

# MANANTIALES CAMPOGIBRALTAREÑOS: CARACTERÍSTICAS DE SUS AGUAS.

Manuel P. Manuel Vez

*El agua es el pasado del hombre.  
Las aguas son el porvenir de la humanidad.*

Desde los principios de la humanidad los seres humanos han atribuido la bondad o no a un agua mediante la observación de sus caracteres organolépticos (olor, sabor, color y turbidez), así como por las consecuencias o repercusiones que ésta haya tenido en los organismos vivos, animales o vegetales. Hoy, próximos al siglo XXI, cuando la Ciencia y Técnica viven años de esplendor y desarrollo, conocer las sustancias minerales y orgánicas disueltas en agua no entraña dificultad alguna. Si bien el "agua pura" es el resultado de la combinación del hidrógeno y del oxígeno naturales, a su paso por el suelo, por la superficie de la tierra o incluso a través del aire, el agua se carga de materias en suspensión o en disolución: partículas de arcillas, residuos de vegetación, organismos vivos (plancton, bacterias, virus), gases (oxígeno,

dióxido de carbono...), sales diversas (sulfatos, carbonatos, cloruros, calcio, magnesio, sodio, hierro, manganeso...), materias orgánicas (ácidos húmicos, fúlvicos...). Desgraciadamente, el agua tal como la encontramos en la naturaleza no suele ser utilizable directamente para el consumo humano, pues, salvo en cada vez más escasos casos, presenta una gran variedad de sustancias no deseables.

En la Comarca del Campo de Gibraltar existen numerosos manantiales alejados o no de la influencia del ser humano, de su industria o agricultura, y por tanto con menor o mayor probabilidad de ser contaminados. El conocimiento de la composición de sus aguas, y por tanto sus posibles grados de contaminación, debería siempre preceder a su uso para consumo humano o animal.

De los estudios realizados tendentes a caracterizar aguas de manantiales del Campo de Gibraltar, se ha elegido para este artículo la exposición y conclusiones de los resultados analíticos correspondientes a las aguas de 14 manantiales frecuentemente utilizados, tomadas en su origen, así como las correspondientes a "blending" de manantiales propios del Ayuntamiento de Algeciras, antes y después del tratamiento de depuración; estas últimas son suministradas a parte de la población de Algeciras.

## CONSIDERACIONES BÁSICAS ACERCA DE LOS PARÁMETROS ANALIZADOS

Respecto a las cualidades físico-químicas de un agua para el consumo humano no existen reglas absolutas. Es necesario conocer el carácter ocasional o cotidiano de una sustancia tóxica o no deseable, así como la presencia simultánea de varias impurezas, que puedan aportar un efecto nocivo superior al esperado considerando los elementos tóxicos individualmente (efecto sinérgico). Por lo que respecta a la presencia de elementos considerados no tóxicos, no pueden indicarse las concentraciones límites sin tener en cuenta que estas son siempre relativas. Así, el organismo humano puede absorber cantidades elevadas de elementos no tóxicos (p. ej. hierro) y presentar tan solo manifestaciones de intolerancia gastro-intestinal, cediendo éstas al acostumbrarse el organismo a su absorción. Lo dicho aquí es confirmado por las poblaciones de regiones saharianas que llevan siglos consumiendo aguas fuertemente mineralizadas.

El metabolismo del agua en el organismo está relacionado con las sustancias disueltas y su fisiopatología no puede desligarse de los iones cloruros, sodio y potasio; estos iones intervienen en el balance hídrico, así como en la regulación de la presión osmótica. Hay que recordar, que un adulto que contenga una media de 43 kg. de agua absorbe por día entre 1.000 y 2.400 mililitros (ml) por los líquidos y comidas ingeridas. Recibe también, entre 400 y 600 ml provenientes del metabolismo de las grasas y los hidratos de carbono. La cantidad media eliminada de

agua es de 1.200 a 1.600 ml por la orina, de 200 a 500 ml por los pulmones, de 200 a 500 ml por la piel y de 50 a 100 ml por las heces. No obstante, hay que tener en cuenta que la piel puede eliminar, en casos de transpiración severa, hasta 10 litros de agua por día. En general, para estudios de toxicidad hay que pensar que se puede retener como término medio unos dos litros de agua por día, pero el consumo diario puede variar dependiendo de la temperatura, humedad y la actividad física.

Al analizar un agua se encuentran gases, materias minerales y orgánicas, en disolución o en suspensión. La cualidad y cantidad de estos constituyentes son los que definen un agua y la hacen recomendable o la limita para uno u otro uso. En las reglamentaciones técnico-sanitarias se encuentran unas definiciones para el "nivel máximo recomendado", "nivel máximo tolerable" y "nivel máximo admisible", referentes a las máximas concentraciones (cantidad por unidad de volumen) de una sustancia en el agua. Un agua de calidad no debe superar, en todos sus parámetros (sustancias o elementos objeto del análisis), los niveles máximos recomendados. No obstante, se considera un "agua potable" la que cumple, en la totalidad de sus parámetros, los niveles máximos tolerables. Un agua "sanitariamente permisible" es aquella en la que algunos de sus caracteres físico-químicos sobrepasan los límites tolerables, salvo en lo referente a los productos tóxicos o radiactivos y contaminación fecal. La elaboración de normas para los distintos niveles conlleva numerosos problemas, tanto desde el punto de vista teórico como en el práctico, debido a que hay que tener en cuenta la probable influencia del agua en el medio característico, así como la relación de cada elemento o sustancia en el organismo particular (ser humano, pez, vegetal...).

En el estudio analítico, se han evaluado más de veinte parámetros contemplados en la Reglamentación Técnico-sanitaria española. Estos se pueden clasificar en dos grupos, a saber:

- A- Caracteres organolépticos  
Olor, sabor, color y turbidez.



Fuente María España (San Roque).

B- Caracteres físico-químicos  
Temperatura, conductividad, pH, Oxígeno disuelto, residuo seco, dureza ( $T_A$ ,  $T_{AC}$ ,  $T_H$ ), cloruros, sulfatos, nitritos, nitratos, sodio, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, níquel, cobre, cadmio, cromo y cobalto.

