

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE CIENCIAS GEOLÓGICAS

Departamento de Geodinámica



**ESTUDIO MICROBIOLÓGICO DE LAS
INCRUSTACIONES Y CORROSIONES EN
CAPTACIONES DE AGUA SUBTERRÁNEA**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

Agustín J. Senderos Domínguez

Bajo la dirección de los doctores

Fermín I. Villarroya Gil
Fernando de Castro San Miguel

Madrid, 2001

ISBN: 84-669-1787-X

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
Facultad de Ciencias Geológicas
Departamento de Geodinámica

**Estudio microbiológico de
las incrustaciones y
corrosiones en captaciones
de agua subterránea**



TESIS DOCTORAL
Agustín J. Senderos Domínguez

DIRECTORES:

Dr. D. Fermín I. Villarroya Gil

Dr. D. Fernando de Castro San Miguel

Madrid, 2001

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Introducción general y antecedentes.....	2
1.2. Objetivos.....	6
1.3. Método de trabajo.....	8
2. PÉRDIDAS DE PRODUCTIVIDAD EN LOS POZOS	11
2.1. Generalidades: parámetros y mineralogías	12
2.2. Causas de las incrustaciones	14
2.2.1. Causas químicas	14
2.2.2. Efecto electrolítico de corrosión/incrustación	16
2.2.3. Causas biológicas.....	20
2.3. Fijación biológica del <i>Fe</i> y <i>Mn</i> . Microorganismos implicados	23
2.3.1. Fijación enzimática. Microorganismos implicados	23
2.3.2. Fijación no enzimática. Microorganismos implicados.....	29
2.3.3. Fijación pasiva. Microorganismos.....	32
3. CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES DE LAS CAPTACIONES	34
3.1. El Medio Ambiente de las Aguas Subterráneas.....	35
3.2. Variaciones del medio físico. Microhábitats y Biozonas	40
3.3. Condiciones para la formación de <i>biopelículas</i>	44
3.3.1. Requerimientos mínimos.....	44
3.3.2. Microorganismos formadores de <i>biopelícula</i>	45
3.3.3. Desarrollo de las incrustaciones. Etapas	47
4. TOMA DE MUESTRAS.....	52
4.1. Criterios para la elección de los sondeos.....	53
4.2. Descripción y agrupamiento de las muestras.....	54
4.3. Breve descripción de los acuíferos	63
4.4. Elección y requerimientos del punto de muestreo	103
4.4.1. Condiciones de las muestras.....	103
4.4.2. Registro óptico de vídeo (R.O.T.V.).....	106
4.4.3. Diseño de un aparato <i>tomamuestras</i> específico. Descripción y datos constructivos	108
4.5. Analítica de campo.....	113

5.	ANÁLISIS GEOQUÍMICO.....	119
5.1.	Análisis químico.....	120
5.2.	Estabilidad depósitos ferruginosos. Diagramas de <i>Pourbaix</i>	130
5.3.	Estudio de las incrustaciones.....	141
5.3.1.	Observación mediante R.O.T.V.....	141
5.3.2.	Estabilidad mineralógica: programa WATEQF.....	145
6.	ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO.....	151
6.1.	Selección de los grupos microbianos a detectar.....	152
6.2.	Analítica de laboratorio.....	157
6.2.1.	Técnicas básicas.....	157
6.2.2.	Cultivo y observación.....	161
6.2.2.1.	Medios de cultivo.....	161
6.2.2.2.	Tinciones.....	163
6.2.2.3.	Técnicas microscópicas.....	166
6.2.3.	Recuento e identificación.....	167
6.2.3.1.	Procedimiento.....	167
6.2.3.2.	Tipos de colonias.....	169
6.2.3.3.	Recuento.....	171
6.3.	Método B.A.R.T.....	174
6.3.1.	Fundamentos y descripción.....	174
6.3.2.	Seguimiento de las reacciones para las distintas muestras.....	180
6.4.	Interpretación de los resultados microbiológicos.....	192
7.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	199
7.1.	Tipo de datos y elección de los tests.....	200
7.2.	Variaciones microbiológicas entre acuíferos.....	203
7.3.	Relación entre microbiota y valores químicos.....	209
7.4.	Relación entre microbiota y parámetros técnicos-hidrogeológicos.....	212
7.5.	Validez del método B.A.R.T.....	215
8.	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	221
9.	PREVENCIÓN DE INCRUSTACIONES.....	247
9.1.	Precauciones en las explotaciones nuevas.....	248
9.2.	Seguimiento y control de las explotaciones en uso.....	251
9.2.1.	Profilaxis y prevención de incrustaciones en los pozos.....	251
9.2.2.	Sistemas de regeneración.....	253

10. RESUMEN Y CONCLUSIONES	260
10.1. Resumen	261
10.2. Cumplimiento de los objetivos	264
10.3. Conclusiones	267
BIBLIOGRAFÍA.....	270
▪ ANEXO 1	Mapa de los acuíferos muestreados
▪ ANEXO 2	Columnas técnicas/litológicas de los pozos
▪ ANEXO 3	Salida del programa WATEQF
▪ ANEXO 4	Fichas de datos microbiológicos
▪ ANEXO 5	Modelo colorimétrico del test B.A.R.T.™
▪ ANEXO 6	Fotografías

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1.- Mapa distribución de ferrobacterias	5
2.1.- Proceso de la corrosión electrolítica	16
2.2.- Depósitos de hidróxido férrico en zonas anódicas	17
2.3.- Esquema del tubérculo de hierro	17
2.4.- ciclo de la corrosión biológica	19
2.5.- Balance de la Cadena Respiratoria	24
2.6.- Sucesión de metabolitos de la Cadena Respiratoria.....	25
2.7.- Flujo de electrones en <i>Thiobacillus</i>	25
2.8.- Esquema general de la Cadena Transportadora de electrones	26
2.9.- Esquema del ciclo de <i>Calvin</i>	27
2.10.- Entrada de los aminoácidos en el ciclo de <i>Krebs</i>	30
3.1.- Biomasa microbiana en el interior de la Corteza	36
3.2.- Transporte de microorganismos por el subsuelo	38
3.3.- Afección de los microorganismos a las estructuras del subsuelo.....	39
3.4.- Distribución de microorganismos generadores de <i>biopelícula</i>	40
3.5.- Zonas de crecimiento para diferentes actividades microbiológicas.....	41
3.6.- Crecimiento microbiano en la interfase oxidación-reducción	44
3.7.- Sucesión de estados durante la formación de la <i>biopelícula</i>	50
4.1.- Corte simplificado de la Depresión del Tajo.....	64
4.2.- Esquema de funcionamiento de la U.H. 03.05	65
4.3.- Red de flujo en la U.H. 03.05	67
4.4.- Funcionamiento de los sistemas de Plana de Castellón y Onda	69
4.5.- Plano de situación de <i>As Pontes</i>	72
4.6.- Esquema geológico de la cuenca Terciaria de <i>As Pontes</i>	75
4.7.- Principales pozos de la comarca de La Moraña	77
4.8.- Esquema hidrogeológico de la zona de La Moraña	79
4.9.- Gráfico de isopiezas de La Moraña.....	81
4.10.- Funcionamiento hidráulico de la U.H. 04.04	84
4.11.- Situación de los acuíferos de la Llanura Manchega	88
4.12.- Esquema de funcionamiento de la Unidad de Albacete.....	90
4.13.- Secciones del acuífero de La Plana de Valencia.....	92

4.14.- Funcionamiento hidráulico de La Plana de Valencia	93
4.15.- Esquema de situación de la Unidad Maestrazgo	95
4.16.- Esquema de funcionamiento de la Unidad Maestrazgo	96
4.17.- Sistemas acuíferos y estructura del Campo de Dalías	98
4.18.- Mapa geológico simplificado del Campo de Calatrava	101
4.19.- Mapa geológico simplificado de Cataluña	102
4.20.- Equipo para inspección televisada de sondeos.....	107
4.21.- Tomamuestras de <i>Smith</i>	109
4.22.- Aparato tomamuestras de <i>Hallbeck y Pedersen</i>	110
4.23.- Aparato de <i>Cullimore</i> para la recogida de ferrobacterias	111
4.24.- Esquema del aparato tomamuestras.....	112
4.25.- Modelo de ficha para la recogida de datos de campo	118
Diagramas de Piper	124 a 129
5.1.- Diagrama genérico Eh/pH.....	131
5.2.- Diagrama Eh/pH para el sistema Fe-O-H.....	132
5.3.- Representación de las diferentes muestras en el diagrama Eh/pH	134
5.4.- Diagrama de <i>Pourbaix</i> con las muestras del Campo de Calatrava	135
5.5.- Diagrama de <i>Pourbaix</i> con las muestras de Cataluña	135
5.6.- Diagrama de <i>Pourbaix</i> con las muestras de la Plana de Valencia	136
5.7.- Diagrama de <i>Pourbaix</i> con las muestras de El Maestrazgo	136
5.8.- Diagrama de <i>Pourbaix</i> con las muestras de La Mancha Occidental.....	137
5.9.- Diagrama de <i>Pourbaix</i> con las muestras de La mancha Oriental.....	137
5.10.- Diagrama de <i>Pourbaix</i> con las muestras de <i>Vila Franca da Xira</i>	138
5.11.- Diagrama de <i>Pourbaix</i> con las muestras del Campo de Dalías.....	138
5.12.- Diagrama de <i>Pourbaix</i> con las muestras de <i>As Pontes</i>	139
5.13.- Diagrama de <i>Pourbaix</i> con las muestras del Duero-Arenales	139
5.14.- Diagrama de <i>Pourbaix</i> con las muestras de Madrid	140
5.15.- Diagrama de <i>Pourbaix</i> con las muestras de Plana de Castellón/Onda.....	140
6.1.- Morfología de los principales tipos de ferrobacterias.....	153
6.2.- Manejo de las muestras y toma del inóculo.....	158
6.3.- Método de las diluciones seriadas	160
6.4.- Abundancia relativa de microorganismos en acuíferos detríticos	173
6.5.- Abundancia relativa de microorganismos en acuíferos carbonatados	173
6.6.- Abundancia relativa de microorganismos en aguas carbónicas.....	173

6.7.- Desarrollo de una reacción B.A.R.T.	175
6.8.- Tabla de reacciones posibles de los tests B.A.R.T.	176
6.9.- Modelo de ficha para la recogida de datos microbiológicos	179
7.1.- Cels/ml según el test B.A.R.T. para ferrobacterias	218
7.2.- Cels/ml según el test B.A.R.T. para <i>SLYM</i>	219
7.3.- Cels/ml según el test B.A.R.T. para sulfatorreductoras	219

ÍNDICE DE TABLAS

2.1.- Requerimientos de las ferrobacterias más frecuentes	22
3.1.- Condiciones más frecuentes en ambiente exógeno	35
3.2.- Microorganismos generadores de <i>bioobstrucción</i>	46
4.1.- Muestras obtenidas en los diferentes acuíferos.....	54
4.2.- Características hidrogeológicas de cada muestra	59-60
4.3.- Balance hídrico Plana de Castellón/Onda	70
4.4.- Analítica de campo de la serie M	115
4.5.- Analítica de campo de las muestras MM, MZ, H y F	115
4.6.- Analítica de campo de la serie Y	116
4.7.- Analítica de campo de la serie TT	117
4.8.- Analítica de campo de la serie AP	117
4.9.- Analítica de campo de las series CC y AL	117
5.1.- Análisis químicos de las muestras de acuíferos detríticos	121
5.2.- Análisis químicos de las muestras de acuíferos carbonatados	122
5.3.- Análisis químicos de las muestras de acuíferos en <i>Hard-Rocks</i>	123
5.4.- Simbología utilizada para los diagramas de <i>Pourbaix</i>	133
5.5.- Minerales estables en acuíferos carbonatados	146
5.6.- Minerales estables en acuíferos detríticos.....	147
5.7.- Minerales estables en fuentes carbónicas en <i>Hard-Rocks</i>	148
6.1.- Medio de <i>Rouf-Stokes</i>	162
6.2.- Medio T.S.A.	162
6.3.- Medio para S.R.B.....	163
6.4.- Tinción de <i>Gram</i>	164
6.5.- Tinción de <i>Meyers</i>	165
6.6.- Tinción para vainas.....	166
6.7.- N.M.P. para series de tres tubos con 1, 0,1 y 0,01 ml	168
6.8.- Recuento microbiológico en aguas carbónicas	171
6.9.- Recuento microbiológico en acuíferos carbonatados	172
6.10.- Recuento microbiológico en acuíferos detríticos.....	172
Seguimiento reacciones B.A.R.T.	180 a 192
6.11.- Muestras en buen y moderado estado microbiológico.....	194

6.12.- Captaciones con riesgo de incrustación orgánica	195
6.13.- Captaciones con riesgo de incrustación ferruginosa.....	196
6.14.- Captaciones con riesgo de incrustación ferruginosa y orgánica	197
6.15.- Captaciones con riesgo de incrustación e indicios de contaminación	197
7.1.- Tipos de acuíferos y muestras de cada uno de ellos	203
7.2.- Microbiología en acuíferos detríticos	204
7.3.- Microbiología en acuíferos carbonatados	205
7.4.- Microbiología en acuíferos tipo <i>Hard-Rocks</i>	205
7.5.- Comparación de la microbiota mediante el test de la U	206
7.6.- Aplicación del test de la U a los dos grupos de aguas carbónicas	207
7.7.- Características químicas y microbiológicas de las muestras	208
7.8.- Correlación microbiota/parámetros químicos (test de <i>Spearman</i>).....	210
7.9.- Parámetros técnicos-hidrogeológicos	213
7.10.- Correlación microbiota/parámetros técnicos-hidrogeológicos	214
7.11.- Recuentos en laboratorio y por el método B.A.R.T.	216
7.12.- Comparación de los recuentos mediante el test de la U	217
Fichas resumen de cada muestra	221 a 245

AGRADECIMIENTOS

Quisiera dar las gracias a todas las personas y entidades que han hecho posible la realización de esta tesis doctoral, ya que sólo he encontrado ayuda y buena voluntad en todos aquellos a los que he tenido que recurrir en busca de apoyo. De la misma manera quisiera que me perdone todo aquél que, debiendo haber aparecido en esta sección no lo hiciera, pues se deberá, únicamente, a mi propio despiste u olvido.

En primer lugar agradezco a mis directores de tesis, los doctores **D. Fermín Villarroya Gil**, del departamento de Geodinámica, y **D. Fernando de Castro San Miguel**, del departamento de Microbiología III, de la Universidad Complutense de Madrid, sus múltiples ayudas y consejos, la cantidad de horas dedicadas a la realización de este trabajo y la absoluta confianza por su parte en el buen fin de la tesis.

Esta tesis ha sido financiada por dos proyectos de la CICYT, los denominados **AMB 94-0997-C02-02** y **HID 96-1309**. Con respecto al primero de ellos quiero hacer una especial mención a su investigador principal, el **Dr. D. Ramón Llamas Madurga**, ya que, además de ser el motor de dicho proyecto, fue él quien me puso en contacto en su día con el Dr. Villarroya, fruto de lo cual es el presente trabajo. Integrante también del equipo investigador de dicho proyecto es la **Dra. D^a Elvira Hernández** a quien debo gran parte de los datos relativos al acuífero de Madrid, así como su colaboración desinteresada y cesión de datos de su propia tesis doctoral.

De los componentes del segundo proyecto, debo agradecer a cada uno de ellos la parte correspondiente de su trabajo, cuyos resultados se plasman aquí. De esta manera, además de los directores de la tesis ya mencionados, quiero agradecer a la **Dra. D^a Ángeles Galván** sus consejos y orientaciones en el laboratorio de microbiología; al **Dr. D. Javier González Yélamos** su disposición para resolver todo tipo de dudas de carácter químico, así como su responsabilidad en la toma de las muestras de aguas carbónicas procedentes de *Hard-Rocks*; a **D. Juan Martínez Rubio**, de la empresa *TRAGSATEC*,

quien ha dirigido la mayor parte de las campañas de campo, la totalidad de las que se han hecho con filmación de vídeo; a **D. Pedro Ruano**, también de *TRAGSATEC*, que ha sido el verdadero artífice del diseño del aparato tomamuestras.

No puedo dejar de mencionar al personal y compañeros de los departamentos de Geodinámica y Microbiología III de la Universidad Complutense por su disposición y ayuda siempre desinteresada. Muy especialmente al **Dr. D. Pedro Emilio Martínez Alfaro** quien diseñó el programa estadístico del test de la **U** que se ha utilizado en el apartado de estadística, así como por sus siempre sabios consejos; a **D. Miguel Ángel Sanz**, que ha estado dispuesto siempre que surgía algún problema informático; al **Dr. D. Juan Fornés**, siempre dispuesto a colaborar y siempre dispuesto a levantar el ánimo en los momentos más bajos; a mi compañero y amigo **D. David Uribelarrea** ese "genio del diseño informático", y, al **Dr. D. Domingo Marquina** conocedor de todos los trucos del laboratorio de microbiología, mi "tabla de salvación" en tantas ocasiones.

Si la aplicación de tests estadísticos ha sido fundamental en la obtención de conclusiones, esto ha sido debido a la inestimable ayuda de **D. Francisco Conejero** cuyo trabajo ha sido más que una simple ayuda.

Las imágenes de vídeo han sido tomadas gracias al personal y material de la empresa *TRAGSATEC*. De aquí, aparte de los ya mencionados, me gustaría resaltar la labor de **D. Enrique Escalante** y **D. Antonio Albarracín**. De la misma manera, quiero expresar mi agradecimiento al personal de la mina de *As Pontes de García Rodríguez* que pusieron a nuestra disposición material y medios humanos para la obtención de las muestras, y en especial a **D. Carlos Kaiser** y **D. Antonio Vidal**. Igualmente a todos aquellos propietarios, encargados o vigilantes de pozos que no han dudado en ponerse a nuestra disposición y facilitarnos el acceso a las captaciones para la obtención de las muestras.

Dada mi condición de Profesor de Secundaria, es justo reconocer la ayuda proporcionada por mis compañeros del I.E.S. Juan Carlos I, de

Ciempozuelos, donde desarrollo mi labor docente, y, muy especialmente, a la Junta Directiva que no han dudado en poner a mi servicio el material de Centro (ordenadores, impresoras, recursos fotográficos, etc.) y a **D. Pedro Reina** y mi gran amigo **D. Antonio Tovar** cuyo asesoramiento en informática ha sido fundamental dada mi torpeza en estos temas.

No hubiera sido posible la terminación de la tesis de no haber sido por el apoyo moral y la confianza en que saldría adelante que siempre han manifestado las dos personas más perjudicadas por la misma, **M^a Paz y Paz**, mi mujer y mi hija, a las que, en definitiva, he robado el tiempo, casi interminable, que ha llevado su realización. También quisiera expresar un breve recuerdo para mi padre, que por unos meses no ha podido ver concluido este trabajo.

1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo consiste en hacer un estudio, lo más amplio posible, de la influencia de determinados microorganismos en el desarrollo de incrustaciones en las paredes de las captaciones de agua subterránea y, por tanto, del proceso de envejecimiento de dichas captaciones. Dada la escasez de información al respecto, sobre todo en nuestro país, tan importante como el estudio puramente microbiológico es la elección de un método de trabajo adecuado. La finalidad última sería poder establecer unas normas de actuación e, incluso, conductas, que prevengan o, al menos, disminuyan el envejecimiento. Si tenemos en cuenta que un mantenimiento periódico es siempre más rentable que desechar algo porque deja de funcionar, esta tesis no pretende ser más que un granito de arena en apoyo de la necesidad de realizar un mantenimiento de las captaciones que redundaría en una mejora de la calidad y rendimiento a medio y largo plazo. Como propone la célebre máxima "*más vale prevenir que curar*".

1.1. INTRODUCCIÓN GENERAL Y ANTECEDENTES

Nuestro objetivo es el estudio de la microbiota asociada a los pozos de agua subterránea y, más concretamente, de las bacterias capaces de generar depósitos tanto sólidos como mucilaginosos ("bioincrustaciones o biopelículas"). Para ello se ha contado con la financiación de los proyectos CICYT **AMB94-0997-C02-02** y CICYT **HID96-1309**, así como la colaboración, ligada a este último proyecto, de la empresa **TRAGSATEC**.

Los estudios relativos a la actividad de dichos microorganismos en aguas subterráneas, en nuestro país, son escasos y totalmente esporádicos (*Matía, 1981; Sastre et al., 1981*), aunque se sabía que suponen un factor de primer orden en el proceso de corrosión/incrustación de las captaciones (*Custodio, 1968*),

contribuyendo, por tanto, de manera activa en lo que se ha denominado proceso de **envejecimiento de los pozos** (*Carrión y Maldonado, 2000-a*).

Un pozo se considera envejecido cuando sufre una pérdida de productividad no achacable a factores hidrogeológicos únicamente, sino que disminuye el caudal específico como consecuencia de una reducción de la superficie filtrante. Esta disminución en la superficie filtrante de las rejillas puede deberse a un taponamiento externo debido al arrastre de materiales finos por el propio acuífero, en cuyo caso el taponamiento de los filtros es puramente físico y, tanto las causas, como sus posibles soluciones habría que buscarlas por vía mecánica y/o técnica, quedando fuera de los propósitos de nuestro trabajo y de lo cual hay algunas experiencias notables (*Tragsa, 1993; Tragsatec, 1993*).

Otra causa que puede producir esa disminución en la superficie filtrante de los pozos son las incrustaciones, generalmente de hierro y manganeso. También se han descrito incrustaciones de azufre, carbonatos, etc. (*Summers y Silver, 1978; Sastre et al., 1981; Driscoll, 1986*), si bien su incidencia es casi anecdótica y supone siempre aguas previamente contaminadas o con características químicas muy especiales.

