

# CALIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE JIMENA DE LA FRONTERA (CÁDIZ).

*María Isabel Parente Barrero / Manuel Pedro Manuel Vez*

## RESUMEN.

En el presente artículo se presenta un estudio de aguas de manantiales y pozos del municipio de Jimena de la Fra, las cuales en la actualidad son objeto de consumo, bien para la bebida o para la agricultura. El objetivo ha sido determinar la calidad de las aguas y sus posibles usos. Para ello, se han evaluado las características físico-químicas y biológicas de las mismas, relacionándolas con la geología, hidrología y otros aspectos importantes de la zona, tales como focos de contaminación, pluviometría, etc.

En el trabajo se comentan y justifican los criterios de selección y características de las estaciones de muestreo y se exponen los métodos analíticos requeridos para la determinación de parámetros índices de calidad de las aguas. A la luz de los resultados experimentales y sus representaciones gráficas, se discuten los mismos y se contrastan con las fuentes bibliográficas. Finalmente, después del examen de las características físico-químicas y microbiológicas de las aguas estudiadas, se proponen actuaciones para mejorar su calidad, así como los posibles usos de las mismas.

## 1. INTRODUCCIÓN.

La composición química del agua subterránea natural se define a partir de los análisis de las muestras recogidas adecuadamente y se cuantifica por medio de la concentración de cada constituyente analizado. Aunque son más de 60 los parámetros específicos y no específicos del agua subterránea natural que pueden encontrarse cuantificados en análisis químicos y microbiológicos, en el presente estudio se han seleccionado 22 parámetros fundamentales.

Los factores que condicionan la composición del agua subterránea natural son múltiples. Entre ellos, cabe citar: la naturaleza y disposición espacial de los materiales con los que el agua entra en contacto, la temperatura, la presión, la existencia de gases, el grado de saturación del agua en relación con las distintas sustancias incorporables, etc. Aunque la composición media del agua subterránea suele considerarse invariable en un acuífero o porción del mismo, no debe olvidarse que las interacciones agua-medio son procesos dinámicos, tanto en el espacio como en el tiempo. Una composición química concreta no queda definida si no se refiere a un lugar y momento determinados.

Las aguas subterráneas están siendo contaminadas como consecuencia del extraordinario desarrollo que ha sufrido la contaminación de las superficiales, que al llegar a determinadas zonas de fácil penetración se mezclan con las subterráneas, contaminando peligrosamente los acuíferos. Está pues en entredicho el criterio, que aún se sustenta, de que las fuentes ideales para la captación de agua con potabilidad adecuada para la bebida son en principio las aguas profundas (manantiales y pozos), y en su defecto las corrientes de agua en su origen.

Las aguas subterráneas son, de todas maneras, más aptas para su uso que las superficiales. En primer lugar sufren una filtración (paso del agua a través de los intersticios de un medio constituido por materiales que presentan ciertas características de permeabilidad), con la consiguiente eliminación de bacterias en mayor o menor cuantía; ello es dependiente de la naturaleza, estructura y composición del suelo, de la profundidad de los estratos por los cuales se filtra el agua y de las determinadas características de la misma.

El concepto de «calidad» nace cuando la composición y características del agua se consideran bajo el punto de vista de una utilización o aplicación determinada. Aunque la composición en un instante y lugar determinados es única, la calidad puede ser múltiple y no queda perfectamente definida hasta que el uso a que se destine el agua no quede especificado. Se habla entonces de calidad para la bebida, para la agricultura, para cierto tipo de industria, etc. Una vez conocidos los efectos de cada una de las sustancias que contiene el agua o del conjunto de todas ellas se establece, mediante las normas e indicadores de calidad, la posible utilización de un agua de composición definida en cada caso concreto.

## 2. LOS MANANTIALES Y POZOS ESTUDIADOS Y SU ENCUADRE GEOLÓGICO.

### 2.1 Criterios de selección de las estaciones de muestreo.

Se han seleccionado todos los manantiales que se usan actualmente como fuente de abastecimiento público o como recurso aprovechable para la práctica del regadío. En cuanto a la selección de los pozos, debido a la existencia de gran número de los mismos en el municipio de Jimena de la Frontera, se ha recurrido a la toma de muestra aleatoria, siempre que fueran las estaciones de muestreo representativas de las principales áreas de la población.

### 2.2 Denominación, situación y estado de los manantiales seleccionados.

La ubicación de los manantiales objeto del estudio puede observarse en el plano titulado «Fuentes, molinos y otros restos de interés», realizado por la *Escuela Taller Almina* de Jimena de la Frontera. Asimismo, las coordenadas de los puntos de muestreos han sido obtenidas del «Mapa topográfico de Andalucía nº 1071 1-2». En la figura nº1 (extracto del mapa topográfico de Andalucía antes mencionado), puede observarse la situación de los manantiales y pozos seleccionados.

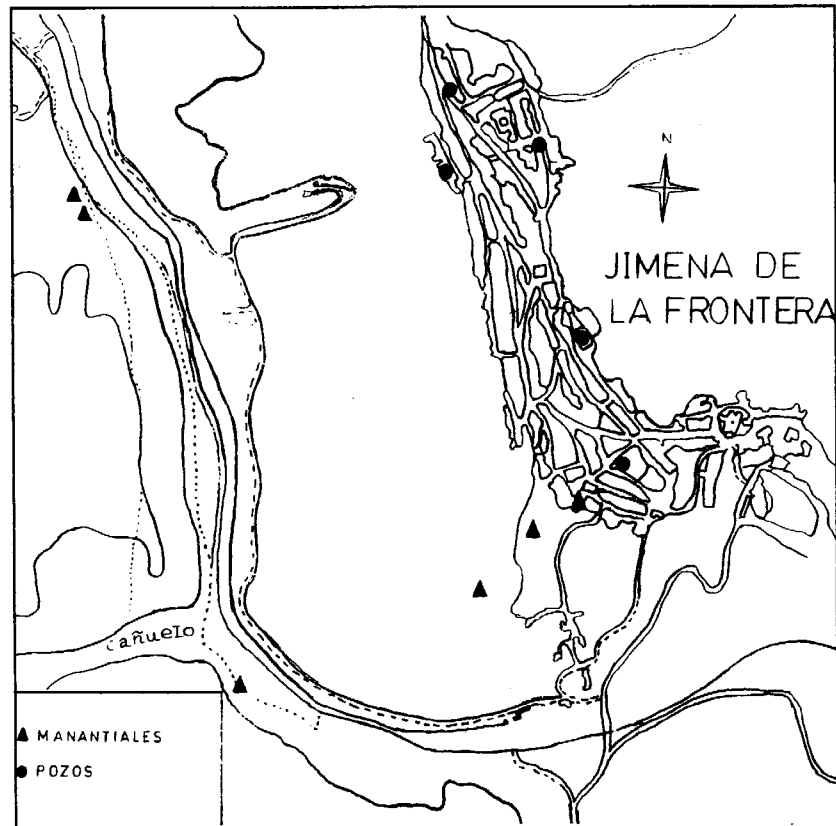


Figura 1. Situación de los manantiales y pozos seleccionados.

## MANANTIAL M1 - REGÜÉ

El nacimiento del manantial Regüé, está situado a unos metros por encima de la fuente entre rocas de areniscas. Posee una antigua conducción hecha con tubos de arcilla cocida, para llevar el agua desde el nacimiento hasta el depósito. En el momento de la realización de la primera toma de muestra el depósito de almacenamiento de la fuente se encontraba bastante deteriorado, no siendo posible acceder a su agua en las sucesivas tomas. El agua de esta fuente es habitualmente consumida por los habitantes del municipio. La fuente está situada a 30 m sobre el nivel del mar; se puede acceder a ella atravesando el río por la presa en los meses de estiaje, o bien por un camino que bordea el río Hozgarganta y llega hasta la misma fuente. Sus coordenadas son: 36; 25' 45.62" latitud N.; 5; 23' 50.72" longitud O.