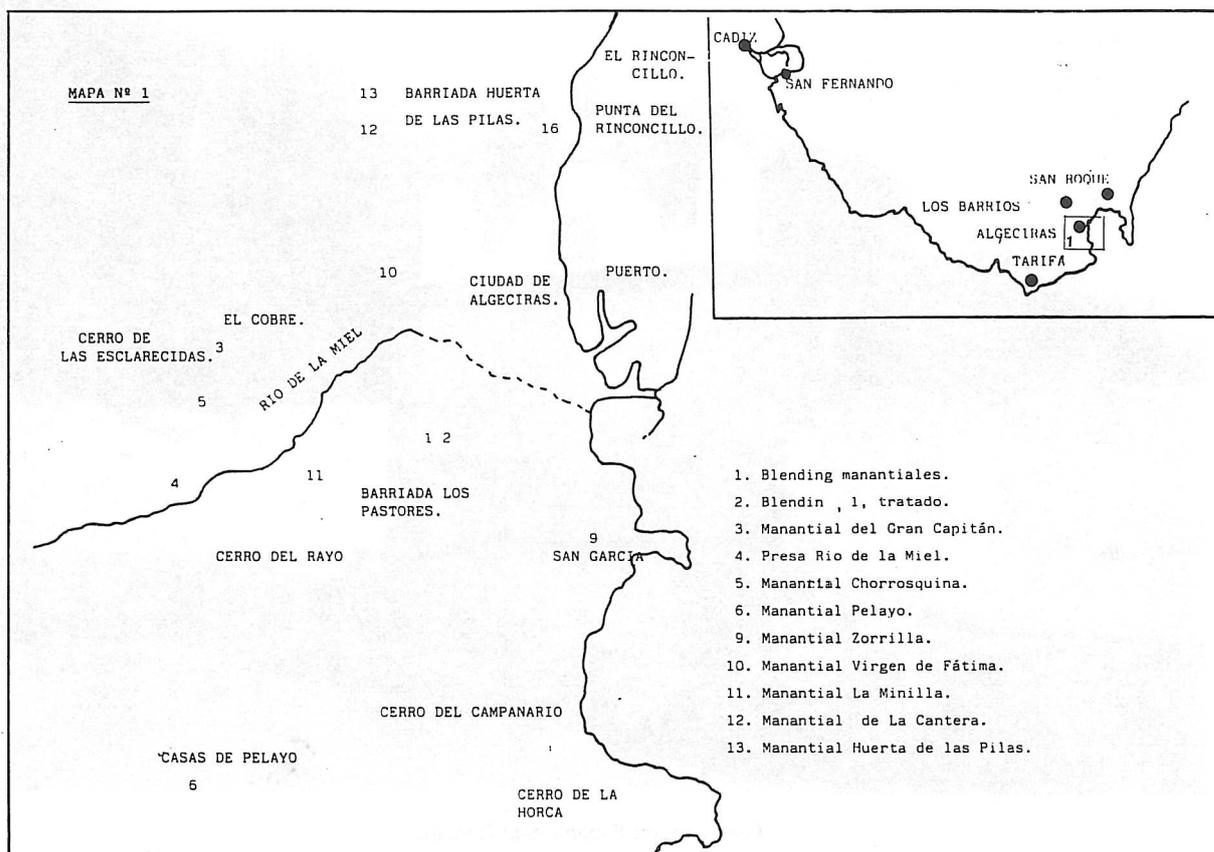
## OLOR Y SABOR

El agua potable no debe tener olor ni sabor, no sólo en el momento de la toma de muestra, sino al cabo de diez días mantenida a la temperatura de  $26^{\circ}\text{C}$ .

Los olores del agua provienen, fundamentalmente, de productos químicos, materias orgánicas en descomposición o la existencia de protozoos. Las algas planctónicas, en períodos de floración, pueden ser el origen de la

existencia de olores y sabores, así como dar lugar a intoxicaciones. La presencia de un olor desagradable se determina fácilmente comparando el agua antes y después de ser pasada por un lecho de carbón activo.

En cuanto al sabor, las aguas potables de buena calidad deben tener un gusto débil y agradable. Las algas verde-azuladas dan un sabor a podrido y las verdes gusto a yerbas. Sin la presencia de sales naturales y el anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ), el sabor del agua resultaría insípido; este es el caso del agua de lluvia o del agua destilada. Si posee muchos cloruros, el agua será salobre y si contiene alta concentración de magnesio será amarga. La existencia de exceso de aluminio confiere gusto terroso y si posee mucho hierro el agua será de sabor metálico. En todos los casos la apreciación del sabor debe completar la prueba de olfatación.



## COLOR

El color de un agua está relacionado con la existencia de turbidez, plancton o sales en disolución. El agua potable, examinada a través de una célula (recipiente de vidrio o cuarzo) de 20 cm de paso de luz, es incolora. Si bien en algunos casos un agua con un cierto color puede no ser dañina, presentará siempre inconvenientes y debe ser sospechosa para el consumidor.

## TURBIDEZ

En general, las aguas superficiales poseen una turbidez importante y no deben ser consumidas sin previa filtración u otro medio de clarificación o métodos combina-

dos. Aunque la turbidez no indica la naturaleza de las sustancias, es una determinación útil para el control de un tratamiento.

El consumidor no tomará, o lo hará con reticencia, un agua turbia. Hay que tener en cuenta que un agua potable debe ser limpia, pero la ausencia de turbidez no implica la potabilidad del agua.

## TEMPERATURA

El agua potable debe tener una temperatura inferior a la del aire en verano y superior a la del aire en invierno. Para que el agua cumpla su misión desalinizante, en el fenómeno osmótico, su temperatura debe estar entre 8 y 15 grados centígrados (°C); entre 20 y 25°C desaliniza

mal. El desarrollo de microorganismos se ve favorecido a temperaturas superiores a 15°C, intensificándose también los olores y sabores.

## pH

El grado de acidez o basicidad de un agua se mide mediante este parámetro, usando una escala comprendida entre 0 y 14 unidades; acidez si  $\text{pH} < 7$ , basicidad si  $\text{pH} > 7$  y neutralidad si  $\text{pH} = 7$ . El factor que más repercute en el pH del agua es la concentración de  $\text{CO}_2$ , ligado a la mineralización de aquélla y por tanto a la naturaleza de los terrenos que atraviesa. Así, las aguas procedentes de terrenos calcáreos pueden tener pH cercanos a 8 y las que provienen de terrenos silicosos o pobres en calcio poseen un pH cercano a 7 ó, a veces, vecino a 6. Un agua potable debe tener un pH comprendido entre 7 y 8; no obstante, se considera tolerable un intervalo entre 6,5 y 9,5.

## CONDUCTIVIDAD

La medida de la conductividad permite evaluar aproximadamente la mineralización global del agua. Al ser un parámetro fácil y rápido de medir, permite evaluar y eliminar aguas de elevada mineralización, así como efectuar seguimientos automáticos del agua de suministro a una población o industria.

## OXÍGENO DISUELTO

La existencia del oxígeno en el agua está ligada a su procedencia. Las aguas superficiales pueden contener altas concentraciones de oxígeno o incluso estar saturadas de éste, y las aguas profundas no suelen contener más de unos miligramos de oxígeno por litro. Hay que recordar que la solubilidad del oxígeno en agua depende

fundamentalmente de la temperatura, la presión atmosférica y la salinidad. Al elevar la temperatura, la solubilidad del oxígeno decrece y aumenta su consumo por los seres vivos y las bacterias; todo ello puede llevar a la aparición de olor y sabor desagradables en el agua.