Estas incrustaciones pueden tener origen químico o biológico. En cuanto al primero, últimamente se han desarrollado algunos trabajos al respecto en España. Son dignos de mención, sobre todo, los realizados en la ETSI-Minas de la Universidad Politécnica de Madrid (*Carrión, 1996; Maldonado y Carrión, 2000; Carrión y Maldonado, 2000-b*). Por el contrario, el origen biológico de las mismas ha sido tratado, solamente, de forma esporádica y puntual (*Matía, 1981; Sastre et al., 1981*).

El hecho de que las incrustaciones de hierro y manganeso, de origen biológico, se hayan estudiado poco es debido a la circunstancia de que los microorganismos que dan lugar a su formación aparecen en aguas potencialmente potables. No es necesario que haya

contaminación orgánica del acuífero, ya que son bacterias **autótrofas** u **oligotrofas**, por lo que pueden desarrollarse dentro de los límites de potabilidad del agua. En la actualidad, algunos países están haciendo estudios sobre su posible uso controlado para descontaminar acuíferos (*Hurlburt, 1987*).

Con todo esto llegamos a la conclusión de que, al no ser organismos con repercusión directa sobre la salud, han quedado fuera de los estudios bacteriológicos realizados en aguas subterráneas. Si a esto le unimos la dificultad de su aislamiento, nos encontramos con que hoy en día cualquier laboratorio de análisis de aguas puede ofrecer listados suficientemente amplios de bacterias en una muestra de agua pertenecientes a los grupos de enterobacterias, estreptococos, clostridios..., en los que jamás aparecerá ninguna bacteria del hierro (*Ferrobacteria*).

En función de lo anterior nos podemos preguntar qué objeto tiene el estudio de estos microorganismos. La respuesta es tan simple como que, si bien no plantean problemas sanitarios, sí plantean verdaderos problemas económicos dada su actividad en el proceso de envejecimiento del pozo (pueden llegar a precipitar volúmenes de hierro a razón de 500:1 con respecto a su masa celular —*Cullimore y McCann, 1977*).

Aparte de su importancia económica pueden llegar a producir alteraciones de índole menor, si se encuentran en cantidad suficiente, como es cierta coloración de las aguas (puede adquirir tonos rojizo-marrones) y variaciones en el pH, que tiende a aumentar como consecuencia de su propio metabolismo.

Debido a lo anteriormente expuesto se ha llegado a decir que las ferrobacterias son como un “resfriado”, poco grave a corto plazo, pero molesto y capaz de degenerar si no se “cura” a tiempo (*Aller y Lehr, 1987*).

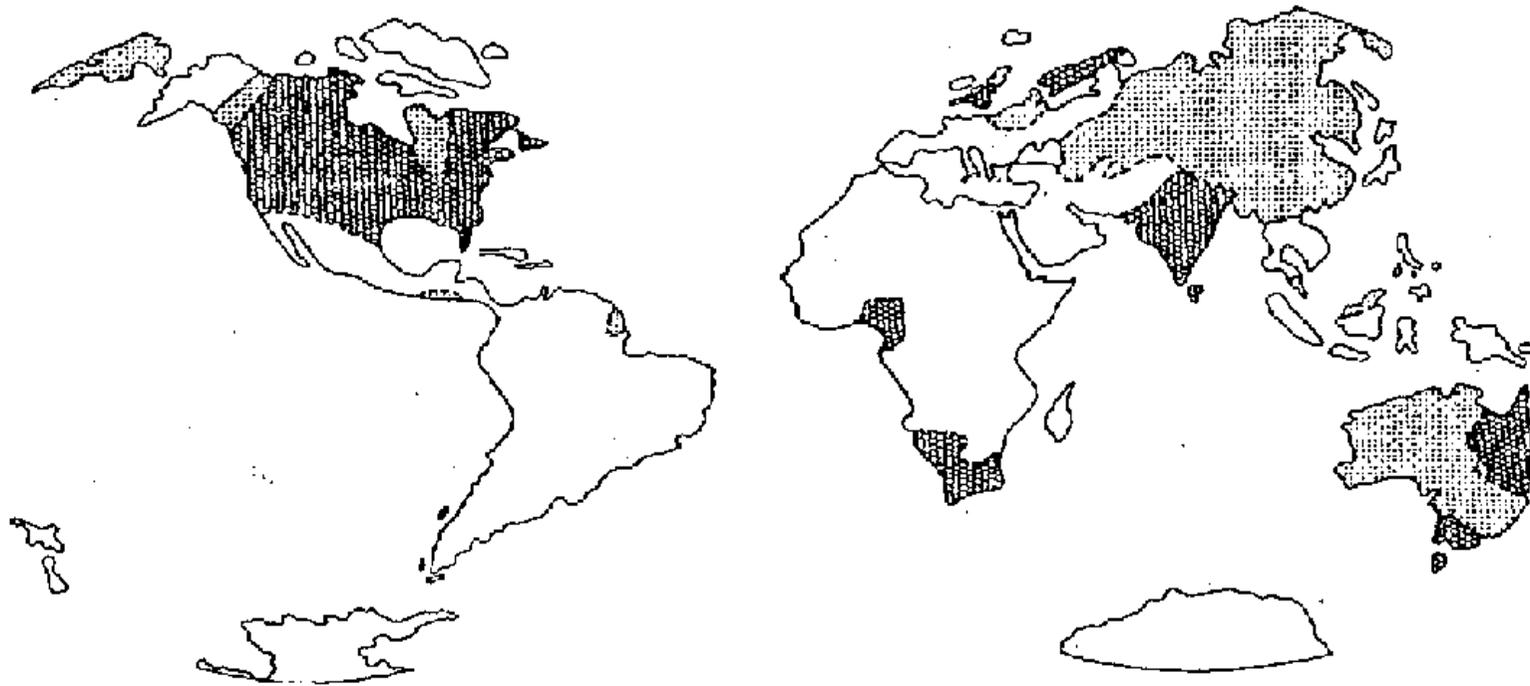


Fig. 1.1.- Mapa de distribución de *Ferrobacterias*. De las zonas en blanco, o no se han detectado, o se carece de estudios

(Cullimore y McCann, 1977)

Para concluir habría que comentar que las ferrobacterias suponen un problema universal, ya que donde no se han encontrado es, simplemente, porque no se han hecho estudios al respecto. En la figura 1.1 se puede observar su distribución geográfica en todos los continentes y todas las latitudes. Las áreas en blanco corresponden a países de los que no se tienen datos (obsérvese que España está incluida en estas áreas).

Como complemento a la universalidad de estos microorganismos figura el dato de que se han encontrado fósiles correspondientes a especies de los géneros *Gallionella* y *Sphaerotilus* datados en 300 m.a. (Cullimore y McCann, 1977).

1.2. OBJETIVOS

Dadas las características del trabajo, hemos dividido los objetivos en tres categorías:

- Los relacionados con el conocimiento de procesos de generación de las incrustaciones, microorganismos implicados, condicionantes, etc., a los que hemos denominado como **objetivos conceptuales**.
- Los relacionados con la puesta en marcha de métodos de trabajo, análisis e interpretación de datos, denominados **objetivos procedimentales**.
- El estudio de sistemas de regeneración y propuestas de actitudes preventivas en las captaciones en función de los resultados obtenidos: **objetivos actitudinales**.

Enumerando los objetivos concretos de cada una de las categorías, podemos definir los siguientes:

A. Objetivos conceptuales

1. Estudio de los microorganismos implicados en los procesos de envejecimiento de los pozos
2. Conocimiento de los procesos que dan como resultado la obstrucción de origen biológico
3. Identificación de las mineralogías con que se desarrollan las incrustaciones
4. Estudio de los factores que pueden influir en el desarrollo de la microbiota generadora de biopelículas: químicos, hidrogeológicos, técnicos

B. Objetivos procedimentales

1. Desarrollar un protocolo adecuado para la toma de muestras, teniendo en cuenta la diferente analítica a desarrollar: de campo, microbiológica, química y mineralógica
2. Diseño de un aparato "tomamuestras" específico teniendo en cuenta las particulares características que deben cumplir las muestras
3. Valoración de la importancia de los **registros ópticos de vídeo-TV** (R.O.T.V.) en la elección del punto de muestreo en cada pozo
4. Estudio de los diversos métodos disponibles para estimar la estabilidad mineralógica de las incrustaciones en función de las características químicas del agua: programa WATEQF y diagramas de *Pourbaix*

5. Elección de las técnicas microbiológicas adecuadas a las bacterias generadoras de *biopelículas*: medios de cultivos, incubación, métodos de tinción y observación
6. Valoración de la viabilidad de los métodos cualitativos de identificación microbiológica (**método B.A.R.T.TM**–*Cullimore, 1992*) por comparación con los métodos tradicionales de laboratorio
7. Elección de los tests estadísticos adecuados al tipo de datos, teniendo en cuenta que, más que formar una verdadera población estadística, son datos puntuales de cada pozo, elegidos subjetivamente en función de la imagen de R.O.T.V.

C. Objetivos actitudinales

1. Establecer las propuestas adecuadas de actuación preventiva a la vista de los resultados obtenidos
2. Valoración de los métodos de regeneración de las captaciones más usados y de algunos más novedosos
3. Justificar científicamente los beneficios de las actitudes de conservación periódica de las captaciones frente a las actitudes de abandono

1.3. MÉTODO DE TRABAJO

Dado que lo que se pretende es ver si hay algún parámetro que influya de forma positiva o negativa en el desarrollo de *Ferrobacterias* y demás bacterias generadoras de *biopelículas*, lo que nos interesa es tener la máxima diversidad de datos posible. Se ha procurado, por tanto, tomar muestras de todo tipo de acuíferos y de condiciones de las captaciones. Lógicamente contamos con la limitación de que, por razones económicas, nos hemos ceñido a las muestras correspondientes

a pozos en los que *TRAGSATEC* ha realizado algún tipo de actuación. A pesar de ello, se han tomado algunas muestras específicamente para este trabajo y se han admitido todo tipo de posibilidades para obtener datos de cualquier captación, llegándose, incluso, a hacer la analítica correspondiente de manantiales naturales. En definitiva lo que se persigue es la máxima diversidad de datos para realizar *a posteriori* un tratamiento estadístico lo más fiable posible.

En el mejor de los casos, es decir, en las muestras proporcionadas por *TRAGSATEC*, se ha elegido el punto de la captación del que tomar la muestra por la imagen observada en el monitor de TV., en los demás se ha realizado un bombeo suficiente para que la muestra sea fiable (ver capítulo 4). Una vez tomadas las muestras, el tratamiento es el mismo para todas.

A pie de pozo se hacen las medidas de parámetros inestables:

- Temperatura del agua
- Conductividad eléctrica
- pH y Eh
- O₂ disuelto
- Hierro total

También se rellenan los tubos de los tests B.A.R.T. para la determinación de los siguientes grupos bacterianos: Ferrobacterias, Bacterias Sulfatorreductoras, Aerobios Totales y Bacterias formadoras de Exopolímeros. Aparte, se toma muestra de agua, en recipiente estéril, y de incrustaciones.

Parte de la muestra de agua se usa para el análisis químico, del que nos interesan los componentes mayoritarios: Na⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺, Cl⁻, CO₃⁼, HCO₃⁻, SO₄⁼. El resto se utilizará para los análisis microbiológicos de laboratorio.

Las incrustaciones se envían al Departamento de Cristalografía y Mineralogía de la Universidad Complutense para identificar su

mineralogía. Mediante el programa informático WATEQF y los diagramas Eh/pH de *Pourbaix* se estima la estabilidad de las incrustaciones, en función de las características químicas del agua y de la mineralogía encontrada.

En cuanto al contenido microbiológico, se determina mediante análisis convencionales de laboratorio y mediante el método colorimétrico B.A.R.T., con la finalidad de verificar la fiabilidad de este último, dado que no se había utilizado con anterioridad en España.

Una vez obtenidos todos los datos analíticos, se procede al tratamiento estadístico. Lo que pretendemos establecer es si la mayor o menor presencia de alguno de los tipos microbianos en distintas captaciones se correlaciona con algún parámetro químico del agua, hidrogeológico del acuífero o técnico de la captación. Aparte de esto, se hace una comparación entre los resultados microbiológicos de laboratorio y los obtenidos mediante el método B.A.R.T.

Los resultados pretendemos que nos den una idea de los cuidados que necesita cada captación por sus particulares características o, por el contrario, si el fenómeno de bioincrustación es universal y no depende de parámetros específicos.

2. PÉRDIDAS DE PRODUCTIVIDAD EN LOS POZOS

2. PÉRDIDAS DE PRODUCTIVIDAD EN LOS POZOS

2.1. GENERALIDADES: PARÁMETROS Y MINERALOGÍAS

Según *Driscoll (1986)*, hay una serie de parámetros que convendría comprobar más o menos periódicamente a lo largo de la vida de un pozo, que nos indicarán la eficiencia del mismo. Estos parámetros son:

1. El nivel estático del pozo.
2. Caudal obtenido tras un período fijo de bombeo.
3. Nivel, tras un período fijo de bombeo.
4. Caudal específico, tras un período fijo de bombeo.
5. Contenido de arena en el agua, tras un período fijo de bombeo.
6. Profundidad total del pozo.
7. Eficiencia del pozo.
8. Caudal normal de bombeo y número de horas de bombeo por día.
9. Tendencia general en los niveles de pozos adyacentes.
10. Disminución de la producción del pozo por bombeo de pozos próximos.

Un cambio significativo de alguno de los siete primeros parámetros indicaría una alteración del pozo o de la bomba.

Cuando la alteración se refiere al pozo, propiamente dicho, son cinco las causas generales que lo han podido provocar:

1. Incrustación, química o biológica, de la rejilla, reduciéndose la superficie abierta de ésta.
2. Obturación de la rejilla, por partículas finas.
3. Bombeo de arena, generalmente debido a deficiencias en la construcción del pozo, aunque también puede ocurrir por

fenómenos de **corrosión/incrustación** en pozos que han funcionado perfectamente.

4. Colapso estructural del pozo. Suele ser consecuencia del debilitamiento del entubado, debido a aguas excesivamente ácidas, agravándose el problema si , a esto, se le suma la corrosión.
5. Por último, defectos de la propia bomba, pueden afectar a la productividad del pozo.

De estas cinco causas de pérdida de productividad, nosotros nos centraremos en la primera y, dentro de esta, le prestaremos especial importancia a la incrustación de origen biológico, pues es lo que corresponde a los objetivos del presente trabajo.

Las incrustaciones de origen biológico pueden ser muy diversas, como, por ejemplo, sulfuros, sulfatos, carbonatos, etc. En estos casos son necesarias aguas muy particulares, ricas en azufre o carbonatos, condiciones anaerobias, pH bajo (facilita la fijación de SO_4^- por bacterias como *Thiobacillus*), etc. Debido a esto, cuando se hace un pozo en un acuífero con estas características, ya se tiene en cuenta la posibilidad de que se produzcan incrustaciones y se hacen registros periódicos de los parámetros que apuntábamos al principio (*Sastre et al., 1981; Driscoll, 1986*).

Cuando las incrustaciones son de Fe y/o Mn, puede ser más problemático puesto que, en general, las bacterias que producen estas incrustaciones requieren aguas "normales", es decir, que todos los parámetros entran dentro de los límites legales de potabilidad a nivel global, no requiriendo, además, ningún quimismo específico (*Smith, 1987*).

Por último, las mineralogías más frecuentes en este tipo de incrustaciones son (*Driscoll, 1986*):

- HEMATITES..... Fe_2O_3
- LIMONITA..... $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n \text{H}_2\text{O}$
- GOETHITA..... $\text{FeO}(\text{OH})$
- MAGNETITA Fe_3O_4
- SIDERITA FeCO_3
- PIRITA..... FeS_2

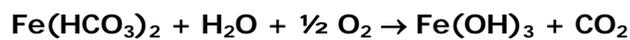
A continuación haremos un repaso general a las causas que originan las incrustaciones para, después, centrarnos en las puramente biológicas.

2.2. CAUSAS DE LAS INCRUSTACIONES

2.2.1. Causas químicas

En las aguas subterráneas podemos encontrar iones de Fe y Mn procedentes de la propia formación acuífera y en equilibrio químico con ésta. Cuando este equilibrio se altera, se puede producir la precipitación de alguno de ellos, por transformación a formas insolubles. Esta pérdida de equilibrio puede darse por alteración del pH o por el propio funcionamiento del pozo.

A. Por variaciones en el pH: para valores de pH de 7 ó mayores y condiciones aerobias, se produce la **autooxidación** del hierro, pasándose de formas solubles a insolubles, como, por ejemplo:



El $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ es soluble, mientras que el $\text{Fe}(\text{OH})_3$ sólo es soluble a **pH < 2,2**.

En cuanto al Mn, su **autooxidación** se produce a **pH > 9**, únicamente (*Cullimore y McCann, 1977*).

B. Por el funcionamiento del pozo: los cambios de presión inducidos por el bombeo pueden provocar la alteración del equilibrio químico del agua subterránea, dando como resultado la precipitación de hidróxidos insolubles de Fe y Mn. Estos hidróxidos tienen la consistencia de un gel y pueden llegar a ocupar volúmenes relativamente grandes.

El efecto de la disminución de presión se manifiesta de la siguiente manera:



El hidróxido de Fe^{2+} formado tiene una solubilidad menor de 20 mg/L. Si a esto le añadimos la entrada de oxígeno por aireación durante el bombeo, se produce una precipitación adicional:



La solubilidad del hidróxido de Fe^{3+} es menor de 0,01 mg/L.

De la misma manera, el manganeso soluble se puede insolubilizar:



En el "cono de descenso" de un pozo, en un acuífero libre, la entrada de aire en el vacío generado, oxida el hierro del agua adherida a los granos de arena. Si se bombea de manera intermitente, se puede formar una película de Fe^{+++} , que reduzca los poros en esta zona de la formación. El resultado es la reducción de la capacidad de almacenamiento de la formación en las proximidades del pozo (*Driscoll, 1986*).

2.2.2. Efecto electroquímico de corrosión/incrustación

La corrosión de metales activos, como el hierro o el acero, en medio acuoso, se debe a un proceso electroquímico originado por la presencia de áreas anódicas y catódicas en la superficie del metal (figura 2.1). Estas células electroquímicas tienen múltiples orígenes: diferencias de tensión (por cortes u otras alteraciones del metal), depósitos, inclusiones en el metal, uniones de diferentes metales, etc. (Clarke, 1980).

El flujo electrónico de ánodo a cátodo da lugar a la fijación de H^+ en este último y la corrosión del ánodo por solubilización del hierro. Estos iones de hierro forman óxidos e hidróxidos que precipitan, dando lugar a la formación de "tubérculos" (figuras 2.2 y 2.3) en el propio ánodo (Custodio, 1968; Matía, 1981; Clarke, 1980). Cuando estos tubérculos se forman en la rejilla, provocan la obstrucción de los poros, disminuyendo la superficie filtrante.

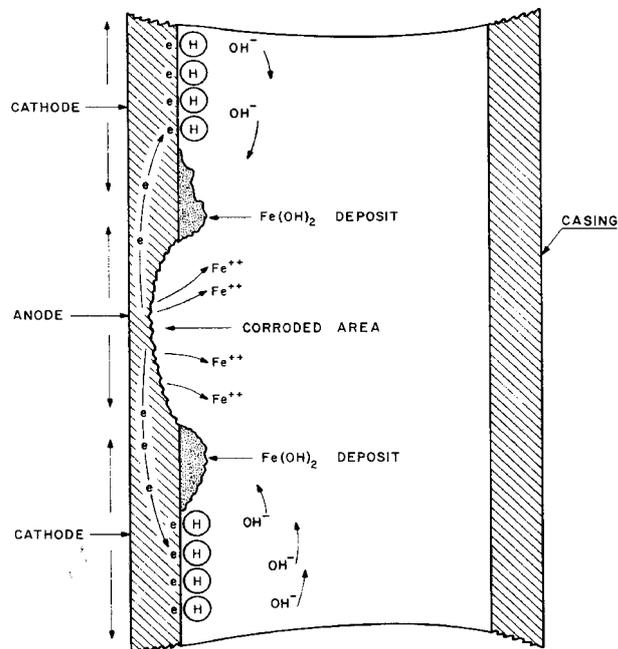


Fig. 2.1.- Proceso de la corrosión electroquímica (Clarke, 1980)

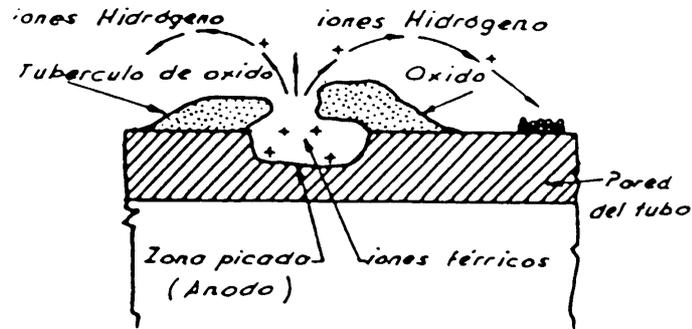


Fig. 2.2.- Depósitos de hidróxido férrico en zonas anódicas (Custodio, 1968)

Este proceso es un proceso natural y, por tanto, podríamos haberlo incluido en el apartado anterior (2.2.1-"Causas químicas"), de no ser por que una de las causas que favorecen la formación de estas pilas electrolíticas es, precisamente, la microflora del pozo, siendo ésta una de las causas más frecuentes (figura 2.4).