## MANANTIAL M2 - LA TEJA.

La fuente de La Teja se encuentra en un cerro justo detrás del castillo, en la orilla izquierda del río Hozgarganta. Su nacimiento está situado a unos metros del depósito de almacenamiento del agua, siendo transportadas sus aguas mediante una conducción restaurada recientemente. Posee una cota de 60 m, con unas coordenadas de: 36; 26' 13.58" latitud N.; 5; 23' 31.95" longitud O.

## MANANTIAL M3 - CHORRO DE LA TEJA.

La fuente Chorro de la Teja se localiza sólo a unos metros de la anterior, como puede observarse en la fig. n°1, estando el nacimiento ubicado a pocos metros de la misma. Debido a la inexistencia de depósito, grifo o cualquier accesorio que facilite el acceso al agua, ésta debe ser tomada directamente de la conducción. Por esta razón sus aguas están directamente expuestas a cualquier tipo de contaminación ambiental. Está situada a una cota de 60 m y siendo sus coordenadas las siguientes: 36; 26' 14.88" latitud N.; 5; 23' 31.26" longitud O.

## MANANTIAL M4 - CHORRO DE LA CALLE.

La fuente Chorro de la Calle, se encuentra dentro del casco histórico de Jimena, y concretamente en el callejón Chorro de la Calle. No obstante, su nacimiento se encuentra ubicado en las afueras de la población, en una zona destinada a actividades agrícolas. Su cota es de 90 m y con unas coordenadas según el plano topográfico de 36; 25' 57.00" latitud N.; 5; 24' 37.30" longitud O.

## MANANTIAL M5 - CHORRO DE LOS PÓSITOS.

El nacimiento de esta fuente se sitúa a unos 50 metros por encima de ella, posee una conducción de ladrillo y teja desde el nacimiento hasta una arqueta, y de ésta al depósito. Es una fuente utilizada habitualmente para dar de beber al ganado estabulado en sus inmediaciones, o como recurso aprovechable para la práctica del regadío de huertas cercanas. Puede observarse la existencia de residuos sólidos de carácter urbano en las cercanías del manantial, cuyo lixiviado podría afectar a la calidad de las aguas. Se encuentra ubicada a 100 m sobre el nivel del mar, entre rocas de areniscas en las laderas del castillo. Sus coordenadas según el plano topográfico son: latitud N.: 36; 25' 54.73" ; longitud O.: 5; 24' 30.34".

## MANANTIAL M6 - LA POZA LEJOS.

Esta fuente y su nacimiento podemos encontrarlos en las laderas del castillo, entre grandes rocas de areniscas. Últimamente ha sido restaurada. Sus coordenadas son: 36; 25' 50.83" latitud N.; 5; 24' 24.78" longitud O., estando situada a una cota de 95 m.

### 2.3 Situación y estado de los pozos seleccionados.

La ubicación de los distintos puntos de muestreo es la siguiente: C/ Llana n; 24 A (P1), C/ Fuente Nueva n; 31 (P2), C/ Quirós n; 2 (P3), C/ Llanete n; 12 (P4), C/ San Sebastián n; 7 (P5).

En cuanto al estado de los pozos hay que indicar que en términos generales presentan un estado bastante bueno, a excepción del pozo ubicado en la calle Llanete n° 12, el cual presenta materiales de diversa índole en su interior. Las aguas de los pozos en ningún caso son utilizadas para consumo humano, pero sí para labores domésticas; excepto las aguas pertenecientes al pozo ubicado en la calle Llana 24 A, que se usan para regar un pequeño huerto.

# Medio Ambiente

## 2.4 El sistema aluvial Guadiaro-Hozgarganta. Características hidrogeológicas.

Para describir las características hidrogeológicas de las aguas objeto del estudio, debe considerarse separadamente las correspondientes a los manantiales M1, M2 y M3 (situados en la vega aluvial del río Hozgarganta), y las del resto de las aguas.

### 2.4.1 Características hidrogeológicas de los manantiales M1, M2 y M3.

Los materiales de base están constituidos por areniscas del Algibe, siendo los estratos superiores depósitos cuaternarios. Esto es debido a la cercanía existente entre los manantiales y el río Hozgarganta. Se trata de depósitos detríticos cuaternarios, constituidos por gravas, arenas y limos, que proporcionan una permeabilidad alta; ello está relacionado, entre otras razones, con la alta porosidad (entre un 35 a un 40%) de los terrenos sobre los que se encuentran ubicados los manantiales. Su nivel impermeable lo constituyen las gravas y arcillas triásicas o las margas del Mioceno superior y, en algunos casos, las arcillas del complejo del Campo de Gibraltar.

El nivel hidrogeológico podría constituirlo el propio río, de forma que en períodos de crecida será el río el que ceda el agua al acuífero y en época de estiaje al contrario. Ésta podría ser la causa principal de la contaminación microbiológica de estos manantiales. Son acuíferos libres y sus niveles freáticos están en contacto con el aire contenido en los poros del material, encontrándose sus aguas a presión atmosférica. Debido a las grandes fluctuaciones del caudal que presentan estos manantiales, unido a la ubicación de los mismos, es de suponer que pertenecen al tipo de fuentes denominadas de embalse.

Los manantiales se encuentran ubicados sobre suelos de vega aluvial, según el «*Estudio agrobiológico de la provincia de Cádiz (1963)*», presentando las siguientes características generales: 1ª) Suelos de pH ligeramente alcalinos (entre 7 y 8); con contenido en carbonato cálcico en todo el perfil, de composición aproximada 1.6 % de CaCO<sub>3</sub>. Presentan proporciones variables en materia orgánica (1 y 3%), siendo el contenido en potasio entre 20 y 30 mg/100g expresado como K<sub>2</sub>O. 2ª) Permeabilidad y drenaje medio o bueno. 3ª) Suelen mostrar buena capacidad de retención de agua, manteniendo la humedad en superficie, y siempre húmedos y frescos en el subsuelo. 4ª) De color pardo-rojizo, estructura grumosa y textura arenolimsa.

### 2.4.2 Características hidrogeológicas de los manantiales M4, M5, M6 y los pozos.

Los materiales sobre los que se encuentran ubicados los pozos estudiados y los manantiales M4, M5 y M6, están constituidos por Areniscas del Algibe, pudiendo considerarse que sus aguas proceden de los llamados acuitardos de las Areniscas del Algibe. Se trata de materiales compactos de naturaleza silíceo, con permeabilidad baja, debido a la cementación de los granos de cuarzo. El agua se incorpora al subsuelo a través de las superficies de discontinuidad de los materiales, produciéndose acumulaciones más bien bajas y de relativo interés.

Las areniscas del Algibe debido a su relativa impermeabilidad y potencia no permiten la existencia de cavidades internas y, por tanto, no permiten la existencia de grandes manantiales. La porosidad de la roca permite que la humedad se infiltre, pero la inexistencia de un substrato impermeable impide la formación de un subálveo importante. Las denominadas Arcillas de Base del Algibe constituyen por lo general el nivel impermeable de las formaciones areniscosas más permeables, comportándose generalmente estos materiales como acuitardos, es decir, terrenos que son capaces de almacenar agua pero que la transmiten muy lentamente.

Los sedimentos arcillosos y las areniscas más fracturadas y meteorizadas son responsables de la escasa y lenta circulación del agua subterránea. Los materiales arcillosos constituyen un elemento de autodepuración de filtraciones de gran importancia, debido a la escasa velocidad de circulación, lo cual facilita la eliminación de materia orgánica y el intercambio iónico en las mismas.