## RESIDUO SECO

La determinación de residuos permite estimar la concentración de materias disueltas y en suspensión de un agua. El resultado está relacionado con el tratamiento térmico, es decir, la temperatura y el tiempo de desecación. Así, entre 100 y 105°C, una parte o la totalidad del agua intersticial, como la de cristalización de ciertas sales, puede evaporarse; hacia los 105-110°C, los bicarbonatos se transforman en carbonatos, perdiéndose anhídrido carbónico; entre los 105-180°C, además de agua de cristalización, puede perderse amoníaco (procedente de las combinaciones amoniacales), ácido sulfhídrico (de los sulfuros alcalinos) y materia orgánica (originada de compuestos orgánicos). El residuo seco determinado a 180°C es el que se aproxima más a la suma de los diferentes resultados del análisis, y está prácticamente exento de agua de cristalización. Por último, el residuo a 525°C permite estudiar la concentración de materias orgánicas. Por todo lo dicho hasta aquí, puede deducirse que el residuo seco obtenido a 180°C es el que debe tener mayor similitud con la mineralización global, en aguas de bajo contenido en materia orgánica y teniendo en cuenta las posibles pérdidas indicadas anteriormente.

Ciertas aguas muy mineralizadas pueden sobrepasar los valores de las normas internacionales y sin embargo no presentan inconvenientes para la salud. Así pues, en África del Norte y en Senegal, numerosas poblaciones consumen sin patología particular aguas conteniendo mineralización de 3 a 4 gramos por litro (g/l); valores muy elevados si comparamos con los 1,5 g/l, de residuo seco a 110°C, tolerados como máximo por la legislación española.

# Medio Ambiente

## ALCALINIDAD Y DUREZA

En el agua existen tres grupos de compuestos que constituyen su alcalinidad: hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos. La totalidad de hidróxidos y carbonatos constituye el "grado alcalinimétrico simple" o  $T_A$  y la totalidad de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos corresponde al "grado alcalinimétrico completo" o  $T_{AC}$ ; por consiguiente, la concentración de bicarbonatos vendrá dada por la diferencia entre  $T_{AC}$  y  $T_A$ .

La dureza de un agua corresponde a la suma de las concentraciones en cationes metálicos, con la excepción de los metales alcalinos y del ión hidrógeno. En la mayoría de los casos, la dureza es debida, sobre todo, a los iones calcio y magnesio; a ellos hay que añadir, algunas veces, los iones hierro, aluminio, manganeso y estroncio. Entre los diversos parámetros empleados para determinar la dureza, es de destacar el denominado "título hidrotimétrico" o "dureza total" conocido usualmente por  $T_H$ , que es la suma de las concentraciones cálcica y magnésica.

## CLORUROS

La existencia de mayor o menor concentración de cloruros en un agua depende fundamentalmente de los terrenos atravesados por ella y de los fenómenos siguientes: a) Lixiviado superficial de zonas áridas, en períodos de fuertes lluvias, b) Infiltraciones de aguas de mar en zonas costeras y c) Contaminación por aguas usadas en zonas industriales. Los cloruros introducen sabor desagradable al agua, sobre todo cuando se trata de cantidades notables de cloruro sódico. La existencia de calcio y magnesio hacen decaer el sabor producido por los cloruros.

Por otro lado, es importante constatar que más que la tasa absoluta de cloruros en un agua interesa evaluar la constancia de dicha concentración. En los casos de observarse un aumento de concentración, debe pensarse en una mayor lixiviación de tierras o una posible contaminación fecal; debe tenerse en cuenta que, si bien los cloruros no

participan en los procesos de descomposición, la eliminación diaria humana posee de 10 a 15 gramos de cloruro sódico.

## SULFATOS

La existencia de sulfatos en las aguas está relacionada, fundamentalmente, con los elementos alcalinos o alcalinotérreos. En regiones que contengan sulfuros metálicos (de hierro, níquel, cobre...), los sulfatos pueden proceder de la oxidación de los mismos.

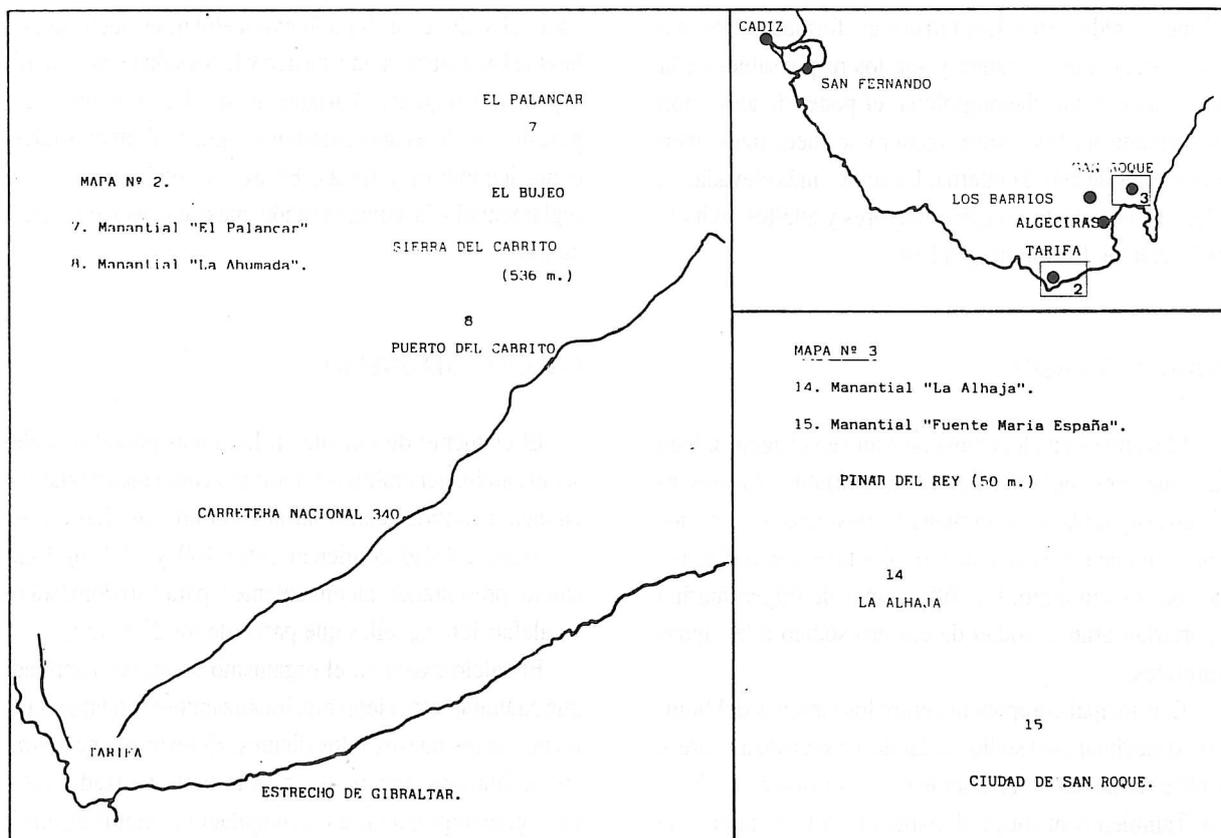
Los sulfatos en presencia de magnesio poseen acción laxante y, según la intolerancia de los consumidores, pueden inducir a problemas gastro-intestinales, sobre todo en los niños. No obstante, la presencia de dosis normales y un consumo habitual, suele llevar a eliminar dicha acción, dado que el organismo puede acostumbrarse a ello.