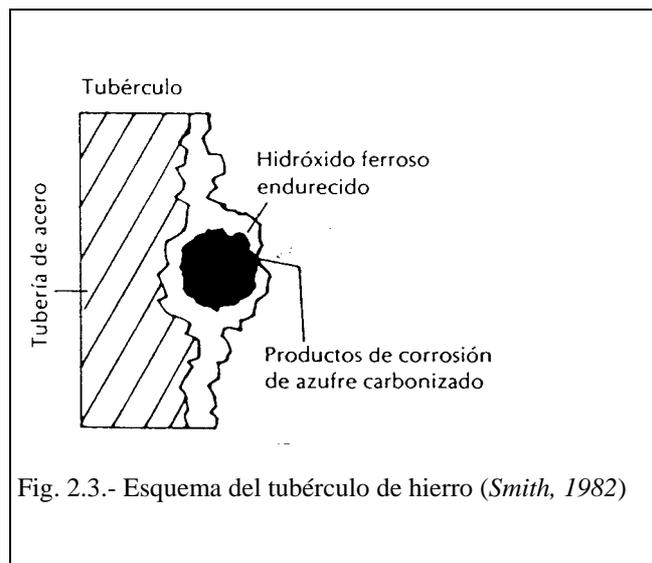


Fig. 2.3.- Esquema del tubérculo de hierro (Smith, 1982)

En condiciones normales, la película de H^+ que se forma en el cátodo es suficiente para frenar el proceso, por creación de un potencial de oposición (fenómeno conocido como "**polarización**").

Los microorganismos producen la despolarización de dos maneras (*Chantereau, 1985*):

1. En el ánodo: las Ferrobacterias obtienen la energía por la oxidación del hierro, provocando el aumento acelerado de los tubérculos y acelerando, por tanto, la corrosión anódica.

2. En el cátodo: las *bacterias* Sulfatorreductoras movilizan el H^+ , provocando, igualmente, la despolarización:



Como consecuencia de esta reacción se produce la **corrosión** por dos motivos. Por un lado, el sulfuro origina **H_2S** que tiene efecto corrosivo por sí y, por otro, se puede formar el correspondiente **sulfuro metálico** utilizando el propio hierro del entubado.

Algunas Sulfatorreductoras, además, poseen una *hidrogenasa*, que es un enzima clave para la utilización del **H_2** en el metabolismo quimiolitotrofo, potenciando, de esta manera, por sustracción del hidrógeno a la despolarización del cátodo.

A este efecto podemos añadirle la formación de "nidos bacterianos" (*Matía, 1981*) o "celdas de concentración", como causa de formación de pilas electrolíticas. Las bacterias aerobias, al consumir oxígeno para su metabolismo, pueden llegar a generar zonas ligeramente reductoras que harían las veces de cátodo.

Según lo visto, la **corrosión/incrustación** por efecto electrolítico puede tener su origen tanto en causas físico-químicas, como en causas biológicas, lo que justifica, por sí mismo, el estudio y cuantificación de la microflora asociada a los pozos de agua subterránea, sea del tipo que sea.

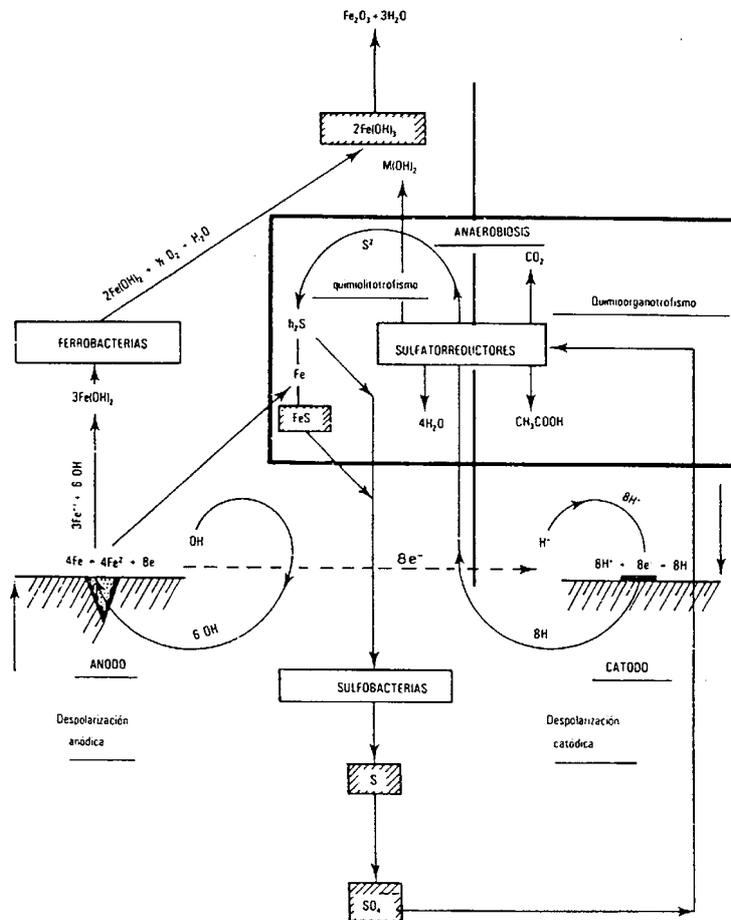


Fig. 2.4.- Ciclo de la corrosión biológica (Chantereau, 1985)

2.2.3. Causas biológicas

En este apartado comentaremos las generalidades sobre la deposición biológica del Fe/Mn, ya que los mecanismos y microorganismos implicados los desarrollaremos en el apartado siguiente (2.3.-"Fijación biológica del Fe y Mn").

Algunos microorganismos (los que hemos denominado como Ferrobacterias) son capaces de depositar óxidos e hidróxidos de Fe y/o Mn debido a su propia actividad biológica. De este modo, su sola presencia, representa un peligro serio de obstrucción de las rejillas de los pozos.

Como características generales, comunes a todos estos microorganismos, están el ser **aerobios, oligotróficos** e, incluso, alguno de ellos puede ser **autótrofo**, como el género *Gallionella* (Ghiorse, 1984).

La deposición de los óxidos metálicos se realiza en combinación con exopolímeros, como **polisacáridos ácidos, proteínas o complejos lípido-polisacárido-proteína**. Las estructuras formadas por estos depósitos son, a su vez, muy variadas, como **tallos, vainas, filamentos, incrustaciones de la pared celular, concreciones extracelulares, etc.**

En cuanto a los requerimientos de estos microorganismos, como ya se ha dicho, son tales, que no necesitan aguas de características especiales, ni en cuanto a su composición química, ni en lo referente a presencia de contaminantes u otras. Estos requerimientos los resumimos a continuación de manera globalizada (Cullimore y McCann, 1977; Ghiorse, 1984):

. **Hierro:** en ningún caso necesitan aguas especialmente ricas en hierro. Son suficientes cantidades del orden de 0,02 mg/L para el género *Clonothrix* y de 1,6 a 12 mg/L para los géneros *Leptothrix* y *Gallionella*. Con sólo estas cantidades son capaces de depositar

volúmenes de hierro de hasta 500:1 con respecto al volumen celular.

. **Manganeso:** ocurre algo parecido a lo que ocurre con el hierro, es decir, no necesitan aguas excesivamente ricas en manganeso para depositar cantidades considerables de éste. Aguas con contenidos de 0,05 a 0,15 mg/L de Mn son suficientes para depositar óxidos.

. **pH:** con respecto al pH, también se mueven en rangos que podemos considerar como "normales". En general oscilan en rangos comprendidos entre 5,4 y 7,2, excepto el caso particular de *Thiobacillus ferrooxidans*, que requiere aguas ácidas (pH de 1,3 a 4,5).

. **Oxígeno:** todas las Ferrobacterias son **microaerófilas**. Cantidades inferiores a 5 mg/L de O₂ son suficientes para realizar el metabolismo.

. **Carbono:** el género *Gallionella* es **autótrofo**, por lo que utiliza el CO₂ como fuente de carbono. El resto son **oligotróficas**, pudiendo, en algunos casos, comportarse como **quimioautótrofas facultativas** (*Crenothrix*, *Clonothrix*, *Thiobacillus*). Las fuentes de carbono más frecuentes, suelen ser **citratos, azúcares, alcoholes, etc.**

En la tabla 2.1 resumimos estos requerimientos, particularizados a los grupos más importantes de Ferrobacterias.

TABLA 2.1.- REQUERIMIENTOS DE LAS FERROBACTERIAS MÁS FRECUENTES.

¡Error! Marcador no definido. Género	Metabolismo	Necesidad nutricional	Depósitos Fe	pH
<i>Gallionella</i>	Q.A. / μ .Aer.	Oligotrófica	Tallos	6,5
<i>Leptothrix/ Sphaerotilus</i>	Q.O. / μ .Aer.	Azúcar, alcohol	Vainas, filamentos	6,5-7,5
<i>Toxothrix</i>	Q.O. / μ .Aer.	Oligotrófica	Incrustaciones P.C.	5,1-7,7
<i>Crenothrix/ Clonothrix</i>	Q.A.* / Q.O. / μ .Aer	Oligotrófica	Vainas	6,8
<i>Thiobacillus</i>	Q.A.* / Q.O. / μ .Aer	S ⁼ , Fe ⁺⁺	Concreciones extracels.	1,3-4,5

. Q.A. - Quimioautótrofo

. μ .Aer. - Microaerófilo

. Q.A.* - Quimioautótrofo facultativo.

. P.C. - Pared celular

. Q.O. - Quimioorganótrofo

A continuación cabría discutir sobre el origen de las Ferrobacterias en los pozos. Se barajan varias posibilidades (*Driscoll, 1986*):

- Que lleguen a través del acuífero
- Introducidas con el entubado
- Introducidas por la bomba
- Introducidas por la maquinaria de perforación
- Que estén presentes en los lodos de perforación

Aunque, en principio, se pensaba que la primera posibilidad es la menos probable, hoy en día no está tan claro (*Cullimore, 1996*). Como norma, se aconseja que todos los útiles que se van a introducir en el pozo sean clorados para evitar, en la medida de lo posible, la introducción accidental de estos microorganismos (*Cullimore y McCann, 1977*).

Por último y a modo de introducción del siguiente apartado (2.3.- "Fijación biológica del Fe y Mn..."), resumiremos los mecanismos fundamentales de fijación de hierro y manganeso por parte de los microorganismos (*Ghiorse, 1984*):

1. Mecanismos enzimáticos: la oxidación del hierro se hace por vía enzimática (controlado genéticamente por la célula). Este mecanismo es especialmente importante en las bacterias autótrofas (como el género *Gallionella*), ya que utilizan la oxidación del hierro como fuente de energía para la formación de carbono orgánico (glucosa, por el ciclo de *Calvin*).

2. Mecanismos no enzimáticos: se produce la precipitación del hierro como consecuencia de la actividad biológica de los microorganismos, pero como efecto secundario, no por necesidades metabólicas.

3. Precipitación pasiva: es un proceso muy raro, pero que se da en algunos casos, como los géneros *Pseudomonas*, *Klebsiella* y otros, en los que se produce una adsorción pasiva de hierro coloidal en la **pared celular**.

2.3. FIJACIÓN BIOLÓGICA DEL Fe Y Mn. PRINCIPALES MICROORGANISMOS IMPLICADOS

2.3.1. Fijación enzimática. Microorganismos

Cuando nos referimos a la fijación enzimática del Fe y Mn nos estamos refiriendo a aquellos microorganismos que necesitan la oxidación de dichos elementos para el correcto funcionamiento de su metabolismo.

La oxidación del Fe y/o Mn aporta electrones que pasarán directamente a las cadenas transportadoras de la célula. Estas cadenas

transportadoras pueden recorrerse en el sentido de la oxidación de sustratos orgánicos para la obtención de energía (ruta metabólica conocida como **cadena respiratoria o fosforilación oxidativa** - figuras 2.5 y 2.6), siempre en forma de **A.T.P. (adenosín tri-fosfato)**; o bien en el sentido de crear un coenzima reductor (**NADH₂-Dinucleótido de Adenina y Nicotinamida reducido**) que posibilite la fijación autótrofa del CO₂ (**bacterias quimioautótrofas**), para sintetizar compuestos orgánicos (**hidratos de carbono**, fundamentalmente). Cuando el metabolismo es del tipo quimiolitotrofo en presencia de sustratos ferrosos, la cadena transportadora de electrones difiere con respecto al caso más general representado en la figura 2.6. Este será el caso más general en las captaciones de agua subterránea (figura 2.7). Un tercer mecanismo enzimático de fijación de Fe y Mn se realiza, por algunas bacterias, para reducir la toxicidad del **peróxido de hidrógeno (H₂O₂)**.

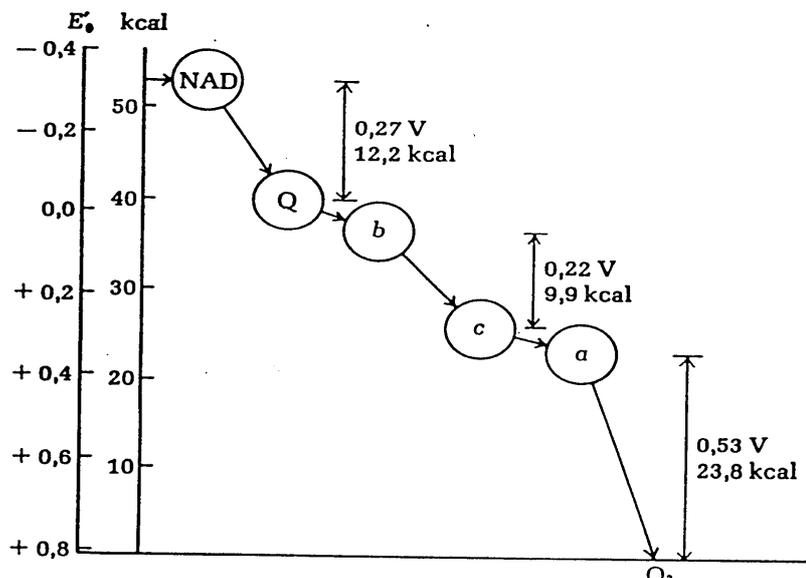
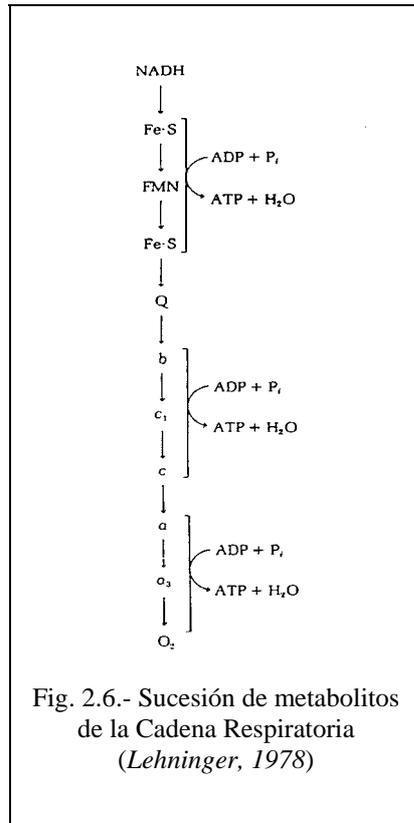


Fig. 2.5.- Balance de la Cadena Respiratoria (Lehninger, 1978)

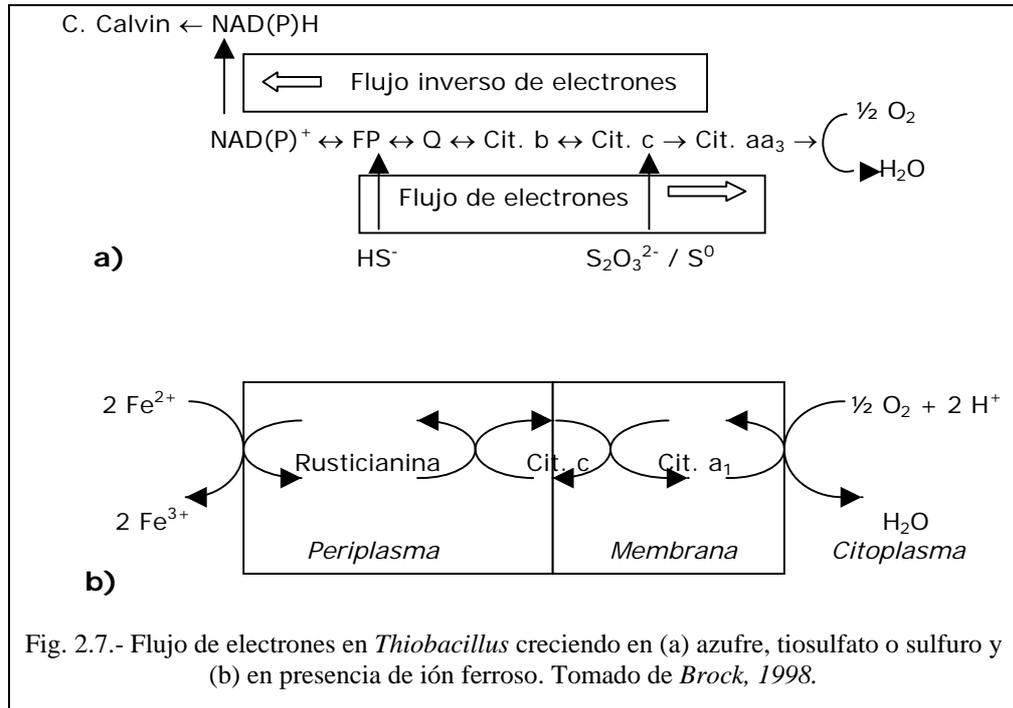


energético de la oxidación del hierro que de la del manganeso (Brock, 1998).

El resultado de esta actividad es la formación de "nódulos de manganeso" (MnO_2) y "depósitos de hierro" (Fe^{+++}).

A. Cadena respiratoria: la relación entre la **cadena respiratoria** y la oxidación del Fe y Mn se ha puesto de manifiesto al observar que la actividad oxidativa del Fe y Mn en algunos microorganismos es sensible a los inhibidores de la respiración (Ghiorse, 1984). Por tanto ha de haber algún acoplamiento entre la formación de **ATP** y la oxidación aerobia del Fe y Mn.

Esta relación se ha encontrado a nivel de **flavoproteína** de la cadena respiratoria (ver figura 2.8) con la oxidación del manganeso, concretamente. Con respecto al hierro, esta relación parece ser que está a nivel de **citocromos**, debido al menor balance



Los microorganismos implicados en este proceso son, principalmente, bacterias del grupo *Leptothrix/Sphaerotilus*, aunque es extensible al resto de las Ferrobacterias: *Gallionella*, *Crenothrix*, *Clonothrix*, etc., dado que se trata de un proceso respiratorio y, por tanto, se puede dar tanto en autótrofos como en heterótrofos (Brock, 1998; Ghiorse, 1984; Haeckel, 1987).

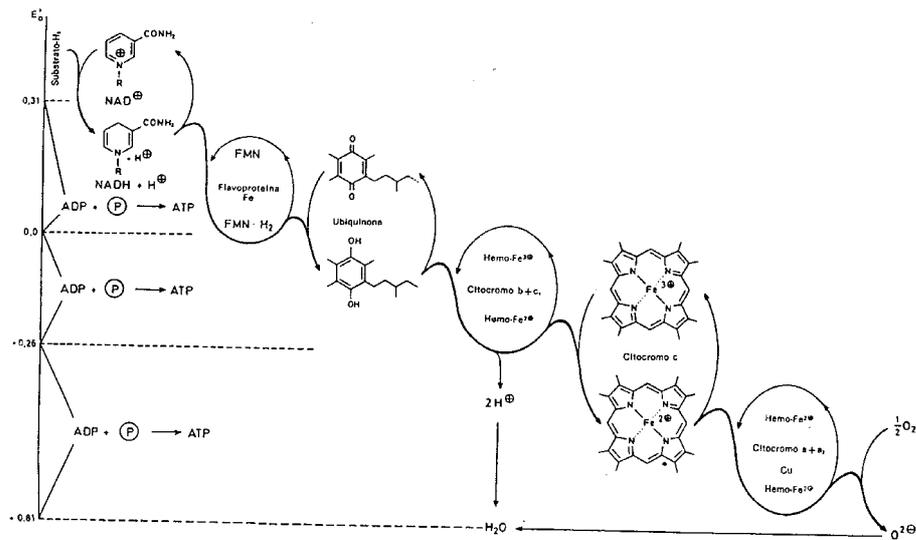


Fig. 2.8.- Esquema general de la Cadena Transportadora de Electrones (Karlson, 1973)

B. Quimioautotrofia: la **quimioautotrofia** es un proceso metabólico exclusivo de algunas bacterias, entre las que se incluyen algunos tipos de Ferrobacterias. El proceso es equivalente a la **fotosíntesis**, solo que el efecto de la luz es reemplazado por la oxidación de diferentes iones naturales ($S^=$, $SO_3^=$, Fe^{++} , Mn^{++} , etc.).

En la **fotosíntesis**, el fotón de luz, por medio de la **clorofila**, inicia un transporte de electrones, que da como resultado la producción de energía (**ATP**) y la formación de un coenzima reductor (**NADPH₂**) durante la **fase lumínica**, para ser utilizados en la fijación del CO_2 y formación de hidratos de carbono, durante la **fase oscura o Ciclo de Calvin** (figura 2.9). En la **quimiosíntesis**, los electrones provienen directamente de la oxidación de sustratos inorgánicos.

Hay una diferencia fundamental entre fotosíntesis y quimiosíntesis, y es que la oxidación del hierro produce,

relativamente, poca cantidad de energía (unas 40 Kcal -*Brock, 1998*), por lo que es muy difícil la producción de **ATP**.

El proceso ocurre de la siguiente manera: los electrones son tomados por los **citocromos** de la **cadena respiratoria** (ver punto A.- "Cadena Respiratoria" de este mismo apartado) y se transportan en sentido inverso, con lo que hay algo de gasto de **ATP**. A este proceso se le conoce como "**transporte inverso de electrones**" (figura 2.7). Al final del transporte, lo que se obtiene es **NADH₂** (no **NADPH₂**, como en la fotosíntesis), que actuará como coenzima reductor para la fijación del CO₂ (*Brock, 1998*).