El tipo de suelo sobre el que se encuentran ubicados los manantiales y los pozos es lehm margoso bético, (*Estudio agrobiológico de la provincia de Cádiz. 1963*), presentando las siguientes características: 1ª) Textura arcillolimososa, formado sobre arcillas y margas ricas en elementos finos. Presenta una composición aproximada de: 12.5% de arena gruesa, 10.11% de arena fina, 39.40% de limo y 37.40% de arcilla. 2ª) Son de estructura algo grumosa en superficie, pero muy compacta en el resto del perfil; es muy pesado, casi impermeable y de drenaje deficiente. 3ª) Suelos calizos, pero con un contenido en CaCO<sub>3</sub> libre no excesivo; pH alcalino (entre 7.5 y 8), y de concentración en materia orgánica aceptable. 4ª) Constituyen los suelos de las colinas de tierras de «Bujeo», así como los llanos y zonas de arrastre coluviales.

### 3. FUNDAMENTOS DE LA METODOLOGÍA USADA PARA EL ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS.

En el estudio analítico se han estudiado más de 20 parámetros contemplados en la Reglamentación Técnico-Sanitaria Española pudiéndose clasificar en los siguientes grupos: organolépticos, físico-químicos y microbiológicos. Como caracteres organolépticos se han evaluado el color, olor y turbidez; asimismo se han determinado los caracteres físico-químicos: pH, conductividad, residuo seco, alcalinidad, dureza total, cloruros, sulfatos, nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal, calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro y manganeso.

Los valores acerca de los parámetros microbiológicos han sido cedidos por el Distrito Sanitario Algeciras-La Línea, realizándose los análisis en el Laboratorio Provincial de Salud Pública de Cádiz. Se han obtenido datos acerca de las bacterias aerobias, coliformes fecales, coliformes totales, clostridium sulfitorreductores y estreptococos fecales. Las bases principales para la elección de los parámetros analizados han sido las directrices indicadas en el artículo 24 apartado 24.5 de la Reglamentación Técnico-Sanitaria Española, así como el artículo 23 apartado 23.5 de la citada reglamentación, en los cuales se indican los parámetros que deben determinarse para la realización de un análisis mínimo y normal previo a la explotación de un recurso hídrico. No obstante, se han estudiado otros parámetros no incluidos en el análisis mínimo y normal, por considerarse de interés en la caracterización química y microbiológica de las aguas.

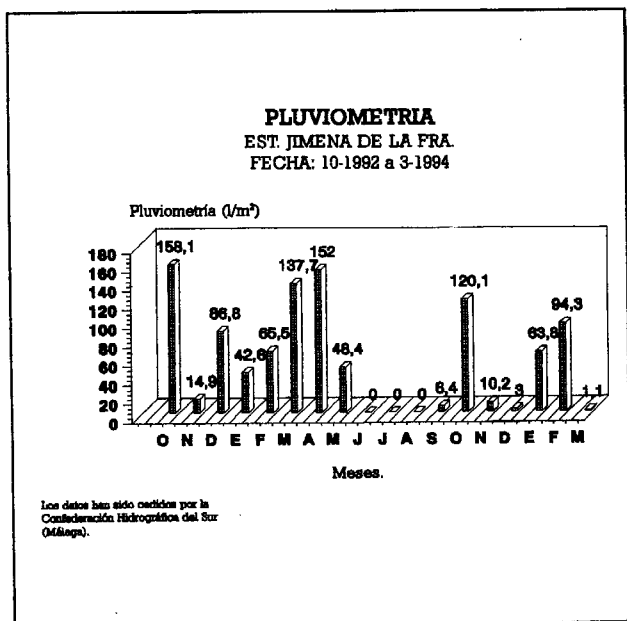


Figura nº 2

# Medio Ambiente

## 3.1 Toma de muestra.

El objetivo a conseguir con la misma es la obtención de un volumen de agua representativa del agua suministrada por el manantial o pozo en el momento del muestreo. Se han realizado dos tomas de muestra para los análisis físicoquímicos y dos tomas de muestra para los microbiológicos. En la anterior gráfica (fig. nº2) se indican los datos pluviométricos recogidos en el Ayuntamiento de Jimena de la Frontera y cedidos por la Confederación Hidrográfica del Sur en el período de tiempo correspondiente a la realización del presente estudio.

| MÉTODOS EMPLEADOS EN ANÁLISIS |  |   |
|-------------------------------|--|---|
| MÉTODO                        | DENOMINACIÓN   | PARÁMETROS EVALUADOS  |
| ÓPTICOS                       | Nefelométricos<br>Absorción molecular (UV)<br>Absorción molecular (Vis)<br><br>Emisión de llama.<br>Absorción atómica. | Turbidez y sulfatos.<br>Nitratos.<br>Nitritos (Griess), nitratos (Brucina),<br>nitrógeno amoniacal, hierro (dPKPH).<br>Sodio y potasio.<br>Dureza total, calcio, magnesio, hierro, manganeso. |
| GRAVIMÉTRICOS                 | Desecación a 110° C y pesada.  | Residuo seco.   |
| VOLUMÉTRICOS                  | Método volumétrico.<br>Método de Mohr.   | Alcalinidad.<br>Cloruros.   |
| ELECTROANA-LÍTICOS            | Potenciométricos.<br>Conductimétricos.   | pH.<br>Conductividad.   |

## 3.2 Métodos analíticos utilizados.

Para la elección de los distintos métodos analíticos se han usado como referencia los indicados en el apartado H de la Reglamentación Técnico-Sanitaria Española, así como la metodología indicada en la orden 1 de Julio de 1987 por la que se aprueban los métodos oficiales para análisis físico-químicos en aguas potables de consumo público. Para la determinación de los parámetros índices de calidad de las aguas, se han utilizado métodos ópticos, gravimétricos, volumétricos, ópticos y electroanalíticos.

## 4. RESULTADOS EXPERIMENTALES.

En las siguientes gráficas se exponen los resultados obtenidos en los distintos análisis, indicando la muestra a la cual pertenecen. En aquellos casos en los que se indica que la concentración de un determinado parámetro es inferior a una cierta cantidad, ésta representa el límite inferior de detección del método utilizado en su determinación.

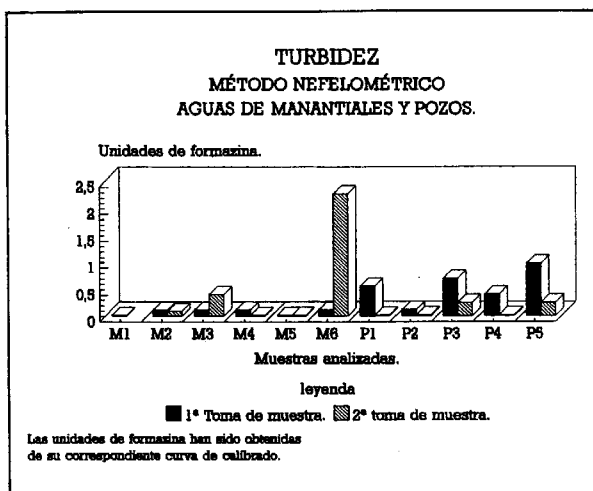


Gráfico 1.

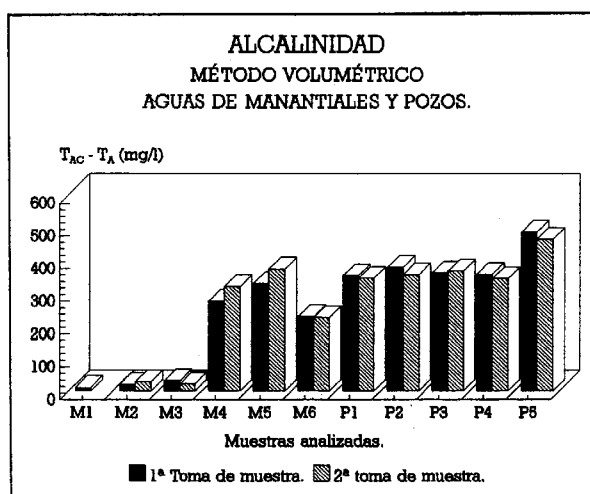


Gráfico 2.