## NITRITOS

Un agua que contenga nitritos debe ser considerada como sospechosa, pero para la interpretación definitiva de los resultados, será necesario tener presente las concentraciones de nitratos, nitrógeno amoniacal, materia orgánica y el examen bacteriológico.

Los nitritos pueden provenir de una oxidación incompleta del amoníaco, es decir, de una nitrificación incompleta, o bien de una reducción de nitratos bajo influencia de la acción desnitrificante. También se encuentran nitritos en aguas potables pobres en oxígeno (aguas profundas), así como en agua de lluvia y en aguas que provienen de nieve fundida. Existe la posibilidad de formación de nitritos en aguas almacenadas a temperaturas del orden de  $40^{\circ}\text{C}$ , bajo la influencia de la acción microbiana.

Desde el punto de vista de la toxicidad, es necesario indicar que los nitritos pueden tener una acción "metahemoglobinizante". También se sospecha que pue-



dan reaccionar en el organismo con las aminas secundarias o terciarias, presentes en ciertos alimentos, produciendo nitosaminas; estos últimos compuestos están relacionados con la formación de ciertos tipos de tumores.

## NITRATOS

Si bien las aguas de distribución poseen, generalmente, concentraciones débiles de nitratos, en los campos se encuentran pozos o manantiales con altas concentraciones de ellos. Estos casos pueden ir ligados a aguas de mala calidad y que proceden normalmente de una nitrificación del nitrógeno orgánico; hay también que pensar la posible relación de la existencia de nitratos con los terrenos atravesados por las aguas. A todo ello, debe

tenerse en cuenta que la existencia de ciertas industrias, vertidos de poblaciones o ganadería, pueden aumentar la tasa de nitratos.

Las aguas superficiales pueden contener nitratos que procedan de abonos orgánicos y de las tierras lixiviadas. Las aguas de lluvia pueden incorporar este compuesto a partir de los óxidos de nitrógeno y de amoníaco presentes en la atmósfera.

Referente a la toxicidad de los nitratos hay que indicar que esta es función de la relación entre la cantidad de líquido absorbido y el peso del individuo. Por ello, se han relacionado las muertes de algunos lactantes con el contenido elevado de nitratos en la "leche en polvo". El mecanismo de la intoxicación se cree relacionado con la formación de nitritos a partir de los nitratos, bajo la acción bacteriana; la débil acidez del jugo gástrico de los niños de muy corta edad puede permitir el desarrollo de

gérmenes reductores. Los nitritos así formados, pasan a la circulación de la sangre y son los responsables de la formación de metahemoglobina; el poder de absorción del oxígeno por la sangre es menor y se puede traducir en fenómenos de asfixia interna. La acidez más elevada, en el jugo gástrico, de los niños mayores y adultos, evita la reducción de los nitratos a nitritos.

## SODIO Y POTASIO

El sodio es un elemento constante en el agua, si bien las concentraciones pueden ser muy variables. La presencia en el agua puede ser debida a la lixiviación de terrenos que contienen cloruro sódico o sales tales como silicatos de sodio y aluminio. Las filtraciones de origen marino aportarían gran cantidad de cloruro sódico a las aguas naturales.

El principal componente entre los cationes del líquido extracelular es el sodio, hallándose asociado al cloruro y bicarbonato en la regulación del equilibrio ácido-básico. También contribuye al mantenimiento de la presión osmótica de los líquidos del cuerpo.

En la actualidad aún es discutible la cantidad de sodio requerida por el organismo. En general, no existen daños en la absorción de cantidades elevadas de este elemento, salvo en individuos que sufren determinadas enfermedades, tales como insuficiencia cardíaca e hipertensión.

El potasio se encuentra en todas las aguas naturales, si bien su concentración no suele pasar de 20mg/l. Ciertos vertidos industriales, en particular las minas de potasa o el abuso de abonos, pueden aportar a las aguas cantidades elevadas de potasio. Por otro lado, parte de la radiactividad natural del agua puede ser debida a la existencia de potasio 40, que representa tan sólo el 0,0118% del potasio natural.

El ión potasio es considerado el principal catión del líquido intracelular, siendo también un constituyente importante del líquido extracelular debido a la influencia que posee sobre la actividad muscular, especialmente sobre el miocardio. En el interior de las células actúa

como el sodio en el líquido extracelular, es decir, regulando el equilibrio ácido-básico y la presión osmótica. El organismo requiere diariamente de 3 a 4 gramos de potasio, que le es aportado por el agua y alimentos tales como legumbres y frutas. En aguas potables no se ha reglamentado la concentración máxima para este elemento.

## CALCIO Y MAGNESIO

El elemento dominante en las aguas potables suele ser el calcio, generalmente aportado como bicarbonato y en menor cantidad como sulfato, cloruro, etc. Las aguas de buena calidad contienen entre 100 y 150 mg/l en calcio, presentando inconvenientes, para uso doméstico y calefacción, aquellas que pasan de los 200 mg/l.

El calcio existe en el organismo en mayor cantidad que cualquier otro elemento, localizándose fundamentalmente en los huesos y los dientes. El resto se encuentra en los líquidos orgánicos, en gran parte ionizado; este tiene gran importancia en la coagulación sanguínea, en el funcionamiento del corazón, de los músculos, los nervios y en la permeabilidad de la membrana celular.

En lo referente a la salud del individuo, la influencia del calcio contenida en el agua a menudo es discutida. Algunos estudios han señalado la posibilidad de hipercalcemia o excesiva calcificación, asociada a un aporte elevado de calcio en presencia de un exceso de vitamina D, lo cual puede darse en los niños. Teniendo en cuenta que el aporte de calcio es sobre todo a través de los alimentos, no es recomendable ingerir aguas con alto contenido en este elemento. No obstante, hay que recordar que la absorción del calcio está ligada al pH del contenido intestinal, disminuyendo aquella con la mayor basicidad. Por ello, la administración de lactobacilos implica una disminución del pH y una mejor absorción del calcio.