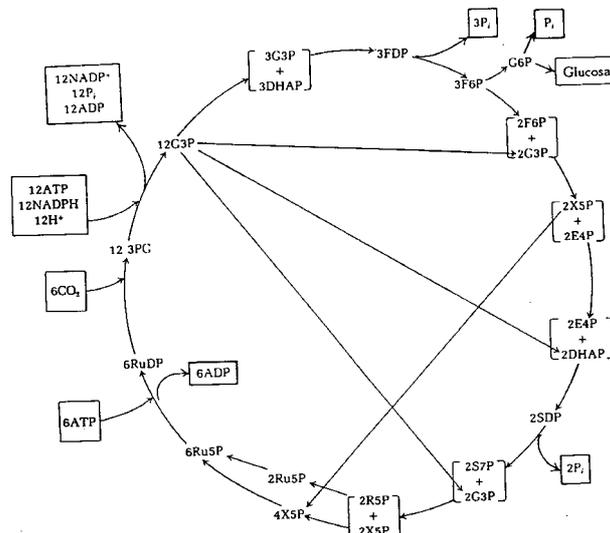
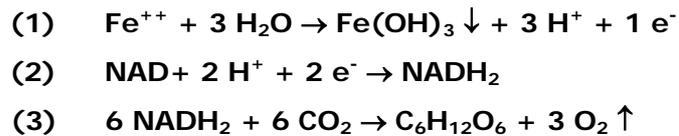


Fig. 2.9.- Esquema del Ciclo de Calvin (*Lehninger, 1978*)

Aunque hay gasto de **ATP**, en general, compensa este tipo de metabolismo por la falta de competencia, especialmente notoria en suelos y aguas subterráneas, donde no pueden crecer fotosintéticos.

Una vez obtenido el **NADH₂**, el metabolismo autótrofo es igual que en la fotosíntesis, es decir, la fijación del CO₂ para sintetizar hidratos de carbono se hace a través del **Ciclo de Calvin**.

El proceso se puede resumir de la siguiente manera:



(1). Oxidación del hierro, con formación de hidróxido de Fe³⁺, que precipita.

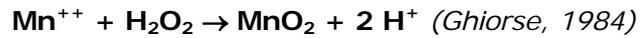
(2). Utilización de los productos de (1) para la formación de NADH₂.

(3). Fijación del CO₂, mediante el **Ciclo de Calvin**, para formar **glucosa**.

En cuanto a los microorganismos que realizan este tipo de metabolismo, se encuentran, exclusivamente, los **quimioautótrofos**, ya sean estrictos, como el género *Gallionella* (aunque hay algunos autores, como Cullimore -Cullimore y McCann, 1977- que ponen en duda su quimioautotrofia estricta) o facultativos, como los géneros *Crenothrix* y *Thiobacillus*.

Tanto *Gallionella* como *Crenothrix* realizan su metabolismo autótrofo por oxidación del hierro exclusivamente. *Thiobacillus* puede, además, oxidar S⁼, S⁰, S₂O₃⁼ (Kelly y Harrison, 1986; Balows et al., 1991).

C. Reducción de la toxicidad del H₂O₂: durante el crecimiento aerobio de los microorganismos se pueden producir pequeñas cantidades de H₂O₂. Un sistema enzimático puede catalizar su "destrucción química" mediante la reacción:



Este proceso se realiza en condiciones oligotróficas y microaerófilas, por organismos como *Leptothrix*.

2.3.2. Fijación no enzimática. Microorganismos implicados

Como fijación no enzimática nos referimos a una serie de procesos biológicos, realizados por algunas bacterias, que dan como resultado alteraciones en el medio que favorecen la precipitación química del hierro y manganeso (en este caso es hierro lo que precipita, principalmente).

Aquí nos encontramos con que la oxidación del hierro y manganeso no está implicada directamente en el metabolismo celular, por lo que no hay sistemas enzimáticos que catalicen dicha oxidación, sino que es una consecuencia, casual, del metabolismo.

En realidad se trata de una precipitación química de hierro y/o manganeso, más que biológica; lo que ocurre es que de no haber microorganismos en el pozo en cuestión, no se produciría el "cambio ambiental" que conlleva a dicha oxidación. Es obvio, pues, que deben incluirse en la causas de origen biológico.

Son tres los procesos de fijación no enzimática de hierro y manganeso (*Driscoll, 1986*):

1. Aumento del pH: la actividad biológica, cuando el número de células es muy grande, puede dar como resultado un aumento en el pH de las aguas.

Como se vio en el apartado 2.2.1.-"Causas químicas", cuando se alcanzan valores de pH superiores a 7 (7,5 según *Cullimore y McCann, 1977*), siempre que haya un mínimo de oxígeno (condiciones microaerófilas), se produce la autooxidación del hierro. Para el manganeso esto ocurre a $\text{pH} > 9$, por lo que es más normal la precipitación de hierro que de manganeso, por esta causa.

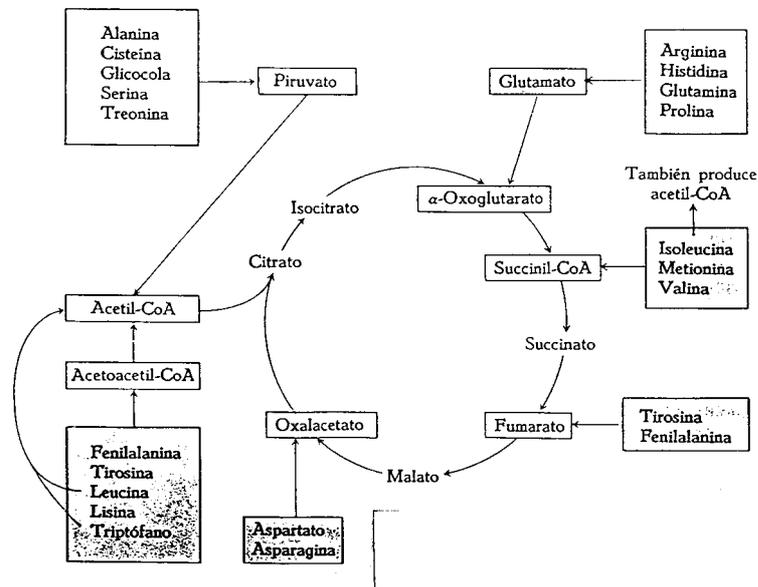


Fig. 2.10.- Entrada de los distintos aminoácidos en el Ciclo de *Krebs* para su degradación (*Lehninger, 1978*)

El pH puede aumentar por tres causas biológicas:

- a) **Metabolismo de las proteínas:** los **aminoácidos**, unidades estructurales de las proteínas, se degradan, en el interior de las células, como cualquier otra molécula (figura 2.10), dando

como resultado una serie de **metabolitos intermediarios** que, a través del **ciclo de Krebs** (o ciclo de los ácidos tricarboxílicos), dará lugar a la formación de **ATP** (energía celular), a excepción del **grupo amino** (NH_2^-) que es convertido en NH_3 y se utiliza como fuente de nitrógeno; el exceso de amoníaco se excreta al medio, lo que da como resultado el aumento del pH.

b) Consumo de sales orgánicas: los organismos **heterótrofos** necesitan como fuente de carbono sustancias orgánicas, que pueden ser consumidas en forma de alcoholes, azúcares o sales orgánicas. En este último caso, la retirada de estas sales del medio (citrato, acetato, lactato...) es lo que hace aumentar el pH, por retirada de los ácidos correspondientes (cítrico, acético, láctico...).

c) Asimilación de CO_2 : como ya se dijo en el apartado anterior, los organismos autótrofos utilizan como fuente de carbono el CO_2 , para la síntesis de materia orgánica, reacción que podemos resumir de la siguiente manera:



Si tenemos en cuenta que el CO_2 se encuentra en equilibrio, en un sistema acuoso, de acuerdo con la reacción :



la sustracción de CO_2 , por parte de los seres vivos, desplazará esta reacción a la izquierda, aumentando el pH, que, de esta manera, puede entrar en los rangos de **autooxidación del hierro**.

2. Aumento del Eh: el Eh puede aumentar, también, como consecuencia de la actividad biológica. Si tenemos en cuenta que el

Eh mide el **potencial rédox**, el aumento de éste llevará implícito un aumento de la capacidad oxidativa del medio, favoreciendo, por tanto el paso de Fe^{++} a Fe^{+++} .

El aumento del Eh provocado por los microorganismos es consecuencia del metabolismo **quimioautótrofo** (ver apartado 2.3.1.-"Fijación enzimática").

3. Formación de quelatos: los **quelatos** son complejos órgano-metálicos que se forman, de manera natural, en los suelos, por combinación de la materia orgánica aportada por los seres vivos con los cationes metálicos presentes en el suelo (proceso conocido como **queluviación** -*Duchaufour, 1987*).

En los pozos de agua subterránea también se pueden formar estos quelatos por desligamiento del hierro con oxalato, citrato, ácidos húmicos o taninos, procedentes de los microorganismos.

2.3.3. Precipitación pasiva. Microorganismos implicados

Hay una tercera forma de precipitar hierro, por parte de los microorganismos, de manera no enzimática. Se trata de la **precipitación pasiva**, que no, por ser un proceso raro y poco frecuente, habrá que pasar de largo.

Parece ser que hay algunos géneros de bacterias, como *Pseudomonas*, *Klebsiella* y otros, en los que tiene lugar una adsorción pasiva de hierro coloidal en la "Pared Celular" (*Haeckel, 1987*). De esta manera, organismos que, en principio, no se incluyen en el grupo de las Ferrobacterias, también pueden hacer que precipite el hierro, contribuyendo, así, al taponamiento de las rejillas de los pozos.

3. CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES DE LAS CAPTACIONES

3. CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES DE LAS CAPTACIONES

3.1. EL MEDIO AMBIENTE DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Las condiciones físico-químicas en los acuíferos cambian con respecto a las que predominan en los ambientes exógenos a medida que se alejan de la superficie, lo que da lugar a que las especies de microorganismos dominantes vayan siendo sustituidas paulatinamente por otras mejor adaptadas a las condiciones reinantes. A pesar de ello, en las zonas más próximas a la superficie, donde las condiciones no han variado sustancialmente (tabla 3.1), se pueden encontrar las mismas asociaciones biológicas que en el exterior.

TABLA 3.1.- CONDICIONES MÁS FRECUENTES EN AMBIENTE EXÓGENO

- Presión 1 Atm
- pH 6,5 a 8,5
- Temperatura 8 a 45 ° C
- Eh..... - 50 a + 150 mV
- Salinidad < 6% ClNa

Las características que hacen que con la profundidad se sobrepasen los límites de ciertas especies para ser sustituidas por otras son, básicamente, incrementos de temperatura, presión y concentración salina y descensos en la disponibilidad de oxígeno y Eh.

El gradiente geotérmico hace que entre los 1.000 y 2.000 metros, los organismos *mesófilos* sean sustituidos por los *termófilos*. La presión hidráulica bajo el nivel freático también ejerce influencia en la microflora, sobre todo si tenemos en cuenta que la presión favorece la salinidad. De este modo se pueden encontrar comunidades de

microorganismos en condiciones de alta temperatura y presión, a concentraciones salinas relativamente elevadas y con potenciales rédox extremadamente bajos (E_h . - 450 mV). Todo ello hace que se puedan diferenciar series estratificadas de microorganismos (figura 3.1) en función de su resistencia a las condiciones del subsuelo (Cullimore, 1992).

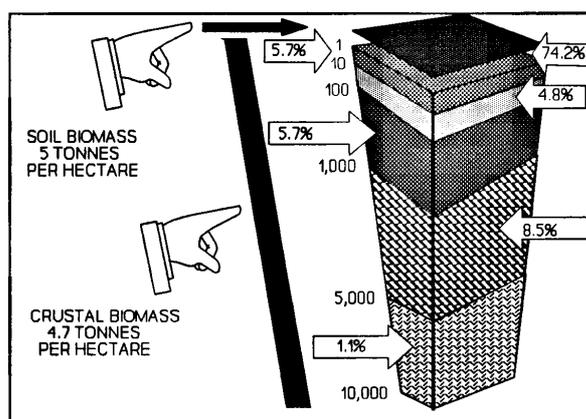


Fig. 3.1.- La biomasa microbiana se extiende por el interior de la corteza. Mientras que la biomasa del suelo se limita al *horizonte A*, se puede considerar una *biomasa cortical* presente hasta profundidades de 10.000 m (Cullimore, 1992)

Dadas las características del subsuelo, los microorganismos han desarrollado modos de vida no libre, de modo que se fijan entre los poros de las formaciones geológicas. Teniendo en cuenta que una bacteria media, en estado vegetativo, puede tener tamaños entre 0,5 y 5 μm , prácticamente cualquier formación puede alojar microorganismos. En condiciones de estrés o debido a cualquier tipo de anomalía ambiental muchas bacterias pueden disminuir su tamaño hasta situarse en 0,1 a 0,5 μm (*endosporas*), en este caso dejan de ser sésiles, pudiendo pasar a través de los poros invadiendo y colonizando nuevas formaciones rocosas. Estas colonizaciones se ven favorecidas por el propio flujo del agua subterránea, sobre todo teniendo en cuenta que siempre suele llevar sustancias disueltas (materia orgánica, nutrientes, oxígeno disuelto, etc.) o en suspensión que permiten el desarrollo de la

microbiota. La velocidad de desplazamiento de los microorganismos por el subsuelo dependerá, lógicamente, del flujo del agua subterránea. La importancia de estas comunidades se refleja en la figura 3.1 donde se muestra que la biomasa del subsuelo tiene cierta importancia comparada con la biomasa superficial (*Cullimore, 1992*).

Una vez visto cómo los microorganismos pueden desplazarse y colonizar diferentes formaciones geológicas convendría debatir acerca de su procedencia. Tradicionalmente se ha pensado que las aguas subterráneas eran, esencialmente, estériles, por lo que cualquier problema microbiológico en las aguas debería provenir de contaminación superficial durante los procesos de instalación de las captaciones. Si bien ésta es una vía de entrada de microorganismos, las condiciones creadas tras la construcción de un pozo hacen posible que la propia microflora del subsuelo sea atraída hacia él. Por un lado la difusión de oxígeno, procedente del exterior, y por otro el aporte de nutrientes, procedentes de la formación acuífera por el efecto de los bombeos, permiten soportar poblaciones microbianas muy superiores a las propias del subsuelo. Del mismo modo, si bien comentábamos anteriormente que el potencial rédox del subsuelo decrece notablemente con respecto a la superficie, la construcción y posterior bombeo en el pozo hacen que, en su entorno, el Eh adquiera valores más altos, situándose en márgenes oxidativos (entre -50 y +150 mV) donde la actividad de los microorganismos es máxima (*Cullimore, 1992*).

Así como los microorganismos pueden penetrar en el subsuelo, también pueden volver a la superficie por descarga del acuífero en ríos, lagos u océanos o por erosión. Esta evidencia ha llevado a T.O. Stevens (*Stevens, 1997*) a desarrollar un "ciclo de los microorganismos en el subsuelo" (figura 3.2) en el que se relacionan las vías de entrada de los microorganismos en el subsuelo con las de salida y los flujos de éstos a través de los medios porosos.

Frecuentemente se producen asociaciones de microorganismos que desarrollan estructuras de fijación al sustrato que pueden obstaculizar el paso del agua a través de los poros de la formación. Estas estructuras son los denominados **biofilms** (*biopelículas* en adelante), los cuales pueden actuar como catalizadores de procesos de corrosión (mediante la generación de H₂S y/o ácidos orgánicos) y de bioacumulación.

El desarrollo de estas *biopelículas*, que puede llegar a producir la obstrucción total de los poros, viene condicionado por el modo de vida de los microorganismos en el subsuelo. Si bien podemos encontrar algunos microorganismos libres, la mayoría están fijados tanto en las partículas estructurales del medio poroso como sobre las partículas que son arrastradas junto con el flujo subterráneo entre los poros. El modo de fijarse estos organismos al medio suele ser mediante la generación de **polímeros extracelulares**, los cuales conforman la mayor parte de la masa de la *biopelícula*.

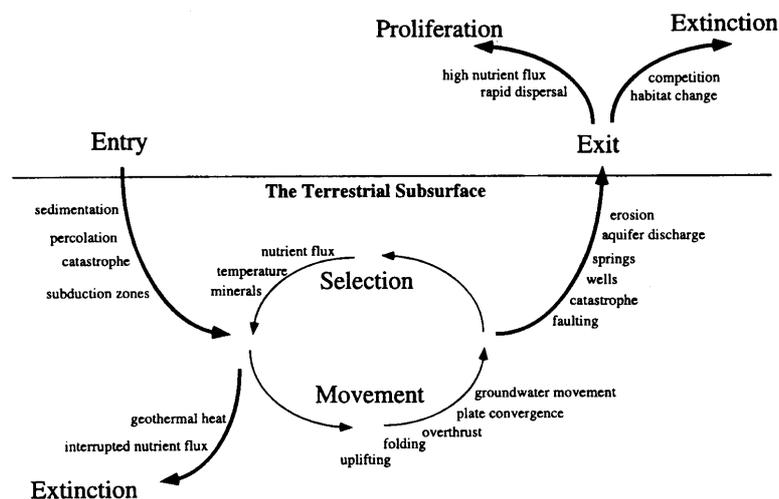


Fig. 3.2.- Los procesos geológicos e hidrogeológicos facilitan el transporte de microorganismos al subsuelo. Algunos regresan a los ambientes superficiales, mientras que la presión selecciona a aquellos que pueden sobrevivir en el subsuelo (Stevens, 1997)

Las alteraciones que la microflora puede generar en el funcionamiento de las captaciones (figura 3.3) las podemos resumir en las siguientes (Cullimore, 1992):

1. **Bioobstrucción:** acumulaciones de materia de origen biológico en las superficies del medio poroso, especialmente en la interfase oxidación-reducción. Según crecen estos acúmulos y se interconectan, la transmisividad del acuífero se reduce.
2. **Bioacumulación:** simultáneo con la bioobstrucción y difícil de separar. Son acumulaciones de iones metálicos que han pasado del estado soluble al insoluble, en forma de sales y complejos orgánicos.

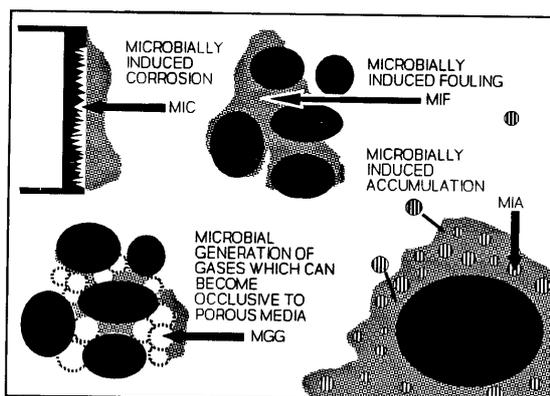


Fig. 3.3.- Formas características de afectación de los microorganismos a las estructuras introducidas en los acuíferos (Cullimore, 1992)

3. **Generación de gases:** con el desarrollo de la *biopelícula* se producen zonas anaerobias en las que hay generación de gases, como el dióxido de carbono, metano, hidrógeno y nitrógeno.

4. **Corrosión:** la generación de estratos anaerobios junto al desarrollo de la *biopelícula* potencia el riesgo de

corrosión debido al establecimiento de potenciales electrolíticos.

3.2. VARIACIONES DEL MEDIO FÍSICO. MICROHÁBITATS Y BIOZONAS CARACTERÍSTICAS

Tal vez sea el gradiente del potencial rédox el factor que más condicione la distribución de los microorganismos en los medios saturados. Este gradiente varía desde medios oxidantes hasta medios reductores, con la profundidad. Mientras que en los ambientes oxidantes se pueden encontrar diversos tipos de microorganismos, los ambientes reductores quedan restringidos a los microorganismos anaerobios, la mayoría de los cuales son bacterias (figura 3.4).

