2027	-.1935	-.5840	.8175	.7547

	SiO2	Fe	Mn	Al	Mo	NT
Fe	.1047	1.0000	-.0161	.7124	.0692	.4681
Mn	-.3367	-.0161	1.0000	-.2308	-.1191	-.3958
Al	.1875	.7124	-.2308	1.0000	.4396	.3629
Mo	.3825	.0692	-.1191	.4396	1.0000	.2567
NT	.6852	.4681	-.3958	.3629	.2567	1.0000
PT	.0580	.0328	.2220	-.2661	.1354	.0716
Fosf	.0811	.2380	.1469	-.2010	.0796	.2635

	PT	Fosfato
Fe	.0328	.2380
Mn	.2220	.1469
Al	-.2661	-.2010
Mo	.1354	.0796
NT	.0716	.2635
PT	1.0000	.8338
Fosf.	.8338	1.0000

ANALISIS POR COMPONENTES PRINCIPALES. VALORES PROPIOS Y
CORRELACIONES DE LAS VARIABLES CON LOS 4 PRIMEROS COMPONENTES
PRINCIPALES.

Component Number	Percent of Variance	Cumulative Percentage
1	39.90946	39.90946
2	22.26401	62.17348
3	9.23187	71.40535
4	7.94555	79.35090
5	6.63957	85.99046
6	4.57727	90.56773
7	3.53171	94.09944
8	2.26805	96.36749
9	2.06590	98.43338
10	.64226	99.07564
11	.46018	99.53582
12	.25547	99.79129
13	.09780	99.88909
14	.05587	99.94496
15	.03114	99.97610
16	.01168	99.98777

Variable	PC-1	PC-2	PC-3	PC-4
Cl	0.9236	0.0788	0.1473	-0.2418
SO4	-0.5725	0.9509	0.1369	-0.0107
HCO3	0.4146	-0.2569	-0.6500	-0.0546
NO3	-0.2970	0.9118	-0.0138	0.0222
Na	0.9239	0.2649	0.0057	0.0061
Mg	0.9716	0.1350	0.1350	0.0173
Ca	0.9607	-0.0111	-0.0868	-0.1600
K	0.1613	0.5496	0.0387	0.3121
pH	-0.2649	-0.4486	0.7741	0.2000
Conduct	0.9457	0.1662	0.0119	-0.0448
NO2	-0.5609	0.6308	0.0902	-0.3699
NH4	-0.6009	0.5044	0.2252	-0.4559
SiO2	0.3403	0.5572	-0.2588	0.4932
Fe	0.1132	0.6132	0.0643	-0.4675
Mn	-0.2977	-0.2534	-0.6794	-0.4042
Al	0.5128	0.3751	0.1638	-0.2150
Mo	0.1469	0.3310	-0.1167	0.3960
NT	0.2578	0.8697	0.1347	0.1347
PT	-0.6723	0.3640	-0.3417	0.2344
Fosfato	-0.7469	0.6074	-0.1624	-0.0286

**ANALISIS FACTORIAL. VALORES PROPIOS Y MATRIZ DE LOS COMPONENTES
ROTADOS.**

Var	Communality	Factor	Eigenvalue	Percent Var	Cum Percent
Cl	1.00000	1	7.98189	39.9	39.9
SO4	1.00000	2	4.45280	22.3	62.2
HCO3	1.00000	3	1.84637	9.2	71.4
NO3	1.00000	4	1.58911	7.9	79.4
Na	1.00000	5	1.32791	6.6	86.0
Mg	1.00000	6	.91545	4.6	90.6
Ca	1.00000	7	.70634	3.5	94.1
K	1.00000	8	.45361	2.3	96.4
pH	1.00000	9	.41318	2.1	98.4
Cndct	1.00000	10	.12845	0.6	99.1
NO2	1.00000	11	.09204	.5	99.5
NH4	1.00000	12	.05109	.3	99.8
SiO2	1.00000	13	.01956	.1	99.9
Fe	1.00000	14	.01117	.1	99.9
Mn	1.00000	15	.00623	.0	100.0
Al	1.00000	16	.00234	.0	100.0
Mo	1.00000	17	.00122	.0	100.0
NT	1.00000	18	.00097	.0	100.0
PT	1.00000	19	.00019	.0	100.0
Fosfato	1.000	20	.00007	.0	100.0

Variable	FACTOR-1	FACTOR-2	FACTOR-3	FACTOR-4
Cl	0.967827	-0.051631	0.013827	-0.003008
SO4	0.919607	-0.148154	0.219529	0.100499
HCO3	0.271397	-0.382398	-0.018929	0.665671
NO3	-0.184429	0.756738	0.559888	0.000629
Na	0.893847	-0.075900	0.338275	0.068696
Mg	0.958005	-0.122404	0.180894	0.088853
Ca	0.931111	-0.212554	0.061877	0.200481
K	0.127841	0.192250	0.602985	-0.099568
pH	- .232945	-0.255201	-0.332177	-0.825145
Conduct	0.919050	-0.126183	0.239959	0.076561
NO2	-0.332074	0.863411	0.031582	-0.018112
NH4	-0.336879	0.850546	-0.143562	-0.129498
SiO2	0.169633	-0.055046	0.886168	0.126089
Fe	0.321447	0.703840	0.073143	0.084867
Mn	-0.297796	0.025469	-0.386960	0.733961
Al	0.611180	0.278540	0.151328	-0.052538
Mo	0.040451	-0.039298	0.545895	0.021559
NT	0.315947	0.509722	0.697432	-0.135345
PT	-0.711663	0.284701	0.347554	0.218793
Fosfato	-0.648857	0.666972	0.272865	0.116827