El magnesio es un elemento constante en las aguas potables, si bien su concentración depende de los terrenos lixiviados por estas. En Europa, la concentración de

este elemento en las aguas naturales no suele pasar de 15 mg/l. Los contenidos altos en magnesio confieren a las aguas sabor amargo y sus sales poseen efecto laxante, que disminuye al habituarse a su consumo.

El organismo contiene unos 20 gramos de magnesio, el 70% combinado con el calcio y magnesio, formando sales complejas en los huesos y el resto se encuentra en los tejidos blandos y en los líquidos extra o intracelulares. La sangre total posee de 20 a 40 mg/l y en los músculos se encuentran cantidades alrededor de 210 mg/l en magnesio.

En cuanto a las necesidades diarias de magnesio, puede cifrarse para un adulto entre 300 y 350 miligramos. Es un elemento indispensable para el crecimiento, pues interviene como elemento plástico para los huesos y como elemento dinámico en los sistemas enzimáticos y hormonales.

### HIERRO

La existencia de este elemento en aguas está relacionada con los terrenos atravesados, conducciones o posibles contaminaciones industriales. Las aguas superficiales pueden contener hasta 0,5 mg/l de hierro, si bien en aguas obtenidas por sondeos o aguas termominerales pueden encontrarse concentraciones de 10 mg/l.

El hierro en estado ferroso es soluble en agua, precipitando al eliminar el anhídrido carbónico o por oxidación al aire. Según lo afirmado, puede encontrarse en estado coloidal o complejo (orgánico o mineral), pudiendo manifestar coloraciones rojizas que pueden ocupar al consumidor.

El papel del hierro en el organismo se halla casi exclusivamente reducido a los procesos de respiración celular. El hierro es un componente de la hemoglobina, de la mioglobina y del citocromo, así como de las enzimas catalasa y peroxidasa; el resto del hierro se halla casi todo unido a las proteínas.

En la dieta humana las necesidades del hierro varían grandemente según la edad y las diversas circunstancias.

Durante el crecimiento, el embarazo y lactancia, cuando existe una mayor demanda de formación de hemoglobina, se necesita hierro adicional en la dieta. Las concentraciones diarias de este elemento para los hombres son de 10 miligramos (mg), y para las mujeres de unos 18 mg. Las dietas normales suelen aportar entre 10 y 15 mg de hierro.

Una dieta rica en fosfatos insolubiliza parte del hierro, absorbiéndose menor cantidad de este elemento. Por otro lado, se ha estudiado la existencia de siderosis (exceso de hierro) en los pueblos Bantú de África; se cree que está asociada a la alimentación muy rica en maíz (pobre en fósforo) y al empleo de ollas de hierro para cocinar los alimentos. Sin embargo, no se han detectado anemias por deficiencia de hierro, tan común en las mujeres embarazadas de otras partes de nuestro planeta.

### MANGANESO Y COBRE

Este elemento puede encontrarse en el agua en diferentes estados de oxidación; solubilizado, en suspensión, o bien bajo forma compleja. En las aguas potables se encuentran concentraciones muy débiles, más aún comparadas con la que aportan los alimentos diariamente.

El organismo humano contiene unos 10 mg de manganeso; los órganos que más lo almacenan son el riñón y el hígado. La sangre contiene entre 4 y 20 microgramos por cada 100 mililitros ( g/100ml). La mayor parte del manganeso se excreta al intestino por medio de la bilis, encontrándose poca cantidad en la orina. En cuanto a su función, parece que el manganeso interviene como coenzima en los sistemas enzimáticos respiratorios intracelulares.

Las dietas habituales proporcionan unos 4 mg de manganeso, siendo esta cantidad mayor que la estimada como requerimiento para el ser humano, por lo que parece muy lógico que no se encuentren casos de deficiencia en manganeso.

El cobre puede encontrarse en aguas naturales en estado de trazas (en el orden del mg/l o menos), en otros casos puede sospecharse la existencia de contaminaciones industriales o agrícolas, así como la canalización por

tuberías en estado de oxidación o por los tratamientos contra las algas con sales de cobre.

En los metabolismos biológicos, el cobre juega un importante papel. Así pues, es un constituyente de algunas enzimas o esencial para su actividad. Junto con el hierro, el cobre es necesario para la síntesis de la hemoglobina. Otras interesantes funciones de este elemento incluyen su papel en la formación de los huesos y el mantenimiento de la mielina en el sistema nervioso.

El organismo humano adulto contiene de 100 a 150 mg de cobre, de los cuales aproximadamente 64 mg se encuentran en los músculos, 23 mg en los huesos y 18 mg en el hígado. El adulto requiere diariamente unos 2,5 mg de cobre, que son aportados fácilmente por dietas normales.

### NÍQUEL, CADMIO, COBALTO Y CROMO

En las aguas, estos elementos son considerados componentes tóxicos según las reglamentaciones sanitarias europeas. No obstante, se contemplan límites de concentraciones tolerables para cada uno de ellos.

El níquel es un elemento muy utilizado en numerosas aleaciones, baños electrolíticos y como agente de síntesis. En las contaminaciones de origen industrial se encuentra generalmente asociado con cianuros, arsénico o cromo. La legislación española no tolera más de 50 microgramos de níquel por litro, en las aguas de consumo público.

Referente al cadmio, las aguas superficiales no suelen tener concentraciones superiores a unos miligramos por litro. Dado que este elemento se utiliza en electrolisis, aleaciones, materias plásticas, así como en la industria atómica, la existencia de concentraciones en aguas por encima del mg/l debe inducirnos a pensar en la posible contaminación no natural.

A pesar de que el ser humano requiere cadmio, pues juega un papel importante en los sistemas biológicos, la toxicidad elevada debido a su efecto acumulativo puede

manifestarse en daños renales, alteraciones óseas e hipertensión arterial.

El cobalto es un elemento empleado en la metalurgia de los aceros especiales y sus sales en pigmentos para colorear (pinturas, cerámicas...), así como en la catálisis de numerosos procesos químicos. En la vitamina B<sub>12</sub> el cobalto es un constituyente fundamental, interviniendo en la formación de células de la sangre; se ha logrado tratar con cobalto ciertas anemias del ganado que pasta en suelos pobres en este elemento. En estudios efectuados con ratas, se ha comprobado que un exceso de cobalto produce un aumento de eritrocitos (policitemia), observándose que gran parte del exceso es eliminado por los riñones. En el ser humano o animal sería necesaria una dosis diaria superior a varios miligramos por kilo (mg/Kg) para que el cobalto desarrolle toxicidad.