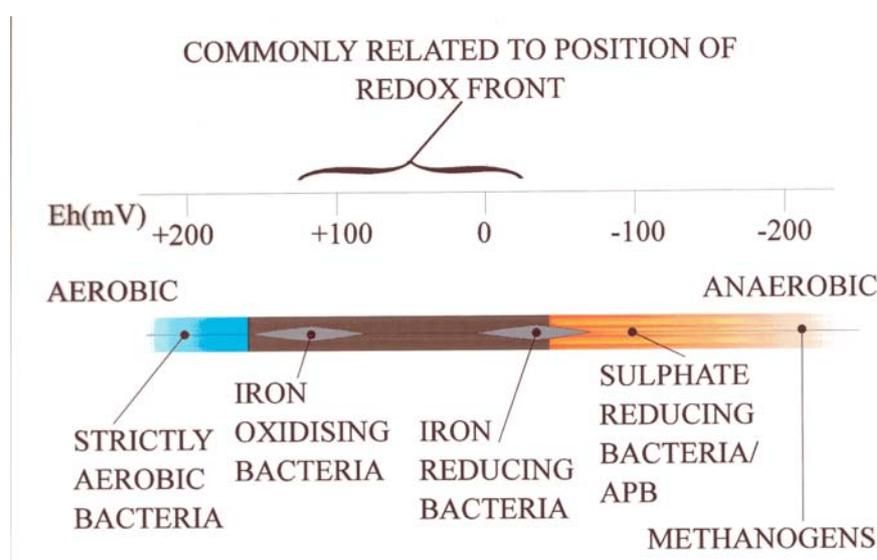


Fig. 3.4.- Distribución de los microorganismos generadores de *biopelícula* en función del potencial rédox (Cullimore, 1996)

En el límite entre los regímenes oxidante y reductor es donde más influencia puede tener la biomasa en las características químicas del agua. Por encima de este nivel, sobre todo en la *zona no saturada*,

las condiciones aerobias son adecuadas a la presencia e, incluso dominio, de los **hongos**. Por debajo, la actividad biológica se limita a las

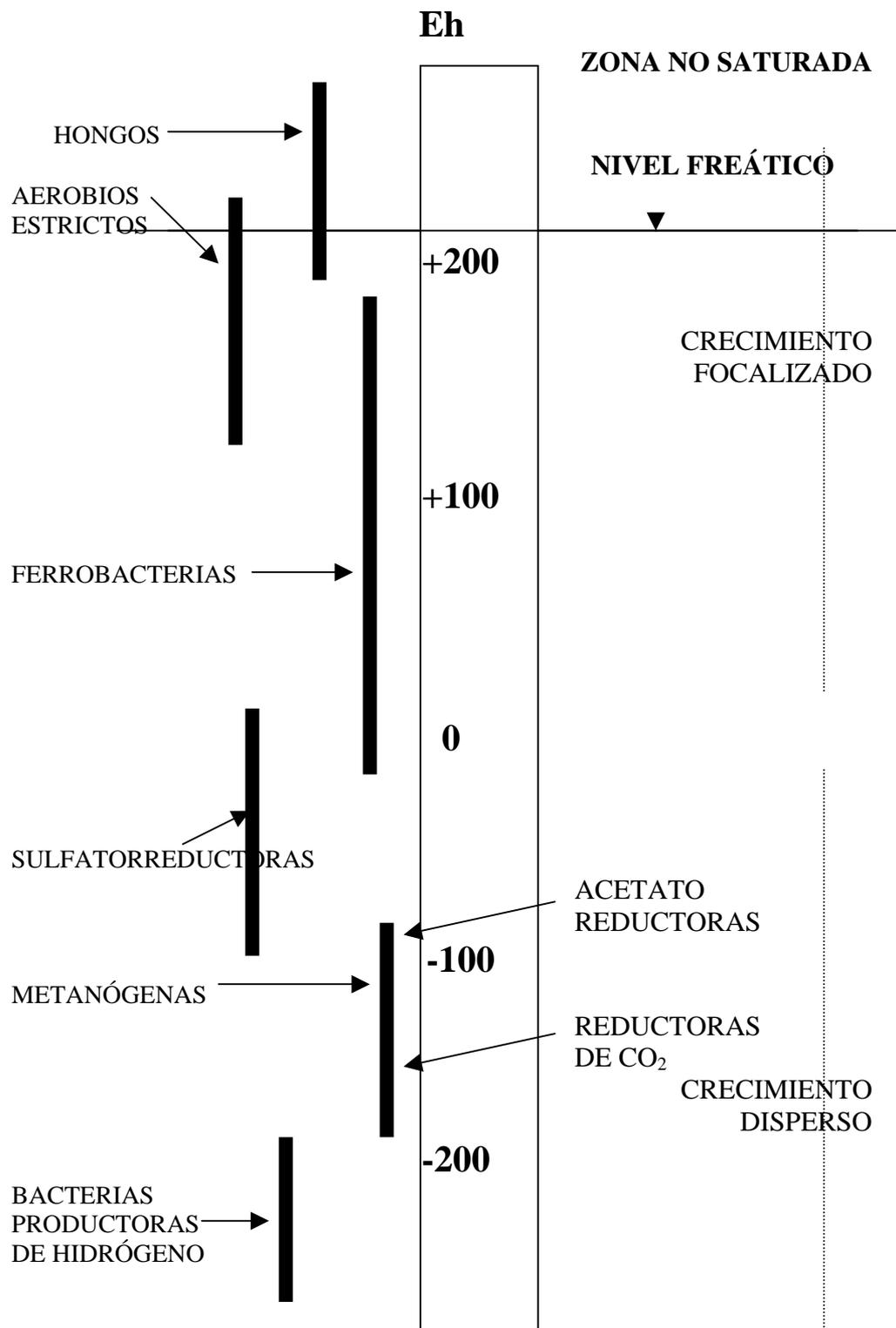


Fig. 3.5.- Zonas de crecimiento para diferentes actividades microbiológicas. (Cullimore, 1996).

propias de condiciones anaerobias. Es por tanto, en este nivel, donde mayor variedad de formas se pueden encontrar, dándose microorganismos **sésiles**, responsables de la formación de estructuras de fijación generadoras de *biopelículas*, **sésiles suspendidos** que se fijan a las partículas en suspensión o a otras células mediante polímeros extracelulares y **planctónicos** cuyas células se mueven libremente en suspensión entre los poros del acuífero (Cullimore, 1996).

Los microorganismos sésiles crecen manteniendo una posición fija en las superficies sólidas del medio, formando poblaciones mixtas que dan lugar a las *biopelículas* que obstaculizan el paso del agua. Estas asociaciones microbiológicas absorben los nutrientes y algunos cationes metálicos del agua para su utilización o bioacumulación respectivamente. De esta manera, el flujo del agua subterránea puede influir sobre el desarrollo de las *biopelículas* entre los poros del acuífero y la consecuente reducción del flujo hidráulico. En ocasiones, pueden llegar a desprenderse, liberando gran cantidad de los metales bioacumulados (Fe^{3+} y Mn^{4+} fundamentalmente) y alterando bruscamente la calidad del agua.

Los sésiles suspendidos tienen estructuras de fijación distintas a los anteriores. La mayoría de las veces se sirven de exoplímeros (*biocoloides*) que, además, pueden también contener cationes y nutrientes.

Las células planctónicas son las menos frecuentes en aguas subterráneas. Pueden incluir tanto células activas las cuales es este su medio habitual, como células de especies sésiles que, tras un desplazamiento más o menos largo, terminarán por instalarse en otras zonas del medio.

En general, la actividad microbiológica en las captaciones de aguas subterráneas es de naturaleza dispersa donde el medio es reductor, mientras que forman poblaciones más focalizadas en las zonas oxidantes (Cullimore, 1996).

Las biozonas características en el interior de las captaciones vienen condicionadas por el potencial redox fundamentalmente. De este modo se podría distinguir la siguiente sucesión de microorganismos (figura 3.5):

- **Hongos:** presentes e, incluso, dominantes, en la zona no saturada. A veces pueden llegar a situarse en el entorno del nivel freático, debido a los descensos producidos por los bombeos.
- **Aerobios estrictos:** dominan los primeros metros de las captaciones, en aquellas zonas donde la disponibilidad de oxígeno no es limitante.
- **Ferrobacterias:** son microorganismos que no aparecen en la zona no saturada del acuífero, aunque son aerobios o microaerófilos. Su hábitat está limitado a las zonas de $Eh > 0$.
- **Bacterias Sulfatorreductoras:** son anaerobias, por lo que su hábitat se restringe a ambientes casi anóxicos y con $Eh < 0$. Pueden coexistir con las Ferrobacterias en zonas donde se originan microhábitats anaerobios, como son los propios tubérculos generados por la *obstrucción y/o acumulación* (ver 3.1.) ya sea de origen biológico o no. En estos tubérculos, se pueden disponer las ferrobacterias en la periferia y las sulfatorreductoras en el núcleo (Chantereau, 1985).
- **Metanógenas:** limitadas a rangos de Eh entre -100 y -200. Poseen metabolismo reductor capaz de generar metano a

partir de la reducción de sustancias orgánicas (acetato) o inorgánicas (CO₂).

- **Bacterias productoras de Hidrógeno:** pueden llegar a actuar como auténticos *productores primarios*, dado su metabolismo *quimiolitotrofo*, en ambientes altamente reductores (Eh < -200). Estas condiciones no siempre se alcanzan en las captaciones convencionales por lo que no se les suele incluir dentro de los microorganismos característicos de las mismas. Sí se les ha asociado a formaciones profundas, como basaltos (Griebler, 1999).

3.3. CONDICIONES PARA LA FORMACIÓN DE *BIOPELÍCULAS*

3.3.1. Requerimientos mínimos

Las condiciones ambientales adecuadas para el desarrollo de microorganismos generadores de *biopelícula*, tal como se apuntó en el capítulo anterior, no requieren características especiales:

- **pH:** entre 7,4 y 8,6. Algunos acidófilos se pueden desarrollar a pH entre 1,5 y 2,0.

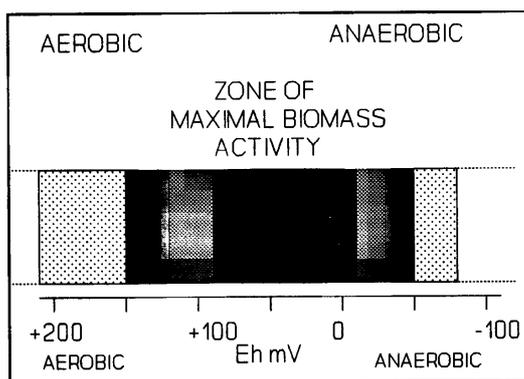


Fig. 3.6.- En aguas subterráneas, el crecimiento microbiano se produce en la interfase oxidación - reducción en valores de Eh entre +150 y -50 mV (Cullimore, 1992)

- **Eh:** generalmente en ambientes oxidantes para los aerobios y reductores para los anaerobios (figura 3.6).
- **Temperatura:** rangos reducidos de temperatura, entre 10°C y 40°C.
- **Factores químicos:**

con requerimientos nutricionales suficientes para asegurar las funciones biológicas (carbono, nitrógeno y fósforo) y contenidos de materia orgánica a partir de 0,1 mg/L (Smith, 1995). Debido a la diversidad de los distintos grupos, éste suele ser un factor selectivo en la formación de las diferentes comunidades. Además, algunas asociaciones son capaces de producir sustancias (antibióticos) que inhiben el crecimiento de otros microorganismos.

3.3.2. Microorganismos formadores de *biopelícula*

Son muchos los microorganismos capaces de generar obstrucciones en las rejillas de los pozos. Driscoll (Driscoll, 1986) enumera cerca de 30 géneros, clasificados en función del mecanismo por el que generan las *biopelículas* (ver capítulo 2.3.-"Fijación biológica...") y que resumimos en la tabla 3.2. De todos modos no son más de diez los responsables de la mayoría de los problemas de incrustación biológica en las captaciones de aguas subterráneas (Borch et al., 1993)

- ***Thiobacillus***: oxida Fe^{2+} a Fe^{3+} a pH entre 1,5 y 3. En pozos se le ha encontrado a valores de pH menos extremos (Carlson et al., 1980)
- ***Metallogenium***: oxidan Fe y Mn en rangos de pH entre 3,5 y 5. Frecuentemente asociado a *Thiobacillus* (Walsh y Mitchell, 1972).
- ***Gallionella***: de vida sésil, aunque tiene una fase móvil que le permite la migración. En valores de pH alrededor de 6. Oligotróficos y microaerófilos. Capaz de depositar grandes cantidades de hierro (Ghiorse, 1984).
- ***Leptothrix/Sphaerotillus***: bacterias filamentosas gram negativas. Muy comunes en los pozos y fácilmente

identificables al microscopio. Generan *biopelículas* relativamente delgadas (Ghiorse, 1984).

TABLA 3.2.- MICROORGANISMOS GENERADORES DE BIOOBSTRUCCIÓN

Mecanismos enzimáticos	Mecanismos no enzimáticos	Mediante precipitación pasiva
<i>Thiobacillus ferrooxidans</i>	gén. <i>Gallionella</i>	gén. <i>Metallogenium</i>
<i>Sulfolobus acidocaldarius</i>	gén. <i>Leptothrix</i>	gén. <i>Arthrobacter</i>
<i>Leptospirillum ferrooxidans</i>	<i>Sphaerotillus natans</i>	gén. <i>Oceanospirillum</i>
<i>Sulfobacillus thermosulfooxidans</i>	<i>Crenothrix polyspora</i>	gén. <i>Vibrio</i>
gén. <i>Gallionella</i>	<i>Clonothrix</i>	gén. <i>Klebsiella</i>
gén. <i>Leptothrix</i>	<i>Siderocapsaceae</i>	gén. <i>Pseudomonas</i>
<i>Sphaerotillus natans</i>	gén. <i>Pedomicrobium</i>	
<i>Crenothrix polyspora</i>	gén. <i>Naumanniella</i>	
gén. <i>Clonothrix</i>	gén. <i>Ochrobium</i>	
<i>Lieskeella bifida</i>	gén. <i>Siderococcus</i>	
<i>Siderocapsaceae</i>	gén. <i>Herpetosyphon</i>	
gén. <i>Pedomicrobium</i>	gén. <i>Seliberia</i>	
gén. <i>Hyphomicrobium</i>	gén. <i>Toxothrix</i>	
<i>Acholeplasma laidlawii</i>	gén. <i>Archangium</i>	
gén. <i>Desulfovibrio</i>	gén. <i>Pseudomonas</i>	
gén. <i>Desulfotomaculum</i>	gén. <i>Bacillus</i>	
	gén. <i>Desulfovibrio</i>	
	gén. <i>Desulfotomaculum</i>	

- ***Crenothrix/Clonothrix***: también filamentosas y también frecuentes en las incrustaciones de origen biológico. Algunas evidencias sugieren que son metanooxidantes (Ghiorse, 1984).
- ***Bacterias gemantes prostecadas***: *Hyphomicrobium* y *Pedomicrobium* frecuentes en el suelo y las aguas. Acumulan depósitos finos de Fe y Mn procedentes de la descomposición de complejos organometálicos (Ghiorse, 1984).

- ***Siderocapsa***: heterótrofas no filamentosas. Ghiorse (*Ghiorse, 1984*) enumera hasta 18 géneros de bacterias con características similares, aunque la mayoría precipitan manganeso más que hierro.
- ***Pseudomonas***: es el grupo más variado y ampliamente representado en suelos y aguas. Pueden llegar a ser dominantes en los procesos de *bioobstrucción* (*Alford et al., 1987*).
- **Sulfatorreductoras**: responsables de serias alteraciones en las cualidades organolépticas de las aguas así como del inicio de la corrosión. Ambos problemas están relacionados con la génesis de H₂S. Son anaerobios estrictos (*Cullimore, 1992*).

De estos nueve grupos de microorganismos, *Thiobacillus* y *Metallogenium* requieren unas características muy particulares, por lo que únicamente estarán presentes en aguas extremadamente ácidas. En condiciones "normales" encontraremos unas u otras en función de las características particulares de cada captación. De este modo, *Gallionella* aparecerá ligada a las *biopelículas* allí donde el pH sea ligeramente ácido, las bacterias Sulfatorreductoras en ambientes anaerobios, si no hay evidencias de metano cabe suponer que las filamentosas pertenezcan al grupo *Leptothrix/Sphaerotillus*. Todo esto reduce la detección de los microorganismos generadores de *bioobstrucción* o *biopelícula* a unos pocos grupos relativamente fáciles de detectar e identificar en función de las características de cada pozo.

3.3.3. Desarrollo de las incrustaciones. Etapas

El desarrollo de incrustaciones en las captaciones de agua subterránea lleva consigo una secuencia de sucesos que podemos dividir en etapas, en función de las alteraciones que se van generando, tanto

desde el punto de vista de la calidad del agua, como desde el de la producción del pozo. Aunque estas alteraciones pueden variar dependiendo de factores como la naturaleza y porosidad del acuífero, el diseño y construcción del pozo o la realización de labores de mantenimiento y prevención, hay una secuencia de sucesos que son comunes al desarrollo de incrustaciones de origen biológico, lo que hemos venido denominando como *bioobstrucción* o *biopelícula*. Las etapas de desarrollo de la *biopelícula* son, según Cullimore (Cullimore, 1999):

1. **Colonización inicial:** cabe esperar que la microbiota del acuífero, ya sea natural (autóctona) o introducida (alóctona), se verá afectada por la instalación y funcionamiento de la captación. La microbiota intrínseca llegará al pozo procedente tanto del acuífero como de la zona no saturada y el suelo. Los microorganismos extrínsecos llegarán a través de la captación durante los procesos de construcción, bien con la maquinaria de perforación, bien a través de las aguas, limos o productos químicos utilizados durante el desarrollo, etc. Estos microorganismos competirán por la disponibilidad de superficies de fijación: potencial redox adecuado y proximidad a los flujos de agua que aporten nutrientes. El propio hecho de la fijación de estos microorganismos da lugar al crecimiento de la *biopelícula*. Varias *biopelículas* pueden interactuar, formándose auténticas comunidades en las que especies o cepas diferentes colaboran en el desarrollo de la incrustación.
2. **Ocupación primaria de huecos:** una vez formada la *biopelícula* sobre las superficies se inicia la competencia para ocupar los poros del acuífero, es decir el volumen que ocupa el agua en condiciones de saturación. Durante esta competencia inicial entre las distintas asociaciones biológicas, el volumen de las *biopelículas* se expande rápidamente, pudiendo llegar a ocupar entre un 10 y un 60% del total de los poros. La transmisividad

del acuífero se ve seriamente disminuida a la par que se reduce la porosidad, hasta que la *biopelícula* se estabiliza.

3. **Estabilización primaria:** al producirse la estabilización de la *biopelícula* el volumen de poros ocupados por ella es relativamente pequeño, de tal forma que se recuperan la transmisividad y la producción del pozo.

4. **Ocupación secundaria:** los poros se van rellenando nuevamente con las asociaciones de microorganismos de forma gradual. Durante esta ocupación secundaria podemos diferenciar tres fases que se repiten cíclicamente: aumento de volumen, desprendimiento de la superficie y reestabilización. Al final de cada ciclo la ocupación de los poros aumenta, perjudicando la transmisividad del acuífero. Estos ciclos pueden producir fluctuaciones en el caudal de bombeo cuando éste es fijo y próximo al máximo de la captación. Durante esta fase de crecimiento, muchos de los nutrientes son retenidos en las *biopelículas* junto con otros productos "bioacumulados" (hierro y manganeso, por ejemplo). Debido a este fenómeno el agua extraída del pozo presentará concentraciones menores de determinados componentes químicos, excepto durante la fase de desprendimiento de cada ciclo. Al mismo tiempo se incrementa la carga de partículas en suspensión en el agua causando una degradación general en la calidad de la misma. Los depósitos generados en esta fase varían desde las costras sólidas hasta la formación de geles amorfos y densos.

5. **Obturación:** la pérdida del volumen de poros y el crecimiento de las incrustaciones suponen una pérdida significativa de la capacidad del pozo. La reducción de la transmisividad disminuye el aporte de agua del acuífero a la captación pudiendo llegar a disminuir la producción entre un 50 y un 80% con respecto a la producción original. Hay dos factores que influyen en esta

disminución, por un lado la reducción de los poros que permiten el flujo del agua y, por otro, la distribución de las incrustaciones puede llegar a aislar zonas del acuífero.

6. **Obturación total:** el desarrollo extensivo de las incrustaciones, tanto si son densas y amorfas como si son sólidas y cristalizadas, junto con el aislamiento de porciones del acuífero, dan lugar a una pérdida crítica de la productividad del pozo. Frecuentemente esta pérdida de productividad hace que la explotación del pozo no sea viable. Cuando hay una obturación total la productividad del pozo puede descender rápidamente hasta el punto de ser considerado como un **pozo seco** (productividad tan baja que no es utilizable). Es frecuente que la obturación total suceda de forma tan rápida que se la llegue a considerar como instantánea.

VOID VOLUME OCCUPANCY	STATUS	IMPACT ON:	
		FLOW	CHEMISTRY
0%	100%		
	INITIAL VOID ACQUISITION	++	-
	STABLE SURFACE COLONIZATION	-	-
	GROWTH INTO VOID	+	-
	SLOUGHING OF DESTABILIZED GROWTH	-	+
	STABILIZES	+	-
	VOID OCCUPANCY IMPACTS ON PRODUCTION CAPACITY (40-80%)	++	++
	CLOG SEVERLY RESTRICTS HYRAULIC CONDUCTIVILY - NO SUBSTANTIAL FLOW	+++	+++

Fig. 3.7.- Sucesión de estados durante la formación de la *biopelícula* y variaciones del flujo y calidad química de las aguas durante la misma (Cullimore, 1996)

Como puede observarse, hay determinadas etapas en la formación de la *biopelícula* en que en vez de reducirse la transmisividad llega, incluso, a incrementarse. Cuando esto ocurre suele ir acompañado de una pérdida de calidad del agua, debido al desprendimiento de las incrustaciones. Al final tanto la transmisividad como la calidad química del agua disminuyen notablemente (figura 3.7).

Un problema importante en la detección de procesos de *bioobstrucción* surge debido a que habitualmente los pozos no se utilizan al máximo de su capacidad, de modo que hasta que la obturación no supera a la demanda del pozo, la obstrucción no es apreciable. Muchas veces, a estos niveles ya no es factible o no es rentable la regeneración.

4. TOMA DE MUESTRAS

4. TOMA DE MUESTRAS

4.1. CRITERIOS PARA LA ELECCIÓN DE LOS SONDEOS

Uno de los principales objetivos del estudio es establecer qué parámetros, si es que hay alguno, son los que pueden condicionar el desarrollo de incrustaciones de origen biológico, por lo que el criterio fundamental para la elección de los sondeos ha sido, lógicamente, recoger la máxima diversidad posible de condiciones hidrogeológicas, constructivas, geográficas, etc.

Dado que la tesis ha sido financiada gracias a los proyectos CICYT **AMB94-0997-C02-02** y **HID96-1309** los sondeos muestreados se han tenido que ajustar al ámbito de actuación de dichos proyectos, el *Acuífero Terciario Detrítico de Madrid* en el primer proyecto y las posibilidades que ofrecen los diversos trabajos de la empresa *TRAGSATEC* en el segundo. A pesar de las limitaciones, la variación creemos que puede ser suficiente como para podernos hacer una idea de la situación microbiológica en distintos ámbitos de las captaciones de agua subterránea, estadísticamente representativa.