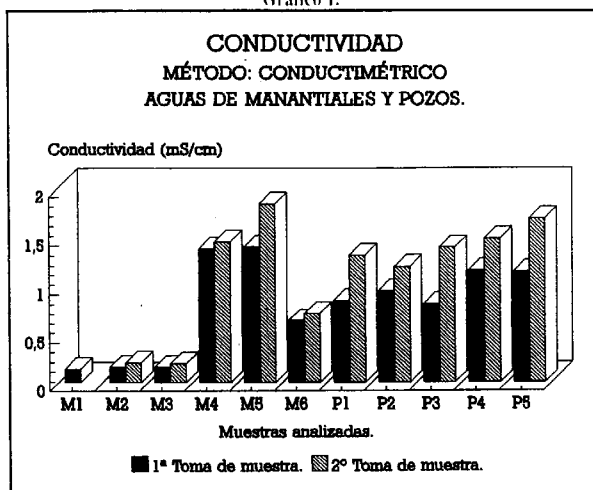


Gráfico 3.

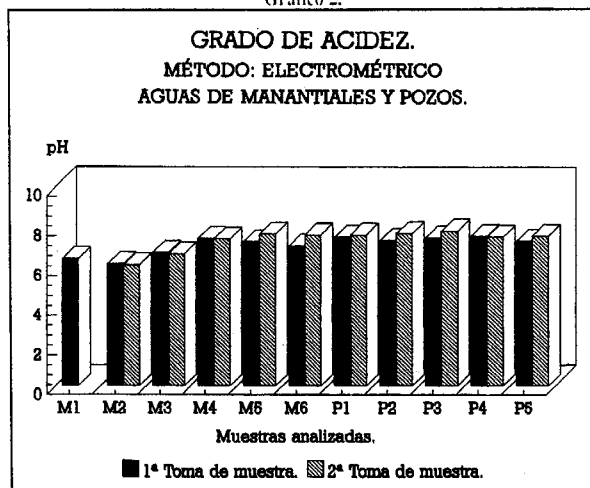


Gráfico 4.

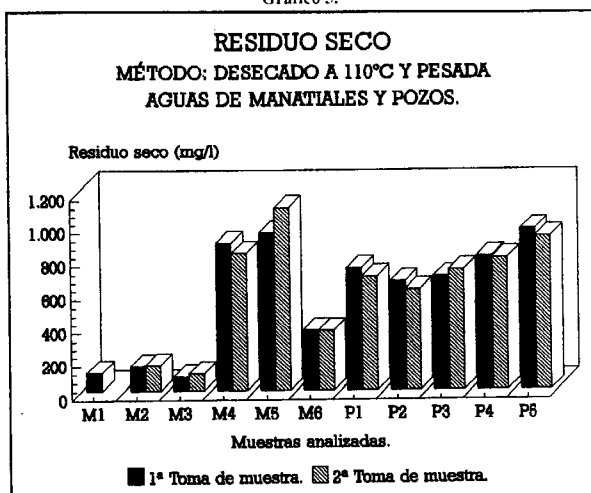


Gráfico 5.

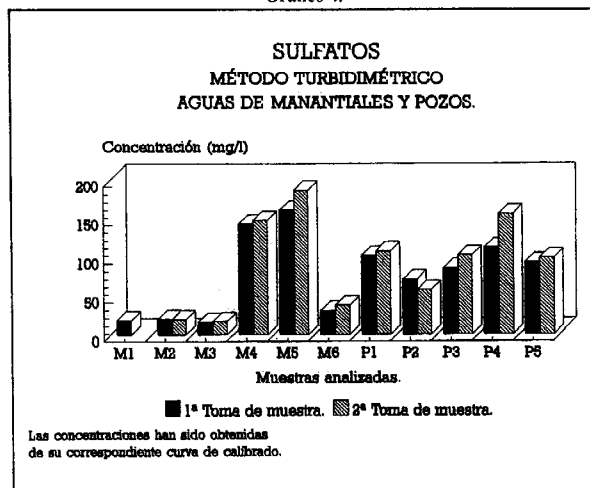


Gráfico 6.



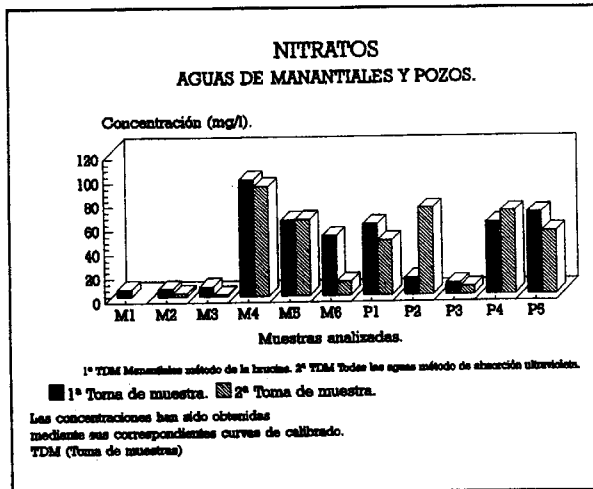


Gráfico 7.

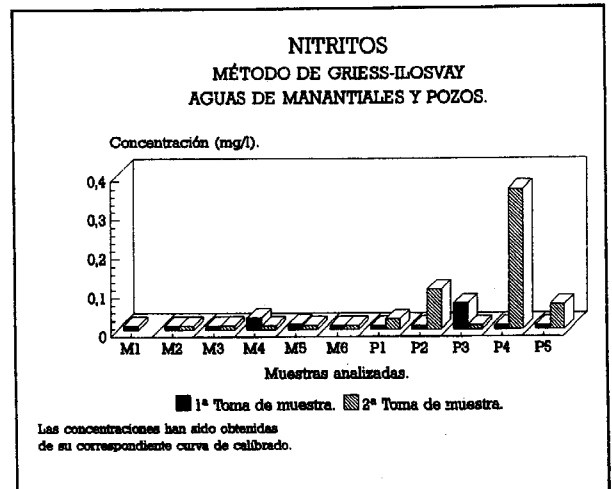


Gráfico 8.

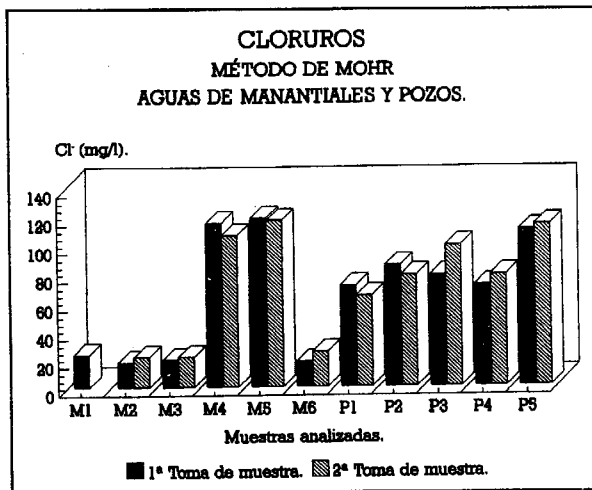


Gráfico 9.

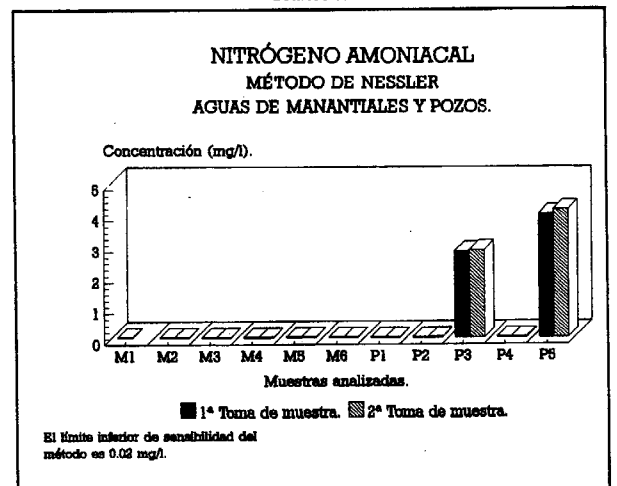


Gráfico 10.