Por último, el cromo en aguas potables es un elemento no usual, por lo que su presencia estaría ligada a una contaminación industrial. El cromo metálico es empleado en la fabricación de aceros especiales y las sales de cromo en industrias químicas, tales como las fábricas de pinturas.

En la vida acuática el cromo es un tóxico a concentraciones de 0,05 mg/l, referido a cromo total. En el organismo humano es un oligoelemento; determinados estudios han sugerido que el cromo trivalente puede actuar asociado a la insulina para promover la utilización de la glucosa. No obstante, en concentraciones superiores al miligramo por litro presenta toxicidad, manifestándose en el hígado y riñón. El cromo hexavalente posee carácter cancerígeno, por lo que la dosis máxima permitida por la Organización Mundial de la Salud es de 0,05 mg/l en aguas potables.

### TOMA DE MUESTRA Y METODOLOGÍA ANALÍTICA

Para la realización de las tomas de muestras y análisis de las mismas (año 1984 y determinadas evaluaciones entre los años 1989-1991), se ha seguido en todo momen-



Manantial de Pelayo (B<sup>da</sup> de Pelayo).

to las indicaciones de la Reglamentación Técnico-Sanitaria para el abastecimiento y control de calidad de las aguas potables de consumo público. La actual legislación se resume en el Real Decreto 1423/1982, de 18 de junio (B.O.E., 29-6-82); en ella se recopilan las distintas normativas referentes a la toma de muestra, métodos analíticos, ámbito de aplicación, caracteres de las aguas potables, clasificación sanitaria de las aguas, características de los abastecimientos, tratamientos y prohibiciones, suministro y distribución de las aguas potables de consumo público y vigilancia de las aguas.

## SITUACIÓN DE LOS MANANTIALES ESTUDIADOS

En los mapas números I, II y III, los puntos y números representan a las diferentes estaciones de muestreo que a

continuación se describen de manera sucinta.

Estación 1: "*Blending*" de manantiales propios del Ayuntamiento de Algeciras. Las tomas de muestras se realizaron a las aguas que entran en la depuradora municipal. (mapa nº 1).

Estación 2: "*Salida de la depuradora*". Son por tanto aguas procedentes de la estación 1, pero que han sufrido el proceso de depuración. (mapa nº 1).

Estación 3: "*Manantial del Gran Capitán*". Localizable al noroeste de la barriada "El Cobre". (mapa nº 1).

Estación 4: "*Presa Río Amiel*". Se encuentra en la zona oeste de la barriada "El Cobre". (mapa nº 1).

Estación 5: "*Manantial Chorrosquina*". Se llega al mismo, por la carretera del vertedero municipal de Algeciras. (mapa nº 1).

Estación 6: "*Manantial Pelayo*". Se encuentra en la zona norte de la barriada Pelayo (N-340, Km. 98). (mapa nº 1).

Estación 7: "*Manantial El Palancar*". Se localiza en la Sierra del Cabrito, en la zona denominada El Palancar. (mapa nº 2).

Estación 8: "*Manantial Ahumada*". Localizable al norte del Puerto del Cabrito, en la zona denominada La Ahumada. (mapa nº 2).

Estación 9: "*Manantial Zorrilla*". Situado en terrenos adyacentes a la Residencia Sanitaria Punta Europa (Algeciras). (mapa nº 1).

Estación 10: "*Manantial Virgen de Fátima*". Puede localizarse al oeste del núcleo urbano de Algeciras, en la zona denominada Capelina. (mapa nº 1).

Estación 11: "*Manantial La Minilla*". Sito al noroeste del polígono industrial de la barriada El Cobre. (mapa nº 1).

Estación 12: "*Manantial de la Cantera*". Se encuentra al final de la barriada Huerta de las Pilas (carretera vieja de los Barrios). (mapa nº 1).

Estación 13: "*Manantial Huerta de las Pilas*". Localizable a pie de la calle principal de la barriada Huerta de las Pilas. (mapa nº 1).

Estación 14: "*Manantial La Alhaja*". Situado en la entrada del Pinar del Rey, del municipio de San Roque. (mapa nº 3).

Estación 15: "*Fuente de María España*". Se encuentra a la entrada de la ciudad de San Roque, por la carretera oeste. (mapa nº 3).

Estación 16: "*Manantial El Chorrillo*". Situado en la playa de la Concha (municipio de Algeciras). (mapa nº 1).

## RESULTADOS BÁSICOS

La Reglamentación Técnico-Sanitaria Española, para el abastecimiento y control de calidad de las aguas potables de consumo público, ha establecido unos valores límites para los diferentes parámetros físicos y químicos que se clasifican en dos apartados, a saber: a) Orientadores de calidad, que son los correspondientes a una calidad deseable en el agua potable. b) Tolerables, que corresponden a concentraciones máximas aceptables para los

diferentes parámetros en el agua potable.

En diagramas de barras (no incluidos en este artículo) se han representado los valores obtenidos para cada parámetro y en cada una de las estaciones de muestreo. También se han elaborado los índices de calidad (I.C.) y los índices tolerables (T.) según la citada reglamentación. Para llegar al conocimiento del lector poco avezado en estos temas y con ánimo de no abrumar con histogramas o complejos estudios estadísticos, se ha pretendido dar una visión general del cumplimiento de dicha normativa, en mayor o menor grado, en cada uno de los manantiales estudiados. Así pues, se ha calificado cada parámetro experimental obtenido, con relación al siguiente criterio:

- Al parámetro que cumple con el índice de calidad se le califica con la letra B (bien).
- Al parámetro cuyo valor obtenido no cumple con el índice de calidad, pero cumple con el índice tolerable, se le califica con la letra R (regular).
- Al parámetro que no cumple con el índice tolerable se le califica con la letra M (mal).

En algunos casos, si calificamos estrictamente podemos falsear el resultado; para evitar esto, se ha calificado con una letra B o R aquel parámetro cuya concentración incumple con el límite de calidad o tolerable, respectivamente, en un valor comprendido en el propio error de la medida analítica. En la Tabla A se expresan los resultados, atendiendo a las calificaciones indicadas.

Una vez establecidos los criterios de la evaluación para los parámetros y teniendo en cuenta los resultados estadísticos, pasamos a exponer las conclusiones básicas obtenidas en cada manantial:

### 1. BLENDING DE MANANTIALES SIN DEPURAR

Sus caracteres estudiados corresponden a aguas de calidad, excepto la turbidez que es tolerable y la dureza total que es ligeramente inferior a la mínima recomendada por la legislación.