Desde el punto de vista hidrogeológico, se han obtenido muestras pertenecientes a captaciones en acuíferos tanto detríticos como carbonatados (tabla 4.1), así como dos series de muestras pertenecientes a aguas carbónicas procedentes de *hard-rocks* (metamórfico y plutónico fundamentalmente). Constructivamente hay variaciones, incluso para muestras pertenecientes al mismo acuífero, que van desde filtros *Johnson* hasta tuberías ranuradas, desde captaciones con más de 25 años (muestras M-9 y M-7) hasta captaciones con, apenas, cinco años (M-2, M-6 y AL). Por último, geográficamente, se han obtenido datos de Galicia, Cataluña, Castilla-León, La Mancha, Madrid, Valencia y Andalucía, e incluso, de manera casi anecdótica, una muestra, la TT-11, de *Vila Franca de Xira (Portugal)*.

TABLA 4.1.-MUESTRAS OBTENIDAS EN LOS DIFERENTES ACUÍFEROS
(U.H.-"Unidades Hidrogeológicas" – M.O.P.U., 1990)

Detríticos	Terciario Detrítico de Madrid – U.H. 03.05	M-1 a M-9
	Plana de Castellón/Onda – U.H. 08.12/08.13	TT-7 y TT-8
	Cuenca Terciaria de As Pontes	TT-9, TT-10 y AP1 a AP-6
	Central del Duero-Arenales – U.H. 02.17	TT-12, MM, MZ, H y F
Carbonatados	Mancha Occidental – U.H. 04.04	TT-1, TT-2, TT-4 y TT-5
	Mancha Oriental – U.H. 08.29	TT-6
	Vila Franca de Xira	TT-11
	Plana de Valencia Norte– U.H. 08.25	CC-1 y CC-3
	Maestrazgo – U.H. 08.07	CC-2
	Campo de Dalías – U.H. 06.14	AL
<i>Hard-Rocks</i>	Metamórfico del Campo de Calatrava	Y-1 a Y-6
	Plutónico-Metamórfico de Cataluña	Y-7 a Y-14

4.2. DESCRIPCIÓN Y AGRUPAMIENTO DE LAS MUESTRAS

En principio, las muestras se fueron agrupando según su procedencia. Dadas las particularidades ya comentadas para la recogida de las mismas, se ha ido trabajando con ellas según se han tomado y sólo *a posteriori* se ha podido hacer la agrupación por tipo de acuífero. Esta es la razón por la que aparecen con siglas relacionadas muestras de diferentes acuíferos y distinta procedencia.

Los grupos de muestras son:

- Serie **M**: muestras **M-1** a **M-9**. Todas ellas pertenecientes al *Acuífero Terciario Detrítico de Madrid (Unidad Hidrogeológica 03.05)*. Son las muestras tomadas en colaboración con D^a M^a Elvira Hernández (*Hernández-García, 1999; Senderos et al., 1998*), dentro del ámbito del proyecto CICYT **AMB 94-0997-C02-02**. El resto se encuadran en el marco del proyecto CICYT **HID 96-1309**.

- **M-1** - *Hogar de San Enrique y Sta. Rita - Hermanitas de los Ancianos Desamparados. c/ Príncipe de Viana, 11. Término Municipal de Madrid - Aravaca.*
 - **M-2** - *c/ Villagarcía, nºs 1 al 29. Término Municipal de Madrid - Batán.*
 - **M-3** - *Agustinas del Beato Orozco. c/ Granja, 9. Término Municipal de Madrid.*
 - **M-4** - *Parque de la Alcazaba. Av. Monforte de Lemos. Término Municipal de Madrid.*
 - **M-5** - *Parque de Berlín. Término Municipal de Madrid.*
 - **M-6** - *c/ Cantabria, 34. Conjunto Residencial Barajas. Término Municipal de Madrid. Zona Aeropuerto.*
 - **M-7** - *Complejo Deportivo Somontes. Ctra. a El Pardo, km 3,6. Pozo nº 1. Término Municipal de Madrid.*
 - **M-8** - *Colegio Santa Bernardette. c/ Sta. Bernardita, 1. Término Municipal de Madrid - Aravaca.*
 - **M-9** - *Campos de prácticas de la E.T.S.I. Agrónomos. Senda del Rey s/n. Término Municipal de Madrid.*
- Serie **TT**: muestras **TT-1** a **TT-12**. Muestras de diversa procedencia, todas ellas obtenidas gracias a la colaboración de la empresa *TRAGSATEC* y, por tanto, condicionadas por su ritmo de trabajo. Son fruto de las actuaciones de la empresa durante el año 1998.
- **TT-1** - *Sondeo La Viña. P.N. de Las Tablas de Daimiel. Término Municipal de Daimiel (Ciudad Real).*
 - **TT-2** - *Sondeo Embarcadero. P.N. de Las Tablas de Daimiel. Término Municipal de Daimiel (Ciudad Real).*
 - **TT-3** - *Pozo de Olmeda. Se desecha por falta de datos y deficiencias en la recogida de los mismos.*
 - **TT-4** - *Piezómetro Embarcadero. P.N. de Las Tablas de Daimiel. Término Municipal de Daimiel (Ciudad Real).*

- **TT-5** - *Sondeo de la Laguna Permanente. P.N. de Las Tablas de Daimiel. Término Municipal de Daimiel (Ciudad Real).*
 - **TT-6** - *Sondeo Casas de Juan Núñez. Término Municipal de Casas de Juan Núñez (Albacete).*
 - **TT-7** - *Sondeo Partida de la Frontera. Término Municipal de Tales (Castellón). Propiedad del Excmo. Ayto. de Onda.*
 - **TT-8** - *Sondeo Santos Patronos 2. Término Municipal de Tales (Castellón).*
 - **TT-9** - *Sondeo B-03001. Mina As Pontes. Término Municipal de As Pontes de García Rodríguez (La Coruña).*
 - **TT-10** - *Sondeo B-01037. Mina As Pontes. Término Municipal de As Ponte de García Rodríguez (La Coruña).*
 - **TT-11** - *Sondeo JK2/CP - factoría de Colgate Palmolive. La Alverca (Vila Franca de Xira). Portugal.*
 - **TT-12** - *Sondeo Almunia 1. Término Municipal de Cantalapiedra (Salamanca).*
- Serie **Y**: muestras **Y-1** a **Y-14**. Pertenecen a dos series de datos obtenidos en colaboración con D. Javier Yélamos (*Yélamos et al., 1999; Redondo y Yélamos, 2000*) relativos a fuentes carbónicas sobre *Hard-Rocks* (metamórfico y plutónico fundamentalmente).
- **Y-1** - *Baños de San Joaquín (Ciudad Real).*
 - **Y-2** - *San Gregorio. Término Municipal de Puertollano (Ciudad Real).*
 - **Y-3** - *Hervidero de Villar del pozo. Término Municipal de Villar del Pozo (Ciudad Real).*
 - **Y-4** - *El Chorrillo (Ciudad Real).*
 - **Y-5** - *Piedra de Hierro (Ciudad Real).*
 - **Y-6** - *Sacristanía (Ciudad Real).*
 - **Y-7** - *Font San Narcís. Término Municipal de Caldas de Malavella (Gerona).*

- **Y-8** - *Font La Mina. Término Municipal de Caldas de Malavella (Gerona).*
 - **Y-9** - *Font Pican Bel-Loc (Gerona).*
 - **Y-10** - *Font del Penedés (Gerona).*
 - **Y-11** - *Font de La Pólvora (Gerona).*
 - **Y-12** - *Sant Gregori (Gerona).*
 - **Y-13** - *Coromines (Gerona).*
 - **Y-14** - *Font Pican Amer (Gerona).*
- Serie **AP**: muestras **AP-1** a **AP-6**. Todas tomadas en la instalación minera de *As Pontes (Coruña)* en marzo de 1999 aprovechando una campaña de "monitorización" de los pozos de drenaje de la mina por la empresa *TRAGSATEC (Senderos et al., 2000)*.
- **AP-1** - *Sondeo B-01002. Mina As Pontes. Término Municipal de As Pontes de García Rodríguez (La Coruña).*
 - **AP-2** - *Sondeo B-01026. Mina As Pontes. Término Municipal de As Pontes de García Rodríguez (La Coruña).*
 - **AP-3** - *Sondeo B-03002. Mina As Pontes. Término Municipal de As Pontes de García Rodríguez (La Coruña).*
 - **AP-4** - *Sondeo B-05006. Mina As Pontes. Término Municipal de As Pontes de García Rodríguez (La Coruña).*
 - **AP-5** - *Sondeo B-06008. Mina As Pontes. Término Municipal de As Pontes de García Rodríguez (La Coruña).*
 - **AP-6** - *Sondeo B-06012. Mina As Pontes. Término Municipal de As Pontes de García Rodríguez (La Coruña).*
- Serie **CC**: muestras **CC-1** a **CC-3**. Son tres pozos de la Comunidad Valenciana pertenecientes a acuíferos carbonatados.
- **CC-1** - *Pozo Cruzcampo 1. Factoría de Cruzcampo. Término Municipal de El Puig (Valencia).*
 - **CC-2** - *Sondeo Marza. Término Municipal de Alcalá de Chivert (Castellón).*

- **CC-3** - *Pozo Cruzcampo 3. Factoría de Cruzcampo. Término Municipal de El Puig (Valencia).*
- Muestras **MM** y **MZ**: obtenidas *ex-profeso* para la presente tesis. Son pozos de *La Moraña* en los que había, al menos en uno de ellos (**MZ**), la posibilidad de tomar muestras en distintos niveles de la captación.
 - **MM** - *Sondeo Moraleja. Término Municipal de Moraleja de Matababras (Ávila).*
 - **MZ** - *Sondeo San Esteban de Zapardiel 1. Término Municipal de San Esteban de Zapardiel (Ávila).*
- Muestras **H** y **F**: también de *La Moraña*. Estos datos pertenecen a un trabajo anterior (*Senderos, 1995*) y se decidió incluirlos ya que en dicho trabajo se esbozaron algunas de las técnicas que se desarrollan más ampliamente en el presente.
 - **H** - *Pozo de Horcajo. Término Municipal de Horcajo de las Torres (Ávila).*
 - **F** - *Sondeo Cuartero. Término Municipal de Fontiveros (Ávila).*
- Muestra **AL**: pozo del Acuífero del *Campo de Dalías (Almería)*. A pesar de disponer de una sola muestra, hemos creído interesante incluirlo dadas las particulares características hidroquímicas que posee.
 - **AL** - *Sondeo 1/421-Matagorda. Término Municipal de El Ejido (Almería).*

A continuación, en la tabla 4.2, se enumeran las características hidrogeológicas más representativas de cada muestra. No se incluyen los datos de las aguas carbónicas, por ser manantiales naturales y no captaciones.

TABLA 4.2.- CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS DE CADA MUESTRA

Código	Toponimia	Origen	Fecha	Naturaleza	Perforación	Año	Ø (mm)	Prof. (m)	Nivel agua	Uso	Entub/rejilla
M-1	Hogar S. Enrique	M.E.H.	16.01.98	Detrítica	Rotac. C.I.	1981	500/300	200	16	Consumo	Acero/Pte.
M-2	c/ Villagarcía, 1-29	M.E.H.	23.01.98	Detrítica	Rotac. C.I.	1993	450/250	150		Riego	Acero/Pte.
M-3	Agustinas Bto. Orozco	M.E.H.	06.02.98	Detrítica	Rotac. C.I.	1983	450/300	122		Riego	
M-4	Parque Alcazaba	M.E.H.	10.02.98	Detrítica	Rotac. C.I.	1992	500/300	150	39	Riego	Ace/Pte-Ran
M-5	Parque de Berlín	M.E.H.	13.02.98	Detrítica	Rotac. C.I.	1992	500/300	156	65	Riego	Acero/Pte.
M-6	c/ Cantabria, 34	M.E.H.	13.02.98	Detrítica	Rotac. C.I.	1993	450/200	50		Riego	Acero/Pte.
M-7	Somontes nº 1	M.E.H.	06.03.98	Detrítica	Rotac. C.I.	1974	750/450	248		Riego	Ace/Dúplex
M-8	Col. Sta. Bernardette	M.E.H.	13.03.98	Detrítica	Rotac. C.I.	1980	450/300	111		Riego	Acero/Pte.
M-9	ETSI-Agrónomos	M.E.H.	27.03.98	Detrítica	Rotac. C.D.	1970		198		Riego	Ace/Ranura
CC-1	Cruzcampo-1	TTEC	18.05.99	Carbonatada				100		Ind. Alim.	
CC-2	Marza	TTEC	18.05.99	Carbonatada				202			
CC-3	Cruzcampo-3	TTEC	18.05.99	Carbonatada				99		Ind. Alim.	
AL	Matagorda (El Ejido)	TTEC	09.07.99	Carbonatada		1993	?/450-220	735	104	Riego	Acero
MM	Moraleja de Matababras	TTEC	02.07.99	Detrítica	Percusión			181	77,3	Ctrl. Piezo	Ace/Ranura
MZ	S. Esteban de Zapardiel	TTEC	02.07.99	Detrítica	Percusión	1990		606	35,6		Ace/Johnson
H	Pradillos (Horcajo)	TTEC	05.10.94	Detrítica	Rotac. C.I.	1988	?/300	238		Riego	Acero
F	Fontiveros	TTEC	05.10.94	Detrítica	Rotac. C.D.	1986	?/230	155,5	102	Riego	Acero

Código	Toponimia	Origen	Fecha	Naturaleza	Perforación	Año	Ø (mm)	Prof. (m)	Nivel agua	Uso	Entub/rejilla
TT-1	La Viña (Daimiel)	TTEC	12.05.98	Carbonatada		1987	?/675	85,6	8	Recarga PN	Acero/Pte.
TT-2	Embarcadero (*)	TTEC	12.05.98	Carbonatada	Percusión	1987	?/675	50	6	Recarga PN	Acero/Pte.
TT-4	Embarcadero (pz)	TTEC	12.05.98	Carbonatada		1987			6		
TT-5	Laguna Permanente	TTEC	12.05.98	Carbonatada	Percusión	1988	675/500	80		Recarga PN	Acero
TT-6	Casas de Juan Núñez	TTEC	02.07.98	Carbonatada	Rotac. C.D.	1987	500-293	485/900	30	Riego	Acero
TT-7	Partida de la Frontera	TTEC	30.10.98	Detrítica	Percusión		?/635	270		Consumo	Acero
TT-8	Santos Patronos-2	TTEC	30.10.98	Detrítica	Percusión			138,5	138,2	Consumo	Ace/Ranura
TT-9	As Pontes B-03001	TTEC	30.10.98	Detrítica	Rotac. C.I.	1988	?/400	210	76	Drena. mina	Acero/Pte.
TT-10	As Pontes B-01037	TTEC	30.10.98	Detrítica	Rotac. C.I.	1986	?/400	300	110	Drena. mina	Acero/Pte.
TT-11	La Alverca (Lisboa)	TTEC	30.10.98	Carbonatada	Rotac. C.I.	1992	330/250	330	0,5	Industria	Acero/Pte.
TT-12	Cantalapiedra	TTEC	30.10.98	Detrítica	Rotac. C.I.	1985	?/339	232	45	Riego	Ace/Johnson
AP-1	As Pontes B-01002	Endesa	23.03.99	Detrítica	Rotac. C.I.	1984	?/300	208	31,4	Drena. mina	Acero/Pte.
AP-2	As Pontes B-01026	Endesa	23.03.99	Detrítica		1986		320	44,5	Drena. mina	
AP-3	As Pontes B-03002	Endesa	23.03.99	Detrítica		1988	550/400	212	80,3	Drena. mina	
AP-4	As Pontes B-05006	Endesa	23.03.99	Detrítica		1987		330	84	Drena. mina	
AP-5	As Pontes B-06008	Endesa	23.03.99	Detrítica		1987		180	48,1	Drena. mina	
AP-6	As Pontes B-06012	Endesa	23.03.99	Detrítica		1989	550/400	150	49,4	Drena. mina	

Pasamos a comentar brevemente la tabla anterior:

- Código: los códigos adjudicados a cada muestra se han comentado al principio de este mismo apartado.
- Toponimia: se ha utilizado la toponimia proporcionada por los distintos suministradores de las muestras en el caso de que nos la hayan proporcionado. Cuando han sido muestras obtenidas por nosotros mismos se ha utilizado la toponimia empleada por los usuarios de la captación.
- Origen: las siglas **M.E.H.** se refieren los datos hidrogeológicos presentes en la tesis doctoral de D^a M^a Elvira Hernández (*Hernández-García, 1999*). **TTEC** son los datos proporcionados por la empresa *Tragsatec* u obtenidos en colaboración con ellos. Por último, el origen **Endesa**, son datos proporcionados por el personal de la mina *As Pontes* tras una pequeña campaña de toma de muestras que hicimos en sus pozos de drenaje de agua de la mina aprovechando unos trabajos de mantenimiento de los mismos contratados con *Tragsatec*.
- Las fechas son la fecha en que se inician los estudios hidroquímicos y microbiológicos. Tal como hemos comentado con anterioridad las muestras fueron recogidas durante 1998 y 1999 a excepción de las muestras **H** y **F** que pertenecen a un trabajo anterior (*Senderos, 1995*), pero cuyas características los hacían compatibles con el presente.
- La naturaleza de las captaciones va desde captaciones en acuíferos detríticos hasta captaciones en acuíferos carbonatados. En algún caso en que en un acuífero carbonatado aparece un pequeño nivel detrítico se ha optado por considerarlo como carbonatado.

- Hemos creído interesante incluir el tipo de perforación utilizado durante la construcción del sondeo pues si, tal como opinan algunos autores (*Driscoll, 1986; Cullimore y McCann, 1977*), los microorganismos generadores de *bioobstrucción* pueden entrar durante las maniobras de construcción del pozo, es posible que haya diferencias en la "microbiota" en función de la técnica empleada en cada caso. Como puede verse, únicamente faltan captaciones perforadas mediante rotoperforación, habiendo tanto percusión como rotación con circulación directa y con circulación inversa de lodos.
- El año de construcción del pozo también podría ser *a priori* un buen indicador del estado microbiológico del mismo. La captación más antigua es la muestra **M-9**, perteneciente al campo de prácticas de la E.T.S.I.-Agrónomos. La más moderna es la señalada por nosotros como **AL** (pozo de Matagorda, en El Ejido-Almería) que data de 1993.
- El diámetro de la captación consta de dos valores, el primero se refiere al diámetro de perforación y el segundo al del entubado. Cuando sólo se conoce el diámetro del entubado se ha dejado con interrogación el de la perforación. Cuando aparecen dos valores separados por un guión (**TT-6** y **AL**) es porque hay reducciones del diámetro.
- Profundidad: falta el dato de profundidad del piezómetro del *Embarcadero* del P.N. de *Las Tablas de Daimiel* (**TT-4**). En *Casas de Juan Núñez* (**TT-6**), el primer valor es la profundidad hasta la que hay entubación, mientras que el segundo se refiere a la profundidad total de la captación.
- El nivel del agua en el pozo no ha podido ser comprobado en aquellos pozos que, en el momento de la toma de muestras, se encontraban "equipados", de modo que las muestras hubo

que tomarlas bombeando. En estos casos, lógicamente, no hay imágenes de vídeo de los mismos (ver apartado 4.4.2.).

- El uso, aunque una vez obtenida el agua de la captación no ha de influir en los procesos internos del pozo, nos puede dar idea de la frecuencia de uso y, por tanto la renovación de las aguas en el mismo, así como el grado de cuidados y mantenimiento. De esta manera, una captación para consumo, en buena lógica, debería estar sometida a un mantenimiento periódico más frecuente que una captación para riego, por ejemplo.
- El material del entubado es, en todos los casos, acero. No ha sido posible estudiar captaciones de P.V.C., dado que son muy escasas y, generalmente, lo suficientemente nuevas como para que no sean necesarias todavía maniobras de mantenimiento. En cuanto a los filtros, son importantes por el tipo de flujo que generan en la entrada de agua, que puede favorecer la instalación de determinados microorganismos (*Cullimore, 1996*). La mayoría de los filtros son de tipo **puentecillo**, aunque hay bastantes pozos con **tubería ranurada** e, incluso dos (**MZ** y **TT-12**) con filtros *Johnson*.

4.3. BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS ACUÍFEROS

En la tabla 4.1 se relacionan los acuíferos a los que pertenecen cada una de las muestras. En total son cuatro de carácter detrítico, seis carbonatados y dos en *hard-rocks*. Como el objeto del trabajo no es el estudio pormenorizado de los acuíferos, nos limitaremos a hacer una breve descripción de las características hidrogeológicas de cada uno de ellos, en tanto en cuanto puedan condicionar la existencia de determinados microorganismos.