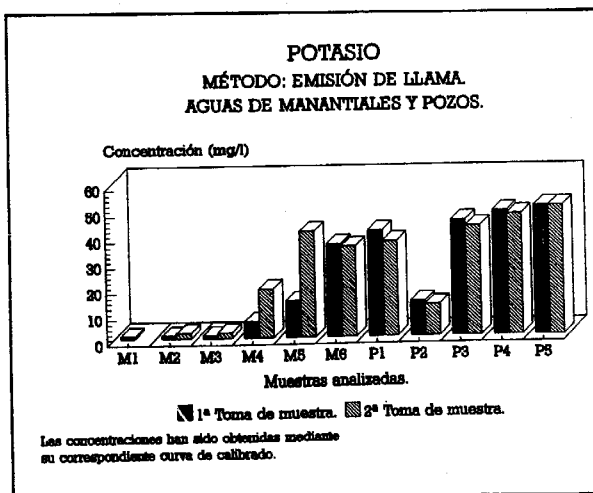


Gráfico 11.

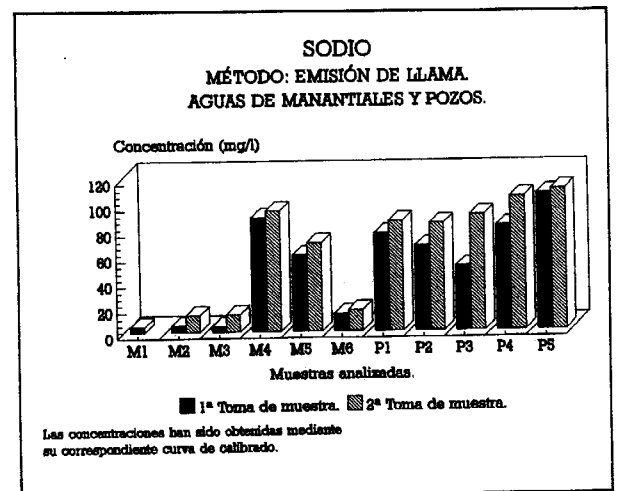


Gráfico 12.

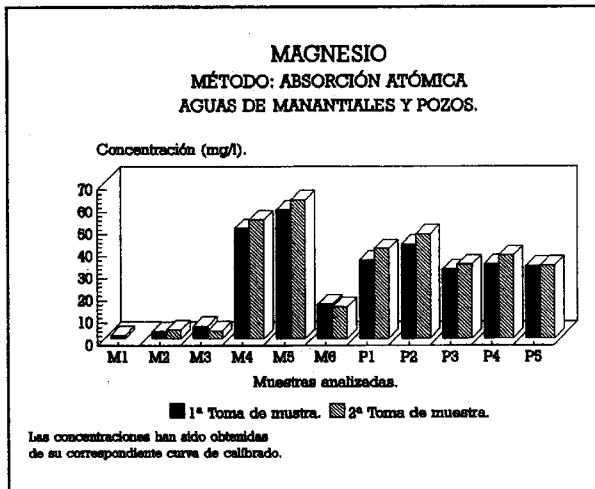


Gráfico 13.

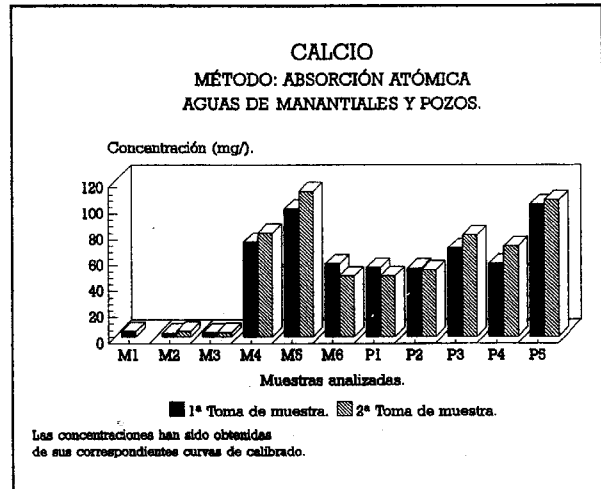


Gráfico 14.

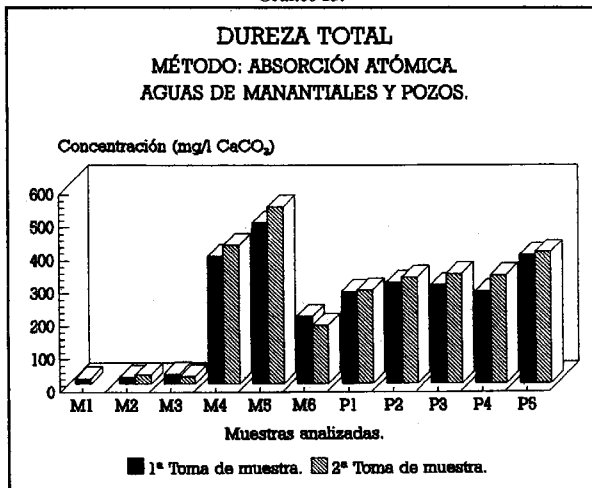


Gráfico 15.

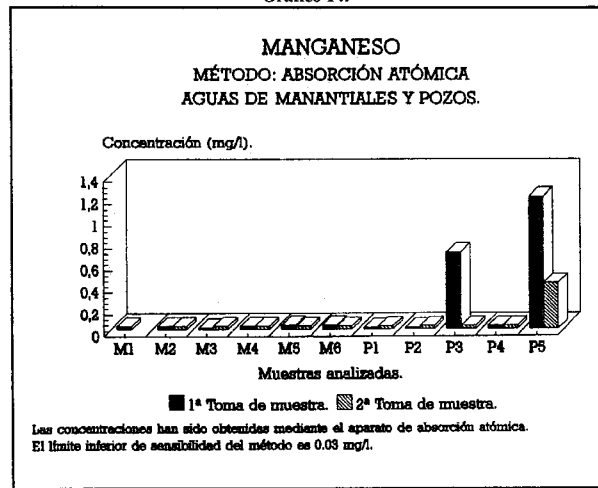


Gráfico 16.

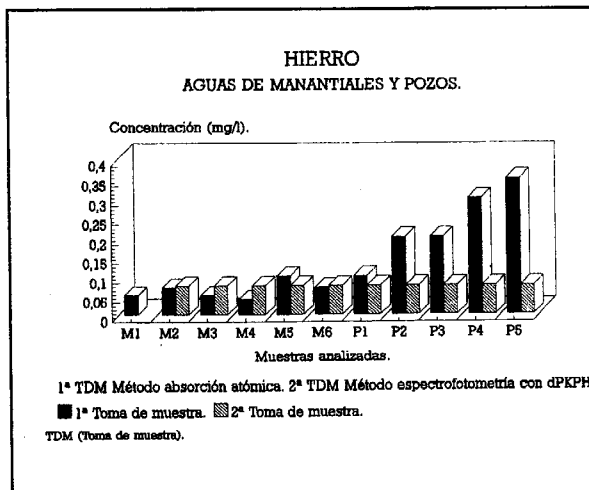


Gráfico 17.