### 2. BLENDING DE MANANTIALES DESPUES DE LA DEPURACIÓN

Las características son algo mejores a la anterior,

TABLA A

ESTACIÓN	CARACTERES ORGANOLÉPTICOS	CARACTERES FÍSICO-QUÍMICOS a) C. TÓXICOS; b) RESTO COMPONENTES	CARACTERÍSTICAS A DESTACAR
1	Turbidez: R Restantes: B	a) Ni, Cd y Cr: ausencia b) $T_H = R$ ; Demás B	Posee una dureza total ( $T_H$ ) inferior a la mínima recomendada por la Reglamentación.
2	Turbidez: R Restantes: B	a) Ni, Cd y Cr: ausencia b) $T_H = R$ ; Demás B	Destacamos la disminución de la turbidez y del $T_H$ , y el aumento del pH y la concentración de los sulfatos
3	Turbidez: R Restantes: B	a) Ni, Cd y Cr: ausencia b) $T_H$ y Fe = R; Demás B	Posee un valor de $T_H$ inferior al mínimo de calidad.
4	Turbidez: R Restantes: B	a) Ni, Cd y Cr: ausencia b) $T_H = R$ ; los demás B	La misma que la estación 3.
5	Todos: B	a) Ni, Cd y Cr: ausencia b) pH, $T_H$ , Cl y Mn = R; Demás B	El valor de $T_H$ es similar al de la estación anterior. El pH es muy cercano a 7, pero ha sido evaluado con una resolución de 0,01 pH/l mv, y no lo consideramos B.
6	Todos: B	a) Ni, Cd y Cr: ausencia b) pH, $T_H$ , Mn y Cl = R; Demás B	Poseen características similares al anterior, si bien la concentración en nitratos de éste es más débil.
7	$T_H = R$ Restantes: B	a) Ni, Cd y Cr: ausencia b) pH, $T_H$ , Cl, Fe y $O_2 = R$ Demás B	Si bien el $T_H$ posee un valor doble del manantial anterior, sigue bajo el mínimo deseable. El valor de $O_2$ se encuentra en el límite de calidad y lo calificamos con R.
8	Turbidez: R Restantes: B	a) Ni, Cd y Cr: ausencia b) pH, $T_H$ , Cl y Fe = R Demás B	Este manantial dista del anterior 4 Kms. Poseen características similares, si bien la concentración de sulfatos de este manantial es significativamente superior y la concentración de magnesio significativamente inferior.
9	Turbidez: R Color con la elevación de la temperatura es amarillento debido a la presencia de Fe.	a) Ni = B, demás ausentes b) Fe y Mn = M; pH, $O_2$ , $T_H$ , Cl y $NO_2 = R$ Las demás B	Los valores de los parámetros Fe y Mn son del orden de 2 y 9 veces superiores, respectivamente a los considerados tolerables. Se realizaron muestreos en dos meses alternos con resultados significativamente iguales. El pH es ácido. Existe Ni en concentración tolerable.
10	Todos = B	a) ausencia b) Cl y conductividad se califican R Los demás = B	La conductividad supera el valor máximo de calidad en un 14%. El $T_H$ se encuentra en un valor índice de calidad.
11	Sabor y turbidez no tolerables = M. Si bien el color es aceptable en el momento de la toma, y si no se refrigera amarillea con el tiempo	a) Ni en concentración traza tolerable. Demás ausencia b) $T_H$ , Cl, $SO_4$ , $NO_2$ y $O_2 = R$ Fe y Mn = M El pH es ácido (5,40)	El manantial ha sido estudiado efectuando las tomas de muestras en dos puntos, donde brota el agua con mayor caudal. Las piedras y las hojas encontradas en la pequeña zona bañada por el agua al brotar, estaban teñidas por las sales o el hidróxido de hierro Fe (III) fundamentalmente.
12	Todos = B	a) ausencia b) Cl, conductividad y Calcio = R. Los demás = B	El calcio posee una concentración tal que se destaca de todos los valores obtenidos para este parámetro en el conjunto de estaciones estudiadas. Lo mismo se puede decir para el $T_H$ .
13	Todos = B	a) ausencia b) Cl, conductividad y sulfatos = R $NO_3$ superan en un 30% el valor tolerable, se le califica = M Los demás = B	Los valores correspondientes a la conductividad, cloruros y sulfatos superan el i.c. pero distan de los máximos tolerables. Hemos relacionado la alta concentración de nitratos con la existencia de pequeñas granjas en terrenos cercanos al manantial.
14	Todos = B	a) ausencia b) Cl y conductividad = R Los demás = B	Posee concentraciones consideradas de calidad en calcio y magnesio. Es uno de los manantiales más frecuentados para tomar sus aguas.
15	Todos = B	a) ausencia b) Cl, conductividad y calcio = R Nitratos = M Los demás = B	La concentración de los nitratos supera el valor tolerado máximo en un 36%. La conductividad es la más alta de todas las estaciones estudiadas, si bien no supera el nivel máximo tolerable. En cuanto a la concentración de Cl, se encuentra entre las estaciones que se destacan en este parámetro sobre las demás.
16	Todos = B	a) ausencia b) Cl, conductividad y sulfatos = R Los demás = B	Se encuentra en un lugar rocoso a orilla del mar, en una pequeña playa de la Bahía de Algeciras. Pese a su concentración alta en cloruros, el sabor es considerado agradable; creemos que ello es debido a que posee concentraciones en calcio y magnesio suficientemente altas para dulcificar el sabor de los cloruros.

pues ha disminuido la turbidez, nitratos y ha aumentado el pH, si bien ha perdido ligeramente dureza y aumentado débilmente la concentración de sulfatos.

### 3. MANANTIAL DEL GRAN CAPITÁN

La turbidez, ligeramente elevada, y la dureza, algo baja, cumplen con los valores tolerables. Los restantes parámetros se encuentran en los índices de calidad.

### 4. PRESA DEL RÍO DE LA MIEL

Sus aguas poseen características muy similares a las del manantial anterior, no obstante mejora al disminuir la concentración de nitratos (casi ausencia) y empeora ligeramente al presentar ligero sabor a yerbas.

### 5. MANANTIAL CHORROSQUINA

Todos los caracteres organolépticos son de calidad. En lo que respecta a los parámetros físico-químicos, son tolerables el pH, dureza total, cloruros y manganeso; los restantes cumplen los valores de calidad.

### 6. MANANTIAL PELAYO

Los parámetros pH, dureza, manganeso y cloruros poseen valores tolerables, considerándose los restantes en el índice de calidad. De las aguas estudiadas es la de menor dureza y residuo seco.

### 7. MANANTIAL EL PALANCAR

Hay que destacar valores tolerables para el contenido de hierro, cloruros y dureza, a pesar de que en este último parámetro se duplica su valor respecto al agua de Pelayo. Excepto la tolerable turbidez, las restantes características organolépticas no incumplen los índices de calidad.