1. Acuífero del Terciario Detrítico de Madrid (*Unidad Hidrogeológica 03.05*)

Las muestras correspondientes a este acuífero se sitúan todas en el entorno del término municipal de Madrid. Estas son:

- M-1: Hogar de San Enrique y Santa Rita
- M-2: c/ Villagarcía, nº 1 a 29
- M-3: Agustinas del Beato Orozco
- M-4: Parque de La Alcazaba
- M-5: Parque de Berlín
- M-6: c/ Cantabria, 34
- M-7: Complejo Deportivo Somontes
- M-8: Colegio Santa Bernardette
- M-9: Campos de prácticas E.T.S.I. Agrónomos

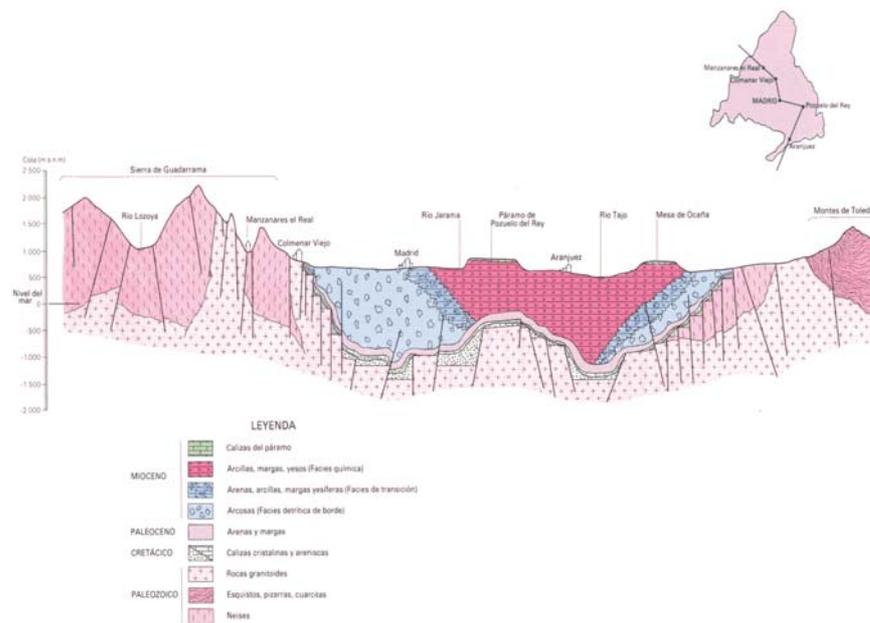


Fig. 4.1.- Corte simplificado de la Depresión del Tajo. Sierra de Guadarrama-Montes de Toledo (Pedraza, J. y Alonso, E. en I.T.G.E, 1988)

El mecanismo de sedimentación de los materiales de la Cuenca de Madrid durante el Terciario, en ambiente continental y bajo clima semiárido, parece adaptarse al modelo conceptual de **abanicos aluviales**, correspondiendo, por tanto, al esquema clásico de *facies de borde, intermedias y centrales* en una cuenca endorreica árida (Fig. 4.1). Este esquema se complica en la vertical, pues el paso de unas facies a otras es transicional y se realiza mediante cambios laterales hacia el Norte (López-Vera, 1977).

Este esquema de sedimentación confiere al acuífero unas características litológicas en las que se distinguen tres tipos de facies (Martínez-Alfaro, 1977; López-Camacho et al., 1986):

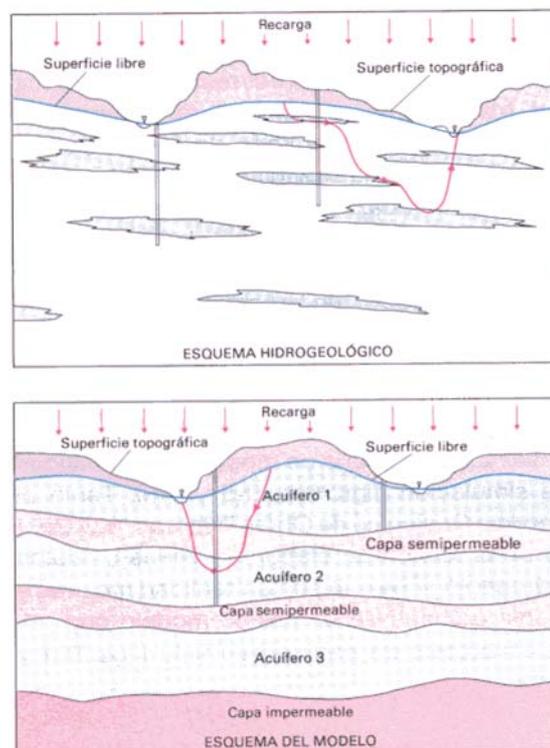


Fig. 4.2.- Esquema conceptual de funcionamiento de la U.H. 03.05 (I.T.G.E., 1988)

- Facies detríticas, de borde de cuenca. Son de naturaleza arcósica. Engloba las distintas facies de desarrollo de los abanicos aluviales. Presenta una variación granulométrica lateral y vertical muy importante. Hacia el Sur disminuye el tamaño de grano y aumenta la potencia y continuidad de los niveles arcillosos. La potencia media es de unos 900 m (desde 3.000 m al Norte, hasta acuñarse con los sedimentos del centro de la cuenca). Aunque presenta dos subunidades, todo ello se comporta como un solo acuífero **heterogéneo y anisótropo** (figura 4.2), en el que aparecen canales arenosos más permables inmersos en una matriz limo-arcillosa de menos permeabilidad (*Fernández-Areces et al., 1983*).
- Facies evaporíticas de centro de cuenca, de naturaleza química. Se encuentra al Sur del término municipal de Madrid. Está formada por yesos masivos con un grado muy alto de recristalización. Suprayacente se dispone otra unidad litoestratigráfica compuesta por una alternancia de arcillas y bancos de yesos tableados. Hacia el Norte, disminuye el contenido en yesos y aumenta el material arcilloso. La potencia media de la unidad es de unos 1.000 m, los primeros de los cuales son transmisivos debido a procesos de carstificación, perdiéndose transmisividad en profundidad.
- Facies de transición, de posición intermedia y naturaleza mixta entre las dos anteriores. Formada por materiales arcillosos y carbonatados. Agrupa dos unidades litoestratigráficas en equivalencia lateral: carbonatos tableados y arcillas con sílex, y arcillas verdes con carbonatos. Desde el punto de vista hidrogeológico presenta poco interés, es algo más transmisiva en los primeros metros superficiales, haciéndose prácticamente impermeable en profundidad.

Aparte de estas tres facies, existe una unidad cuaternaria a la que se considera como una unidad hidrogeológica independiente. Se consideran pertenecientes a esta unidad los depósitos aluviales de fondo de valle y las terrazas. La potencia es muy variable, entre 3 y 50 m, y se compone de arenas, gravas, arcillas, limos y, en ocasiones, yesos (López-Camacho *et al.*, 1986).

Hidrogeológicamente, los materiales detríticos funcionan como un único sistema libre, cuyo comportamiento es más el de un acuitardo que el de un acuífero en sentido estricto (Llamas, 1986). El esquema de flujo se basa en la existencia de flujos locales, intermedios y regionales, de modo que, en las zonas de descarga, pueden confluir aguas con muy distintos recorridos y, por tanto, de muy diferentes tiempos de residencia. Aparecen, también, zonas de estancamiento en las que la velocidad de las aguas subterráneas es prácticamente nula, y flujos de muy corto recorrido, a escala local, que suelen descargar en pequeños manantiales (figura 4.3). Los aspectos más característicos son (Llamas, 1976):

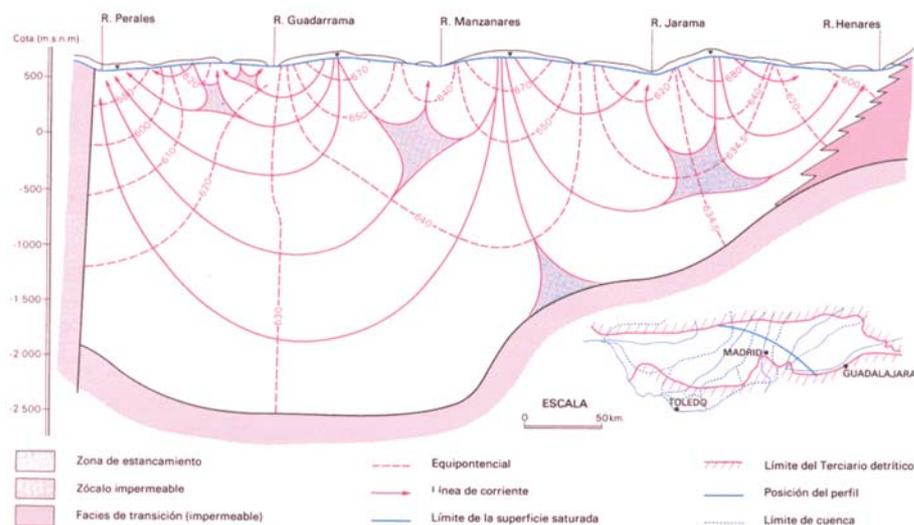


Fig. 4.3.- Red de flujo en la U.H. 03.05 (modificada de Herráez y Llamas, 1982)

- Acuífero único, heterogéneo y anisótropo. Puede ser concebido como un acuífero multicapa compuesto por una alternancia de acuíferos y acuitardos (de baja permeabilidad, pero transmisores de agua en la vertical).
- La recarga procede de la infiltración del propio Terciario o del Cuaternario que lo recubre.
- La recarga se efectúa mediante la infiltración eficaz de la precipitación sobre toda la superficie del acuífero, aunque ésta se centra principalmente en las zonas de interfluvio.
- Sobre el casco urbano de Madrid, la recarga no se produce por infiltración de la lluvia, sino por las fugas de la red de abastecimiento junto con las de la red de alcantarillado.
- La descarga se produce en los puntos topográficamente más bajos. Se centra principalmente en los fondos de los valles, por drenaje directo o a través de Cuaternario, siendo de menor importancia las descargas por evapotranspiración, arroyos efímeros y manantiales de pequeño caudal.
- Parte de la descarga se produce, también, por la extracción de agua de los pozos situados en el Terciario.
- Coexisten flujos locales , intermedios y regionales.

La recarga media del acuífero es del orden de 410-435 hm³/año, mientras que el bombeo es de unos 150 hm³/año (*Llamas, 1993*). El volumen extraído se reparte, aproximadamente de la siguiente manera (*Ministerio de Medio Ambiente, 1996*):

- 38% el Canal de Isabel II
- 30%, urbanizaciones y particulares
- 21%, uso industrial, ganadero y recreativo
- 11% regadío agrícola

2. Plana de Castellón/Onda (Unidades Hidrogeológicas 08.12 y 08.13)

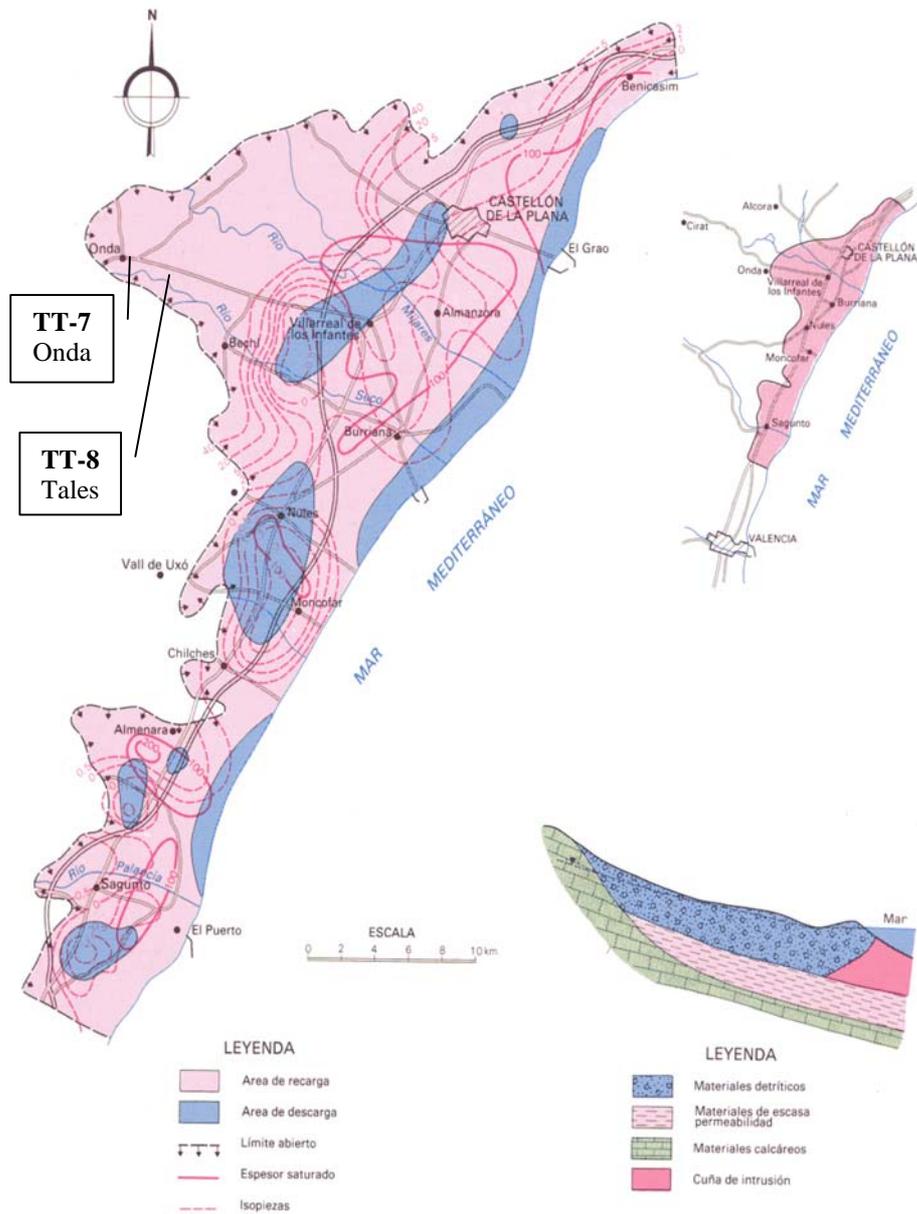


Fig. 4.4.- Esquema de funcionamiento de los Sistemas de la Plana de Castellón y Onda (I.T.G.E., 1988)

A este acuífero pertenecen las muestras:

- TT-7: sondeo "Partida de la Frontera" - Onda (Castellón)
- TT-8: sondeo "Santos Patronos-2" - Tales (Castellón)

Tomando como base la descripción del I.T.G.E (*I.T.G.E., 1988*), se trata de un sistema de unos 550 km² de superficie. Se extiende dentro de un polígono con vértices en *Puzol, Villavieja, Onda y Benicasim*. Se diferencian dos acuíferos, uno superior detrítico y otro inferior predominantemente carbonatado separados por una formación de arcillas y margas poco permeables. Únicamente se explota el superior, formado por **arenas, gravas y arcillas plio-cuaternarias**.

En la zona Norte (*Plana de Castellón*), que es donde se ubican las captaciones mencionadas, la base del acuífero se sitúa entre los 50 y - 150 m. El funcionamiento hidráulico se muestra en la figura 4.4, donde, además se indica la situación de las captaciones. La profundidad del agua aumenta en sentido E-O, desde valores de 5 a 10 m en la franja litoral, hasta los 50 m en el borde noroccidental del sistema (figura 4.4). En zonas puntuales y debido a las extracciones, esta profundidad se llega a situar por debajo de los 60 m (*Villarreal*).

TABLA 4.3. BALANCE HÍDRICO (hm³/año). PLANA DE CASTELLÓN/ONDA (*I.T.G.E., 1988*)

ENTRADAS:	
- Lluvia	20
- Río	--
- Lateral	190
- Riego	90
TOTAL	300
SALIDAS:	
- Bombeo	230
- Surgencias	--
- Lateral	--
- Mar	40
- Río	30
TOTAL	300

El sentido general de circulación es del interior hacia la costa, con gradientes muy poco acusados (entre 0,1 y 2 ‰). En la zona de *Onda* sí se alcanzan valores de entre 8 y 20 ‰ como consecuencia del menor espesor saturado de los sedimentos y la mayor pendiente del sustrato.

En la tabla 4.3, se puede ver desglosado el balance hídrico, donde se aprecia que la mayor parte de la recarga es por alimentación lateral a partir de otras unidades. El principal componente de las salidas son los bombeos.

La utilización del agua subterránea se distribuye de la siguiente manera: regadío (185 hm³), abastecimiento urbano (40 hm³) y abastecimiento industrial (5 hm³).

Los problemas relativos a la contaminación de aguas subterráneas son parecidos a los de otras unidades costeras: en unas áreas, la intrusión salina ofrece especial intensidad; en otras, las concentraciones de nitratos exceden los límites recomendados por la *Reglamentación Técnico Sanitaria*; el contenido en materia orgánica, algunos excesos de plomo e indicios de detergentes, son otros de los problemas de contaminación presentes.

3. Cuenca Terciaria de *As Pontes*

Los pozos de *As Pontes* consisten en un sistema de drenaje de agua de la mina de carbón del mismo nombre que Endesa explota en la localidad de *As Pontes de García Rodríguez (A Coruña)*.

La relación entre nuestras muestras y los pozos de las que han sido sacadas es:

- TT-9: B.03001
- TT-10: B.01037
- AP-1: B.01002
- AP-2: B.01026
- AP-3: B.03002

- AP-4: B.05006
- AP-5: B.06008
- AP-6: B.06012

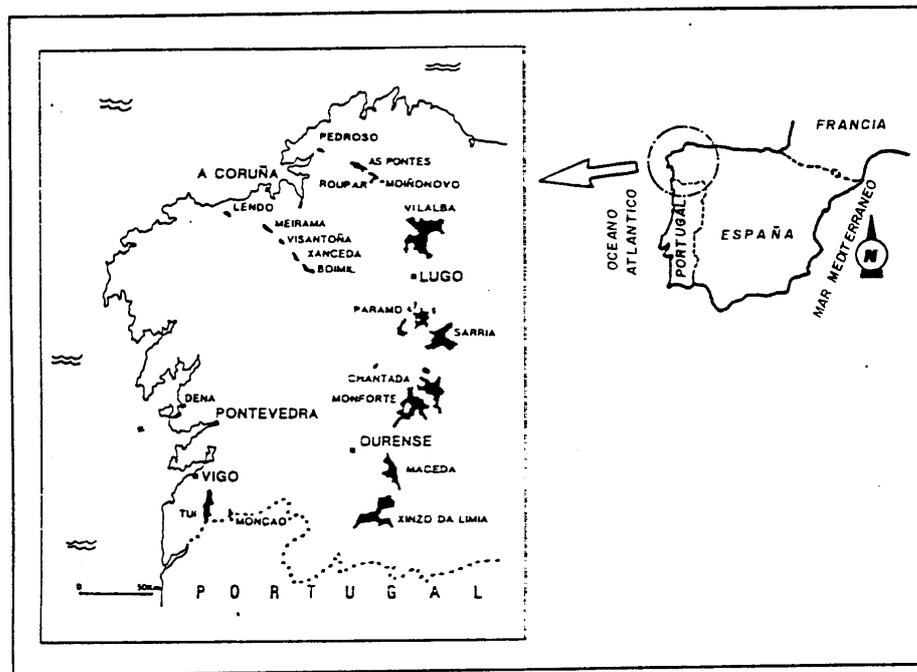


Fig. 4.5.- Plano de situación de *As Pontes* y de las principales cuencas terciarias gallegas (ENDESA, 1999)

La cuenca se encuadra en un conjunto de cuencas terciarias de **lignito** repartidas por la comunidad gallega (figura 4.5). El depósito productivo consiste en una potente serie sedimentaria de edad terciaria formada por una alternancia rítmica de arcillas y lignito con intercalaciones de arenas. La roca encajante está constituida por filitas y cuarzofilitas paleozoicas.

La superficie de la cuenca es de 12 km², con una longitud de 8,5 km y anchuras de 2 y 3 km en los bordes occidental y oriental respectivamente y de sólo 1 km en la zona central.

Las reservas de lignito en origen eran de 280 Mtm, de las que quedan por explotar 117 Mtm que, al ritmo previsto, pueden proporcionar reservas hasta el año 2009. La explotación es a cielo abierto mediante el denominado **método alemán**. La totalidad de la extracción se utiliza para abastecer la Central Térmica de Endesa en la misma localidad. El requerimiento de la Central es de, aproximadamente 12 Mtm/año, por lo que para garantizar dicha extracción en condiciones de calidad y seguridad suficientes es necesario un drenaje constante de agua, tanto superficial como subterránea. Los objetivos básicos del drenaje son:

- Laboreo en condiciones óptimas
- Estabilidad de taludes
- Mantenimiento de buenas condiciones ambientales

Las condiciones hidrogeológicas quedan marcadas por:

- Alta pluviometría, que asegura una importante recarga por infiltración.
- Baja permeabilidad de los materiales, que condiciona la drenabilidad del terreno.

Marcada anisotropía hidráulica del macizo rocoso, afectado por fracturación. La geometría, distribución y características de los niveles acuíferos son (figura 4.6):

1. Acuífero libre: constituido por las rocas paleozoicas cuando afloran en superficie, es decir, se trata de los bordes de cuenca.
2. Acuífero confinado: formado por los materiales paleozoicos cuando quedan soterrados por la serie sedimentaria terciaria.

Al igual que en el anterior, la permeabilidad se desarrolla como consecuencia de la fracturación.

3. Acuífero multicapa: formado por una serie de capas permables (arenas) de la cuenca terciaria confinadas por otras de naturaleza arcillosa.

Estas características, junto con los parámetros que se relacionan a continuación, dan idea de las condiciones defavorables que presenta el terreno para practicar el drenaje:

	T	S	k
Acuífero libre	1 - 20 m ² /día	10 ⁻² - 10 ⁻³	3,9x10 ⁻⁶ - 7,7x10 ⁻⁵ cm/sg
Acuífero confinado	1 - 5 m ² /día	10 ⁻³ - 10 ⁻⁵	3,9x10 ⁻⁶ - 1,9x10 ⁻⁵ cm/sg
Acuífero multicapa	15 - 20 m ² /día	5 x 10 ⁻³	5,8x10 ⁻⁵ - 7,7x10 ⁻⁵ cm/sg

Estos parámetros condicionan el dimensionamiento de la red de drenaje subterráneo, que se ajusta al modelo:

- Acuífero libre: pozos con equidistancia de 150 m y profundidades hasta alcanzar la cota de pie de talud.
- Acuífero confinado: pozos cada 400 metros, captando, al menos, 80 - 100 m del sustrato paleozoico.
- Acuífero multicapa: pozos cada 400 m, captando la totalidad de la serie terciaria.

Por último, en cuanto a la calidad del agua, si de por sí la acidificación es importante en las explotaciones mineras, aquí es todavía mayor, dado que es una explotación a cielo abierto con un clima extremadamente lluvioso.