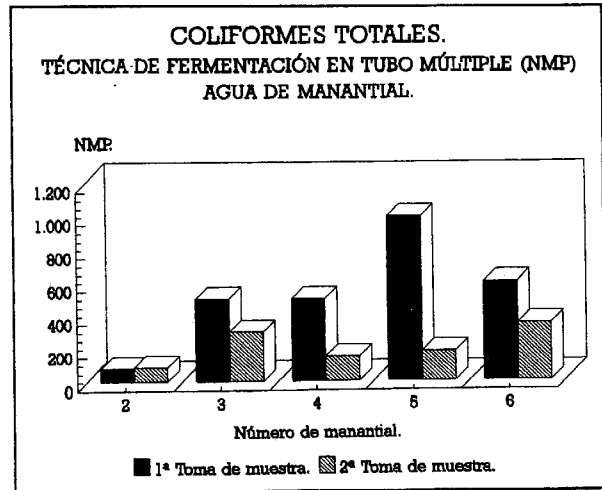


Gráfico 18.

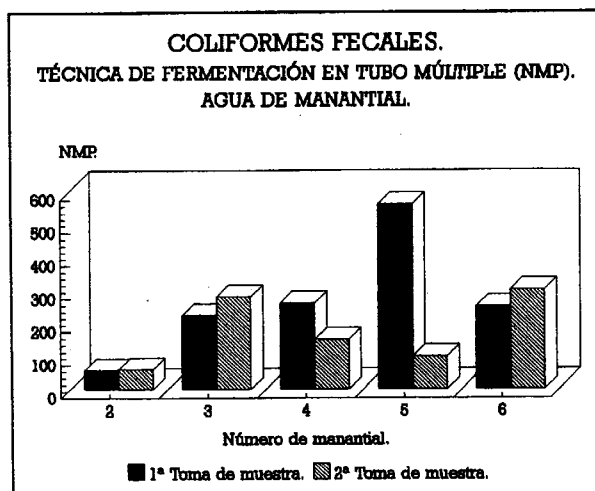


Gráfico 19.

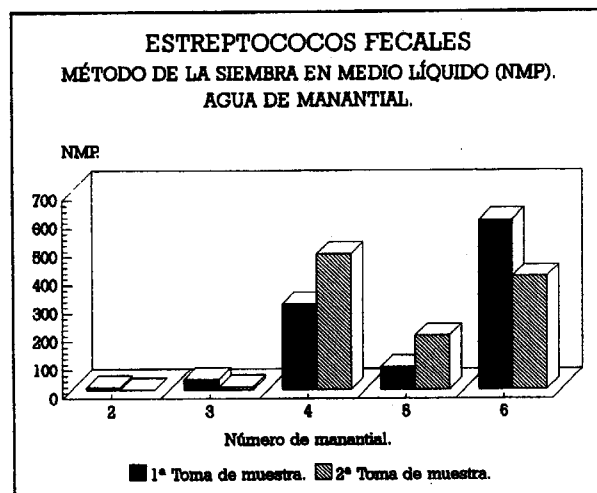


Gráfico 20.

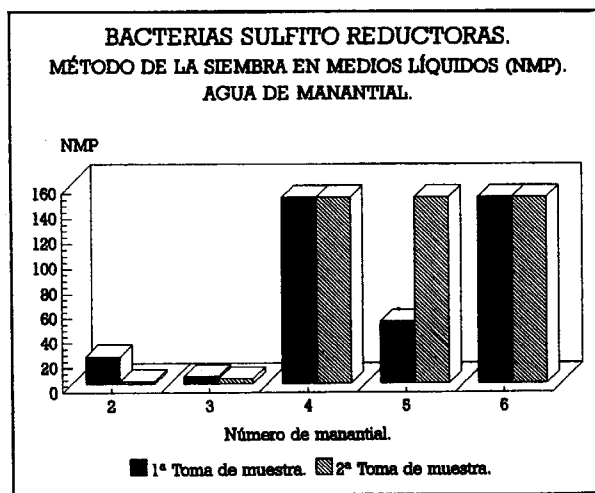


Gráfico 21.

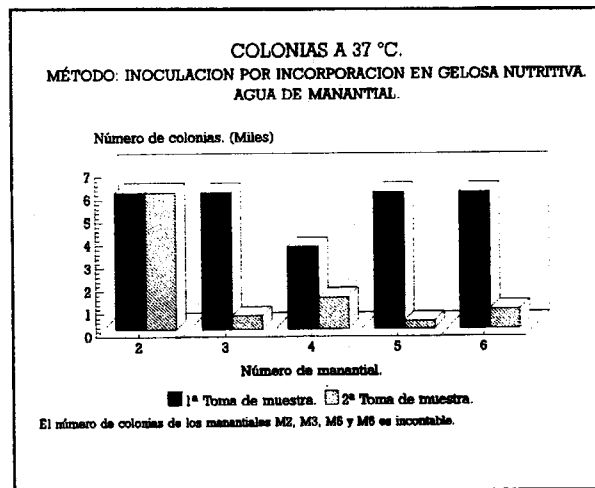


Gráfico 22.

## 5. CRITERIOS DE CALIDAD.

El criterio utilizado para determinar la calidad del agua para abastecimiento urbano se rige por el Real Decreto 1138/1990 de 14 de septiembre, por el que se aprueba la reglamentación técnico-sanitaria para abastecimiento y control de la calidad del agua para consumo público.

Para la utilización del agua en la agricultura, los criterios a tener en cuenta son: la concentración del agua del suelo, la composición iónica, la toxicidad específica etc. Por ello, se han utilizado distintos indicadores de calidad en agricultura como son: 1º) Clasificación del agua para riego en función del índice S.A.R. y la conductividad. 2º) El criterio de toxicidad, siguiendo la clasificación indicada por la FAO en cuanto a sodio y cloruros. 3º) La clasificación de las aguas en función del residuo seco y la conductividad según la FAO-UNESCO. 4º) Criterios generales de calidad para aguas de uso agrario, según el estado de Ontario Canadá, el cual es el único que nos indica la calidad microbiológica de un agua de riego.

Además de estos dos grandes aspectos, que son la utilización del agua para consumo humano o en la agricultura, se han establecido distintas clasificaciones en atención a parámetros individuales o a dos o más parámetros de calidad, los cuales, en la mayoría de los casos, nos indican el grado de contaminación del agua.

## 6. RESUMEN Y CONCLUSIONES.

### 6.1 Color, olor y turbidez.

Las aguas de manantial y las pertenecientes a los pozos P1, P2 y P4, no presentan olor ni color. En ningún caso la turbidez supera el nivel guía indicado en la R.T.S. En las aguas de los pozos P3 y P5 se puede percibir cierto olor a SH<sub>2</sub>, color amarillo-verdoso y cierta turbidez; no obstante, en ninguno de los pozos se superan los límites máximos admisibles indicados por la R.T.S.

### 6.2 Alcalinidad.

Los manantiales M1, M2, y M3 presentan una alcalinidad de excesivamente débil a muy débil. La alcalinidad del resto de las aguas es de fuerte a muy fuerte; esto último nos lleva a pensar en una posible contaminación de los manantiales M4, M5 y los pozos.

Las aguas de los tres primeros manantiales son hipocarbonatadas. Las del resto de los manantiales y pozos son carbonatadas normales, a excepción de las pertenecientes al pozo P5 que se caracterizan como hipercarbonatadas. (Schoeller, 1962). La concentración de bicarbonatos de los manantiales M1 y M2 es inferior a la concentración mínima admisible (para aguas ablandadas) indicada en la R.T.S. En el resto de las aguas se supera dicho límite. Las concentraciones encontradas en las aguas, así como las variaciones de las mismas pueden observarse en el gráfico 23:

### 6.3 Cloruros y sulfatos.

Las aguas de los manantiales M1, M2, y M3 son sulfatadas normales. Aguas selenitosas son las correspondientes a los pozos P1, P2, P3, y P5, así como las del manantial M6. Las aguas pertenecientes a los manantiales M4 y M5 se caracterizan como muy selenitosas. La variación en la concentración de sulfatos del pozo P4, nos lleva a clasificarla como agua «selenitosa a muy selenitosa».