### 8. MANANTIAL LA AHUMADA

Estas aguas poseen características similares a las anteriores (los manantiales distan unos 4 km), si bien la concentración de sulfato en este manantial supera significativamente al que posee el anterior, ocurriendo lo inverso con la concentración de magnesio. Solamente los parámetros con niveles tolerables son el pH, dureza total,

cloruros e hierro, los restantes están dentro de los valores de calidad.

### 9. MANANTIAL ZORRILLA

Se encuentra en terrenos con posibilidad de filtraciones contaminantes, presentando sus aguas cierta turbidez y color amarillento, debido a la presencia de sales de hierro, y pH débilmente ácido. Su dureza total es superior en cinco veces al agua de Pelayo. Se han encontrado débiles concentraciones de níquel y cobre (del orden de 0,01 mg/l), no obstante consideradas tolerables. También son tolerables las concentraciones de cloruros y nitritos. Superan los niveles máximos de potabilidad los contenidos de hierro y manganeso, alcanzando concentraciones del orden de dos y tres veces superiores, respectivamente, a las consideradas tolerables.

### 10. MANANTIAL VIRGEN DE FÁTIMA

Este agua, cuya dureza total triplica a la del anterior manantial, cumple con los índices de calidad en casi todos los parámetros estudiados, pues tan sólo la conductividad y concentración de cloruros lo superan, siendo ambos tolerables. No obstante, encontrándose el manantial en zona poblada deberían evaluarse periódicamente los caracteres microbiológicos, o bien prohibir su uso para la bebida.

### 11. MANANTIAL LA MINILLA

El sabor y turbidez del agua de este manantial no son tolerables; a pesar de que el color en el momento de la toma de muestra es aceptable, si no se refrigera amarillea con el tiempo. Esto último, es debido a la precipitación de sales de hierro. Posee niveles significativamente altos de cloruros y sulfatos, ambos tolerables. Los valores altos en hierro y manganeso, así como el pH ácido (5,4), incumplen los índices tolerables.

### 12. MANANTIAL DE LA CANTERA

Estas aguas poseen una dureza total más de veinte veces superior al agua de Pelayo; la concentración de calcio es superior al índice de calidad, pero tolerable. Los

iones cloruros y la conductividad son tolerables y los restantes parámetros cumplen con los valores de calidad.

## 13. MANANTIAL HUERTA DE LAS PILAS

La fuente se encuentra en zona poblada, habiéndose encontrado concentraciones de nitratos superiores en un 30% al nivel máximo tolerable, pudiendo estar relacionados con la existencia de pequeñas granjas cercanas al manantial. El agua posee características similares al anterior manantial, si bien posee mayor concentración de sulfatos y menor cantidad de calcio.

## 14. MANANTIAL LA ALHAJA

Por estar situado a la entrada del "Pinar del Rey", este manantial es muy frecuentado para tomar su agua. La dureza es similar a la de los dos manantiales anteriores, pero de mayor calidad en cuanto a la concentración de sulfatos y nitratos. Solamente dos parámetros, cloruros y conductividad, poseen niveles tolerables, cumpliendo los restantes los índices de calidad.

## 15. FUENTE DE MARÍA ESPAÑA

Los análisis efectuados en el año 1991 indican una notable mejoría en la concentración de nitratos, comparativamente con la encontrada en el año 1984, fecha del primer estudio; entonces sobrepasaban los nitratos el nivel máximo tolerable y actualmente se encuentran en nivel tolerable. Esta variación puede ser debida a la canalización de aguas residuales, fundamentalmente de granjas en zonas próximas al manantial. La dureza total del agua de esta fuente es del mismo orden del anterior manantial, no obstante, posee alrededor del 20% más de calcio que aquel y 35 veces superior al contenido en calcio de las aguas de Pelayo. Los parámetros, nitratos, calcio y cloruros poseen niveles tolerables, cumpliendo los restantes analizados con los índices de calidad.

## 16. MANANTIAL EL CHORRITO

Pese a la alta concentración en cloruros del agua (50 veces superior al del agua de Pelayo), el sabor puede considerarse agradable debido a las concentraciones suficientemente altas de calcio y magnesio, que dulcifican

el sabor de los cloruros. La conductividad, sulfatos y cloruros son tolerables. Las concentraciones de los restantes parámetros no superan el índice de calidad.

## CONSIDERACIONES FINALES

De los estudios estadísticos efectuados para el conjunto de los manantiales, pueden extractarse las siguientes conclusiones:

- El 50% se agrupan en un intervalo propio de aguas poco mineralizadas y en el intervalo de turbidez indicador de calidad.
- El 62% se encuentran dentro del pH guía de calidad.
- El 56% se distribuyen en un intervalo bajo de residuo seco (entre 53,20 y 90,64 mg/l), los restantes se encuentran dispersos, no superando el límite máximo de calidad.
- El 62% se encuentran agrupados en un intervalo de dureza total (TH) comprendido entre 16,8 y 88,76 mg de CaCO<sub>3</sub>/l, no alcanzando, pues, el mínimo recomendado como orientador de calidad. Los restantes sí lo superan.
- Sólo el 31% no superan el nivel máximo de calidad para los cloruros. En todo caso, ninguno de los restantes manantiales superan el valor correspondiente al 50% de la concentración máxima tolerable.
- El 87% se encuentran dentro del límite de calidad establecido para los nitratos.
- El 43% y 81% poseen niveles bajos en sodio y potasio, respectivamente.
- El 62% se encuentran en unos valores bajos en calcio, sin sobrepasar los 18mg/l, y el 50% en niveles de débil concentración en magnesio; tan sólo un manantial alcanza una concentración cercana a los 20 mg/l de Mg. El 87,5% se encuentran en una zona de baja concentración relativa en hierro y manganeso. Tan sólo dos manantiales poseen alta concentración en estos elementos.
- Prácticamente el 100% presentan ausencia de los iones metálicos considerados tóxicos en este estudio.

BIBLIOGRAFÍA

Métodos recomendados de análisis por el Instituto Nacional de Hidrología del Consejo Superior de Investigaciones Científicas. 1968.

J. RODIER. *L'analyse de l'eau*. Ed. Dunod Technique. 1988.

Reglamentación técnico-sanitaria para el abastecimiento y control de la calidad de las aguas potables de consumo público. B.O.E. nº 154.29/junio/1982.

H.A. HARPER. *Manual de Química Fisiológica*. Ed. El Manual Moderno. 1975.

M.P. MANUEL-VEZ; F.J. TRUJILLO. *Características físico-químicas de aguas de manantiales del Campo de Gibraltar*. Tecnología del agua. nº 28. 1986.