A excepción de los tres primeros manantiales, el resto de las aguas (debido al contenido de sulfatos), son equiparables a las encontradas en los ríos contaminados. En términos generales, podría decirse que la concentración en cloruros que presentan todas las aguas estudiadas es equiparable a la encontrada en aguas más o menos contaminadas; no obstante, la clasificación de Shoeller (1962) caracteriza las aguas

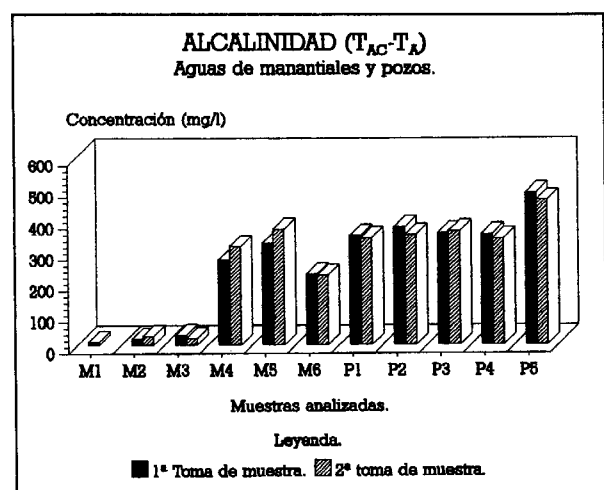


Gráfico 23.

# Medio Ambiente

como cloruradas normales. En el gráfico 24 se exponen las concentraciones de cloruros y sulfatos encontradas en las aguas, así como las variaciones producidas en dichas concentraciones: En ningún caso se superan las concentraciones máximas admisibles indicadas en la R.T.S.

## 6.4 Dureza.

Son aguas blandas las correspondientes a los manantiales M1, M2, y M3, siendo muy duras el resto. Debido a su baja dureza, las aguas de los tres primeros manantiales son de buena calidad (Gomella, 1954). El manantial M6 y el pozo P1 contienen aguas de mediana calidad, presentando una calidad de mediana a aceptable el resto de las aguas. La dureza encontrada en las aguas, así como las variaciones producidas en dicho parámetro, pueden observarse en el gráfico 25:

## 6.5 Mineralización.

En función de la conductividad (Rodier, 1981) se llega a las siguientes conclusiones: 1ª) Las aguas de los manantiales M1 y M3 son de mineralización débil, siendo las del manantial M2 de débil a media acentuada. 2ª) Las aguas pertenecientes a los manantiales M4 y M5 presentan mineralización excesiva y las del M6 media a importante. 3ª) Las aguas de los pozos P1, P2 y P3 presentan mineralización de importante a excesiva. Las de los pozos P4 y P5 presentan mineralización excesiva.

En función del residuo seco se llega a las siguientes conclusiones: 1ª) Presentan mineralización muy débil las aguas correspondientes a los manantiales M1 y M2, mineralización débil las del manantial M6, siendo de mineralización media las pertenecientes a los manantiales M4 y M5. Las aguas del manantial M3 pasan de tener mineralización oligometálica a muy débil. 2ª) Las aguas de los pozos estudiados son de mineralización media.

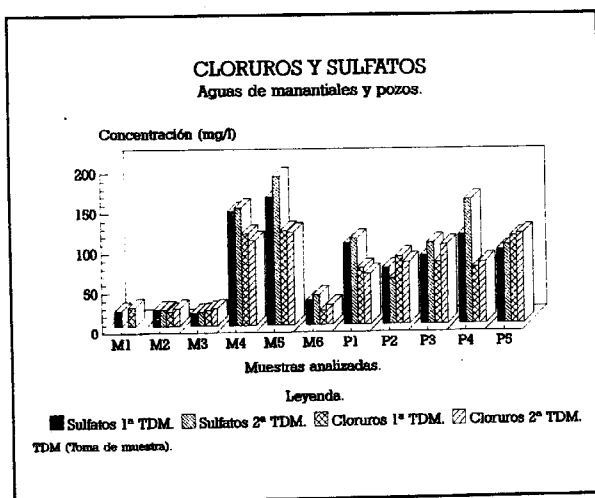


Gráfico 24.

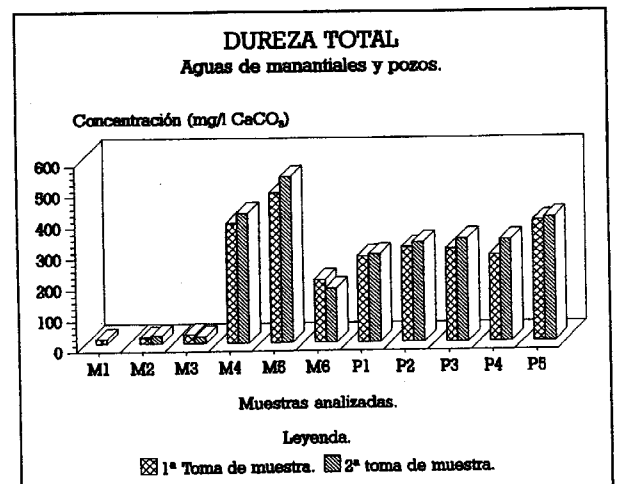


Gráfico 25.

## 6.6 Facies encontradas en las aguas.

M1- Clorurada cálcica y magnésica. M2- De sulfatada y clorurada cálcica y magnésica a clorurada y sulfatada sódica. M3- De sulfatada y clorurada magnésica a clorurada y sulfatada sódica. M4 y M5- Sulfatada y clorurada cálcica y magnésica. M6- De bicarbonatada cálcica a bicarbonatada cálcica y magnésica. Las aguas de todos los pozos son bicarbonatadas cálcicas y magnésicas.

## 6.7 Tipo de aguas para riego.

Las aguas de los manantiales M1, M2 y M3 son de tipo C1-S1. Son aguas con bajo peligro de salinización y alcalinización del suelo. Del tipo C2-S1 son las aguas pertenecientes al manantial M6; aguas con peligro medio de salinización y bajo peligro de alcalinización del suelo. El resto de las aguas son del tipo C3-S1 que corresponden a aguas con alto peligro de salinización y bajo peligro de alcalinización del suelo. Ninguna de las aguas analizadas presentan carbonato sódico residual.

## 6.8 Calidad del agua según los criterios establecidos por la FAO y FAO-UNESCO.

En comparación con los valores considerados normales (por la FAO) en un agua de riego, se llega a las siguientes conclusiones:

DIAGRAMA DE PIPER-HILL LANGELIER, AGUAS DE MANANTIALES Y DE POZOS.

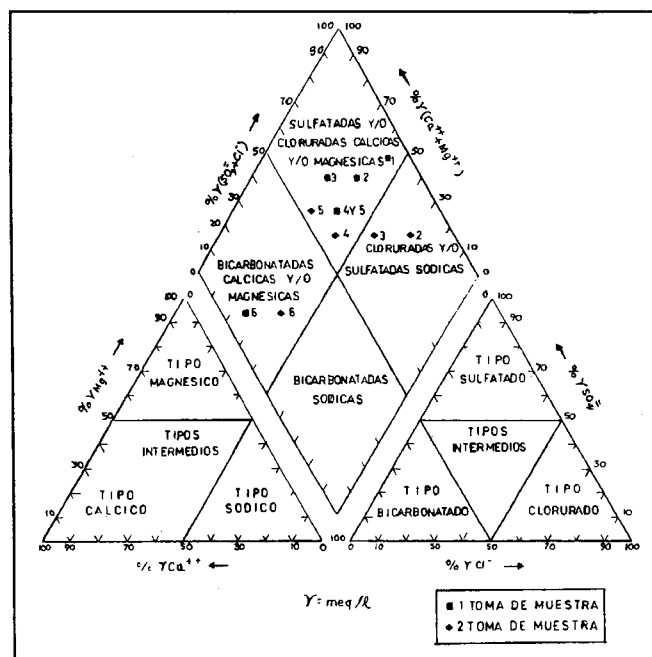


Fig. 3

## Medio Ambiente

- Las concentraciones encontradas en los distintos parámetros analizados, de las aguas del manantial M1, son consideradas normales para un agua de riego.
- El resto de las aguas (manantiales M2, M3, M4, M5, M6 y pozos P1 a P5) presentan concentraciones en potasio muy superiores a las consideradas normales.
- Las aguas pertenecientes a los manantiales M4, M5, M6 y pozos P1, P2, P4 Y P5, presentan concentraciones en nitratos muy superiores a las consideradas normales.
- Las aguas del manantial M5 tienen un alto contenido en magnesio, superior al considerado normal para el regadío.

En base a la conductividad eléctrica y el contenido en residuo seco, se llega a las siguientes conclusiones:

- Los valores encontrados en las aguas de los manantiales M1, M2, M3 y M6, permiten su utilización en el regadío. El resto de las aguas (incluidas las de pozo), podrían dañar a ciertos cultivos sensibles.

Solamente el manantial M4, presenta riesgo de toxicidad creciente debido a la concentración de Na<sup>+</sup>; en el resto de las aguas de manantiales el riesgo es inexistente. Las aguas de pozo presentan riesgo de toxicidad creciente debido a la concentración de este parámetro. EL riesgo de toxicidad por Cl<sup>-</sup> es inexistente en todas las aguas.

### 6.9 Calidad microbiológica para la utilización de las aguas en la agricultura.

Las altas concentraciones de los parámetros microbiológicos, encontradas en las manantiales M2, M3, M4, M5 y M6, nos indican la presencia de contaminación fecal en las aguas. Como medida preventiva de la posible existencia de microorganismos patógenos, las aguas no deberían utilizarse para el riego.

### 6.10 Calidad de las aguas para el consumo humano.

La concentración en bicarbonatos de los manantiales M1 y M2 es inferior a la mínima permitida por la R.T.S. Presentan concentraciones en nitratos superiores a la concentración máxima admisible por la R.T.S., las aguas de los manantiales M4 y M5, y las de los pozos P4 y P5. Las aguas de los pozos P1 y P2 presentan generalmente concentraciones de nitratos superiores a la concentración máxima admisible por la R.T.S. En general, existen indicios de contaminación por nitritos en las aguas de los pozos P2 y P4. Los pozos P3 y P5 tienen un contenido en nitrógeno amoniacal superior a la concentración máxima admisible por la R.T.S.

En cuanto al ión potasio, los manantiales M5 y M6 presentan concentraciones muy superiores a la máxima admisible indicada en la R.T.S. Las aguas del manantial M5 tienen un contenido en magnesio superior a la concentración máxima admisible por la reglamentación. Las aguas de los tres primeros manantiales (M1, M2 y M3) al ser excesivamente blandas, no llegan a superar la concentración mínima admisible en cuanto a dureza total indicada en la reglamentación.

Los parámetros microbiológicos de las aguas en las que fueron analizados, superan ampliamente la concentraciones máximas admisible indicadas en la R.T.S., excepto el número de colonias a 37° C el cual supera el nivel guía. El resto de los parámetros analizados (turbidez, conductividad, pH, residuo seco, sulfatos, cloruros, sodio y calcio), presentan concentraciones inferiores al nivel guía o comprendidas entre el nivel guía y la concentración máxima admisible indicadas en la R.T.S.

## 6.11 Conclusiones acerca de la mejora de la calidad de las aguas.

Las aguas caracterizadas menos contaminadas son las correspondientes a los manantiales M1, M2, M3 y M6. La presencia en los mismos de contaminación microbiológica nos lleva a recomendar un tratamiento de desinfección para dichas aguas.

En el caso de que se requiera la utilización de las mismas como fuente de abastecimiento de agua potable de consumo público, según el artículo décimo del Real Decreto 1138/1990, de 14 de septiembre, por el que se aprueba la Reglamentación Técnico-Sanitaria (R.T.S.) para el abastecimiento y control de calidad de las aguas potables de consumo público (B.O.E. núm. 226 de 20 de septiembre de 1990) (apéndice A.3), estas aguas deberán obligatoriamente ser sometidas al tratamiento de desinfección.

Los manantiales M4 y M5 poseen aguas contaminadas por nitratos, potasio, magnesio y por alta carga microbiológica. En primer lugar se recomienda la no utilización de sus aguas para cualquier uso. En segundo lugar se aconseja la eliminación y limpieza del pequeño vertedero, cercano al manantial M5, así como emplazar debidamente las estabulaciones ubicadas en la zona. Todas estas medidas deben ser complementadas con la adecuación del sistema de abastecimiento de dichas aguas. Por último, y con carácter obligatorio, deberá tratarse las aguas con el sistema de desinfección más adecuado. Con respecto a todos los pozos estudiados hay que recomendar la limpieza y adecuación de los mismos, con el posterior seguimiento de las características fisicoquímicas y microbiológicas de sus aguas.

## AGRADECIMIENTO

Este trabajo ha sido realizado en los laboratorios del Dpto. de Química Analítica, en la E.U.P.A., bajo la dirección del Prof. Dr. Manuel Pedro Manuel Vez. Los análisis microbiológicos han sido cedidos por el Distrito Sanitario Algeciras-La Línea.

## BIBLIOGRAFÍA.

- American Water Works Association (1975) *Control de calidad y tratamiento del agua*. Ed. Inst. Estudios Admon. Local.
- APHA - AWWA - WPCF. (1992) *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Ed. Díaz de Santos, S.A.
- Catalán Lafuente, J.G. (1981) *Química del agua*. Ed. Talleres gráficos Alonso, S.A.
- Centro de edafología y biología aplicada del cuarto. (C.E.B.A.C.) (1963). *Estudio agrobiológico de la provincia de Cádiz*. Publicaciones de la Diputación Provincial de Cádiz.
- Degrémont (1979) *Manual técnico del agua*. Ed. Degrémont.
- Diputación de Cádiz (1985) *Atlas hidrogeológico de la provincia de Cádiz*.
- Estrada, P. Riobos, M.C. (1983) *Manual de control analítico de la potabilidad de las aguas de consumo humano*. Ed. Estrada.
- FAO (1987) *La calidad del agua en la agricultura*.
- FAO-UNESCO (1972) *Irrigation, Drainage and Salinity, An International Sourcebook*. UNESCO- París/Hutchinson and Co. Pub. Londres.
- Fernández Fábregas, F. (1981) «Contaminación de las aguas subterráneas por actividades agrícolas. problema de reciclaje de riegos». *Jornadas sobre análisis y evolución de la contaminación de aguas subterráneas en España*. Barcelona, Octubre 1981 pp 31- 37. Curso internacional de hidrología subterránea.
- Gomella, C. (1954) "Considérations sur les normes de la qualité des eaux". *Rev. Terre et Eaux*, 21, 2.
- Guinea, J., Sancho, J. (1978) *Análisis microbiológico de las aguas*. Ed. Omega.
- IGME Ministerio de Industria y Energía. (1985) *Calidad y contaminación de las aguas subterráneas en España*. Informe de síntesis.
- Legislación sobre aguas* (1993) Ed. Civitas, S.A.
- Mánuel M. P., Trujillo F.J. (1986) «Características físico-químicas de aguas de amantiales del Campo de Gibraltar». *Tecnología del agua*, n\_ 28.
- Primo Yúfera E., Carrasco Dorrién J.M. (1981) *Química agrícola*. Ed. Alhambra.
- Real Decreto 1138/1990, de 14 de septiembre, por el que se aprueba la Reglamentación Técnico-Sanitaria (R.T.S.) para el abastecimiento y control de calidad de las aguas potables de consumo público (B.O.E. núm. 226 de 20 de septiembre de 1990)
- Rodier, J. (1981) *Análisis de las aguas*. Ed. Omega.
- Schoeller, H. (1962) *Les eaux souterraines*. Masson, Paris.