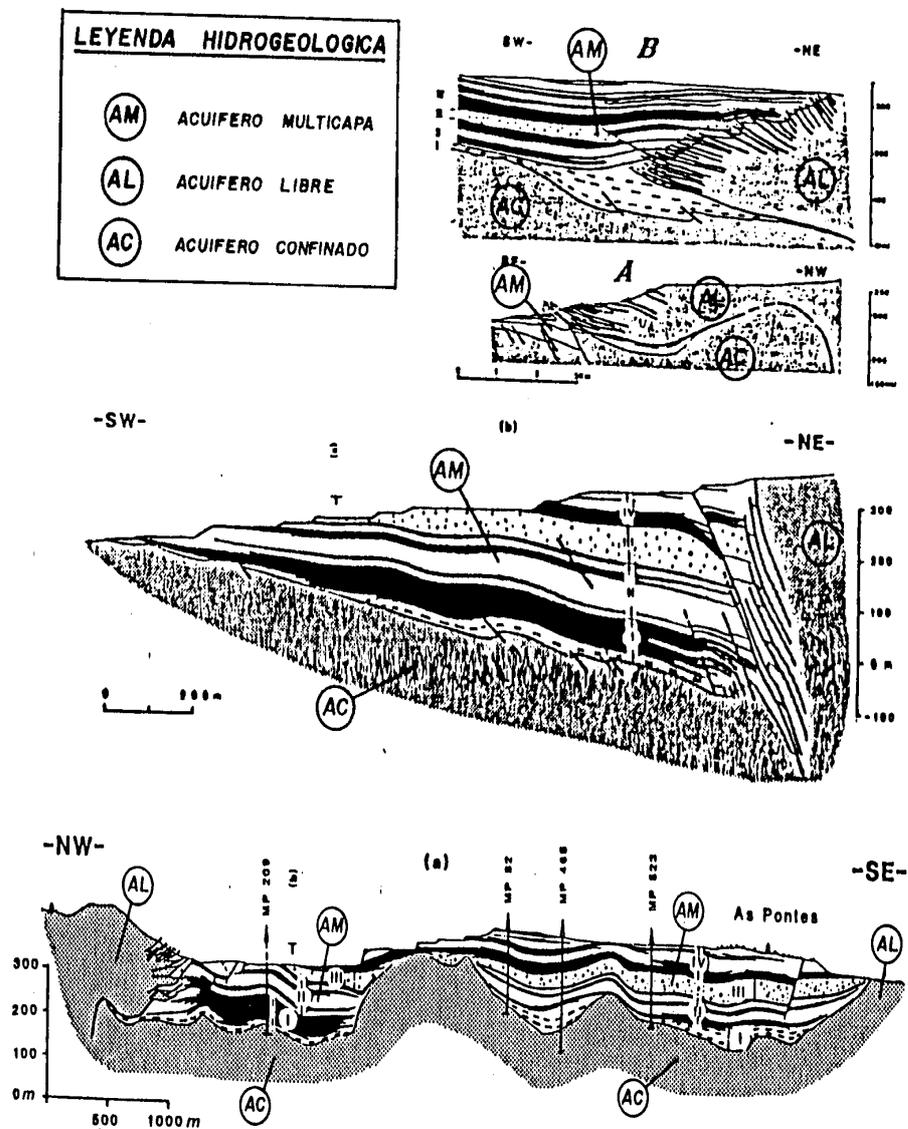


Fig. 4.6.- Esquema geológico de la Cuenca Terciaria de As Pontes (Bacelar, 1988)

El fenómeno de la acidificación se produce cada vez que, de forma natural o antrópica, los materiales sulfurosos son expuestos a la acción del oxígeno, tanto atmosférico como disuelto en agua. Estos materiales, generalmente en forma de **pirita**, se oxidan mediante

mecanismos químicos y biológicos hasta formar **sulfatos** que, en contacto con el agua, pueden dar lugar a **ácido sulfúrico** libre.

A parte del problema de la acidificación, estas aguas suelen llevar gran cantidad de sólidos en suspensión, por lo que las aguas de drenaje de la mina son sometidas a procesos de depuración.

OBSERVACIÓN: la información acerca de la mina *As Pontes* procede de un trabajo inédito cedido por el personal de hidrogeología de la propia mina y titulado “*El agua y las explotaciones a cielo abierto. Tecnología aplicada para el desarrollo de la mina de As Pontes de García Rodríguez (La Coruña)*”

4. Terciario Detrítico Central del Duero-Arenales (Unidad Hidrogeológica 02.17)

Dentro de la Unidad Hidrogeológica 02.17, se han obtenido muestras de 5 pozos, todos ellos pertenecientes a la denominada *Unidad Arenales (U.H. 02-017)*, en la comarca de **La Moraña** (figura 4.7):

- TT-12 - *Cantalapiedra (Salamanca)*
- MM - *Moraleja de Maracabras (Ávila)*
- MZ - *San Esteban de Zapardiel (Ávila)*
- H - *Horcajo de las Torres (Ávila)*
- F - *Fontiveros (Ávila)*

En el Acuífero Detrítico Central del Duero predominan materiales y facies de edad *miocena*, representados por una alternancia rítmica de depósitos arenosos fluviolacustres (**niveles acuíferos**) y arcillas arenosas y limos, que actúan como **acuitardos**. La permeabilidad es por porosidad intersticial.

Desde el punto de vista estructural, presenta una disposición prácticamente horizontal, que responde a una dirección de aportes generalizada desde el S al N, aunque es posible que en algunos sectores existan interrupciones e, incluso, inversiones en las direcciones de

aporte, de carácter local, debido a la reactivación de la tectónica durante las fases tardías (Rolandi et al., 1987).

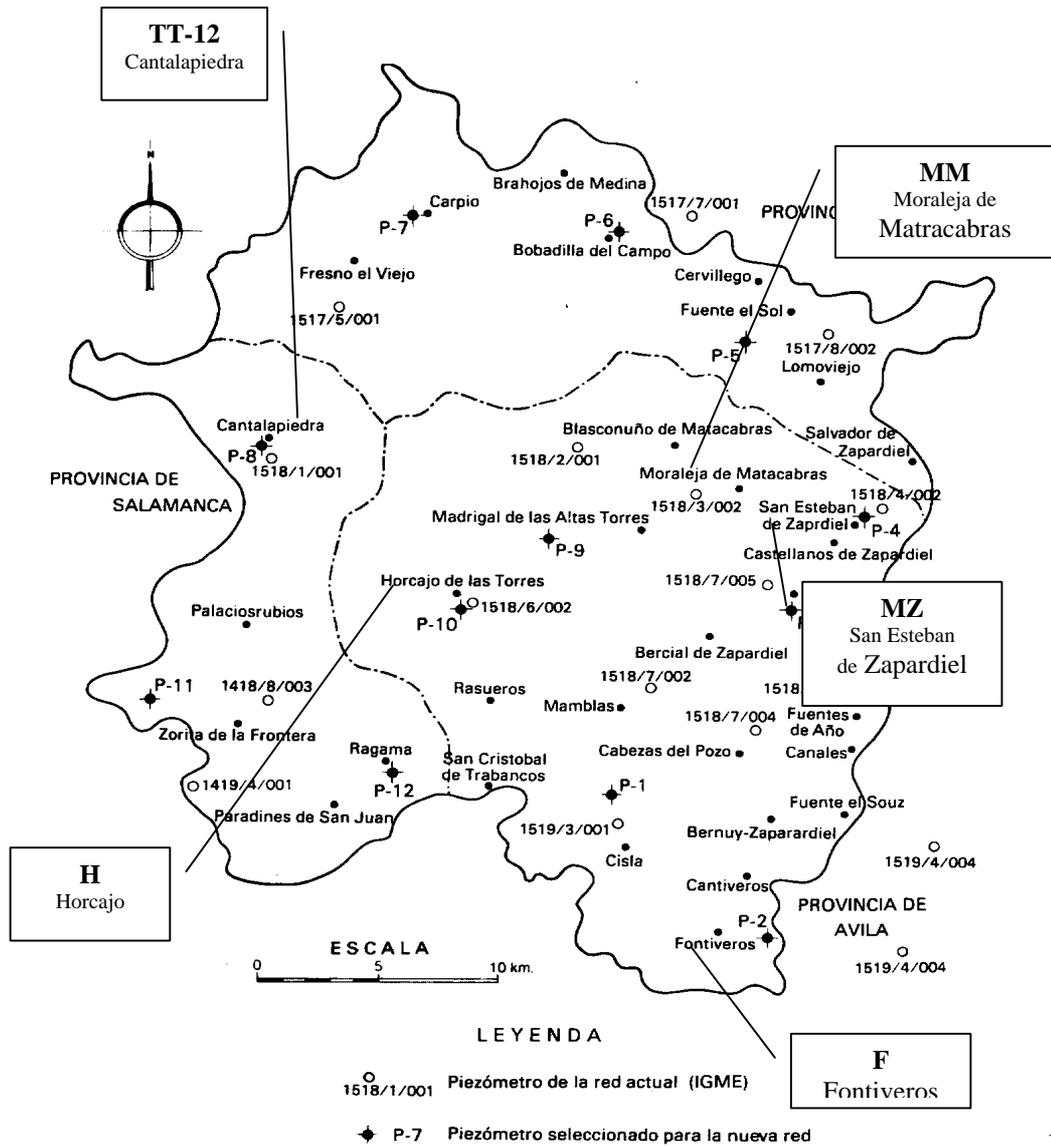


Fig. 4.7.- Emplazamiento de los principales pozos de la comarca de *La Moraña* (Rolandi et al., 1989)

La *Junta de Castilla y León (1986)* realizó una campaña geofísica de la que se pueden desprender las siguientes conclusiones:

1. El conjunto del acuífero no parece responder a un esquema estructural y de funcionamiento hidrogeológico homogéneo, sino que, por el contrario, presenta una cierta heterogeneidad definida por la existencia de discontinuidades litológicas.
2. Las mencionadas discontinuidades responderán, muy probablemente, a un reflejo de la tectónica de fondo, cuyas fracturas han podido reactivarse en las fases tardías ya mencionadas, como lo confirman, además, algunos aspectos morfológicos de la zona: cambios bruscos de pendiente, rectitud en el trazado de los cauces actuales, capturas fluviales, asimetría en los niveles de terrazas, etc.
3. Parecen distinguirse, dentro de *La Moraña*, al menos seis zonas con funcionamientos hidrogeológicos distintos, al ser diferentes sus disposiciones litológicas y sus principales parámetros hidráulicos: **transmisividad y coeficiente de almacenamiento**.
4. Como consecuencia de lo anterior, el comportamiento hidrogeológico de cada una de las zonas podría ser diferente y, por consiguiente, sus descensos piezométricos y su relación *depresiones piezométricas/volúmenes extraídos*.

Desde el punto de vista hidrogeológico, el conjunto del acuífero funciona como un sistema multicapa, con tramos y niveles libres y semiconfinados, en carga y superpuestos (figura 4.8), en el que prácticamente todos los niveles están interconectados a través de los acuitardos intermedios (*Rolandi et al., 1987; García-Berrio et al., 1987*).

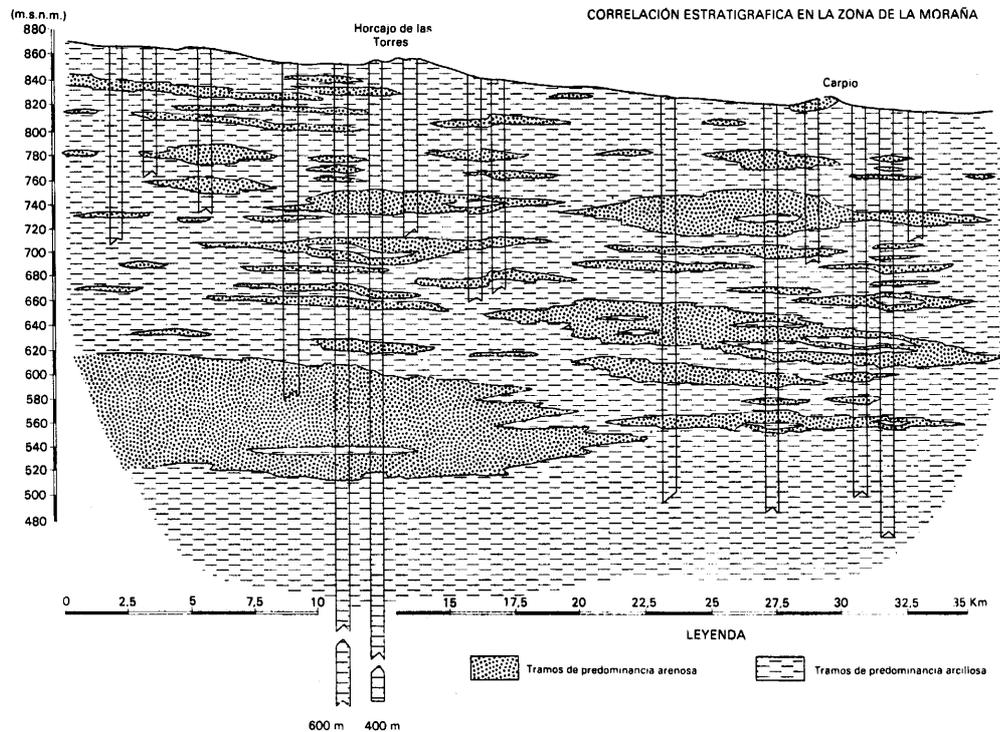


Fig. 4.8.- Esquema hidrogeológico de la zona de *La Moraña*
(Rolandi et al., 1989)

La recarga del acuífero se produce, fundamentalmente, por infiltración directa del agua de lluvia caída sobre los tramos libres superficiales, por infiltración del agua utilizada en agricultura ("retorno por regadíos"), por infiltración de escorrentías superficiales y por infiltración subterránea de largo recorrido procedente del borde impermeable del Sistema Central.

Por su parte, el flujo de circulación subterránea es tridimensional y se produce según tres direcciones predominantes:

1. Vertical descendente: procedente de todas las infiltraciones mencionadas y por goteo lento desde un nivel acuífero hasta el inmediato inferior.

2. Horizontal: a través de planos horizontales de un mismo nivel acuífero. Fundamentalmente en dirección SE-NO, salvo casos puntuales de inversión de flujo por afecciones de bombeos o barreras impermeables.
3. Vertical ascendente: producidos, fundamentalmente, por bombeos para usos agrícolas.

Por último, la descarga del acuífero se produce durante los meses de extracciones, fundamentalmente en sentido **vertical ascendente**, debido a los bombeos destinados a las explotaciones agrícolas que, en la zona, superan los 2.000 pozos y sondeos, con profundidades que oscilan entre los 75 y los 260 m. También una parte de la descarga se produce según un flujo lateral de fondo hacia el Duero (descarga muy profunda durante los meses de extracción y la totalidad durante el resto del año), que actúa como colector natural de todos los flujos de la cuenca hidrográfica (*García-Berrio et al., 1987*).

Los descensos piezométricos detectados son del orden de 0,5 a 2 m por año como valor medio para toda *La Moraña*, aunque en algunos sectores son mayores. Estos descensos progresivos han supuesto ya un descenso total de niveles de hasta 30 m con respecto a los registrados hace 30 años (*Rolandi et al., 1987*). En la figura 4.9 se muestra un gráfico de *isopiezas* del verano de 1987.

Las causas de estos descensos de la piezometría son, fundamentalmente:

- Excesivo crecimiento del número de pozos para explotaciones agrícolas.
- Incremento notable del volumen de agua extraído del acuífero.
- Reducción de la recarga del acuífero por descenso de las precipitaciones.

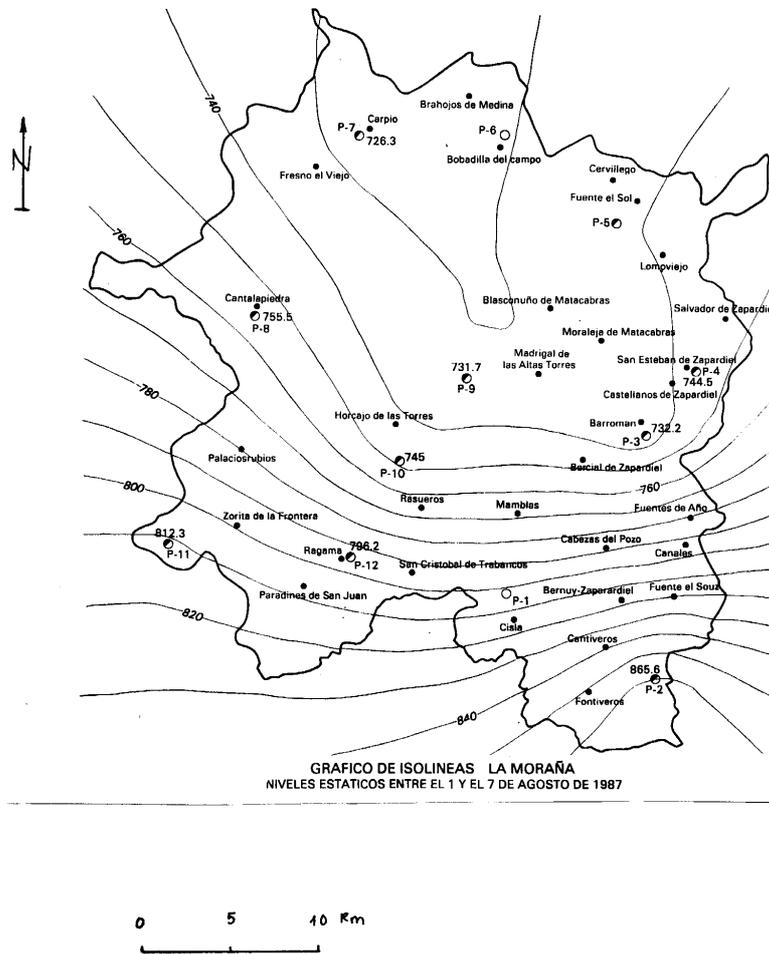


Fig. 4.9.- Gráfico de isopiezas de *La Moraña*, correspondiente a la primera semana de agosto de 1987 (Rolandi *et al.*, 1989)

Las principales consecuencias producidas por estos descensos piezométricos son:

- Afecciones a mananciales, cursos fluviales, zonas húmedas y lagunas o "labajos", que prácticamente han desaparecido durante la mayor parte del año.

- Reperforación de un buen número de sondeos.
- Sustitución de los equipos de bombeo por otros más potentes.
- Salinización progresiva de las aguas debido a:
 - Aumento de la cantidad de sales disueltas al ser mayores las profundidades de las captaciones.
 - Aumento artificial de la contaminación por lixiviación de fertilizantes, pesticidas y herbicidas.
 - Conversión de los pozos antiguos de escasa profundidad, actualmente secos y abandonados, en focos de contaminación del acuífero.

Todo ello trae consigo consecuencias de repercusión socioeconómica importante, como son:

- Incremento de los costes de explotación
- Necesidad de mayores superficies de riego para poder rentabilizar el aumento de costes de amortización de las nuevas instalaciones y, por consiguiente, de mayores volúmenes de extracción.
- Abandono de algunas explotaciones por falta de rentabilidad.

Todas estas modificaciones en las características del acuífero (*García Berrío et al., 1987; Rolandi et al., 1987; Rolandi et al., 1989*) pueden influir en el mantenimiento a largo plazo de las captaciones, razón por la cual hemos creído interesante comentarlas brevemente.

5. Acuífero La Mancha Occidental (*Unidad Hidrogeológica 04.04*)

Del Acuífero de La Mancha Occidental (*Caliza de los Páramos y Mioceno Detrítico de la Llanura Manchega*) únicamente se han obtenido muestras de algunos pozos del P.N. "Las Tablas de Daimiel". Estas muestras son:

- TT-1 - Pozo *La Viña*
- TT-2 - *El Embarcadero*
- TT-4 - *El Embarcadero* (piezómetro)
- TT-5 - *Laguna Permanente*

Este acuífero, por su extensión y reservas, por su relación con los sistemas adyacentes, por los problemas de explotación intensiva con afección de los cursos de agua superficiales y de las zonas húmedas, por la incidencia de las actividades humanas en la calidad del agua, etc., constituye no sólo el acuífero más importante de la cuenca alta del Guadiana, sino también un compendio de situaciones hidrogeológicas con notable repercusión en el desarrollo regional y en el mantenimiento de zonas ecológicas de interés nacional (*I.T.G.E., 1989*).

El sistema acuífero se desarrolló en una depresión del zócalo paleozoico (pizarras y cuarcitas) sobre el que se han depositado materiales mesozoicos y terciarios detríticos. Las **calizas y dolomías** mesozoicas (Jurásico-Cretácico) están más desarrolladas hacia el Este, en tanto que las **gravas y areniscas** de la misma edad están más desarrolladas hacia el Oeste; los materiales triásicos están representados por **yesos y arcillas**. Los materiales terciarios y cuaternarios son detríticos, de finos a gruesos, yesos y calizas a veces algo margosas. Ocasionalmente aparecen formaciones tipo *raña* y, al Oeste, rocas volcánicas.

En el sistema se consideran dos acuíferos superpuestos (figura 4.10). El **superior**, de 5.000 km², se desarrolla esencialmente en las calizas terciarias, cuya potencia media es de 35 m y en los niveles detríticos pliocuaternarios y materiales volcánicos. La base está formada por niveles margoarenosos con yesos, de espesor variable, bajo los cuales se localizan niveles de conglomerados de matriz arenosa dispersos en fosas aisladas. Este acuífero, relacionado directamente con *Las Tablas de Daimiel* y el nacimiento del Guadiana, se comporta como acuífero libre, muy heterogéneo, con transmisividades que variaban originalmente, antes de la explotación del acuífero, entre 50 y 20.000 m²/día y coeficientes de almacenamiento comprendidos entre 0,001 y 0,0001.

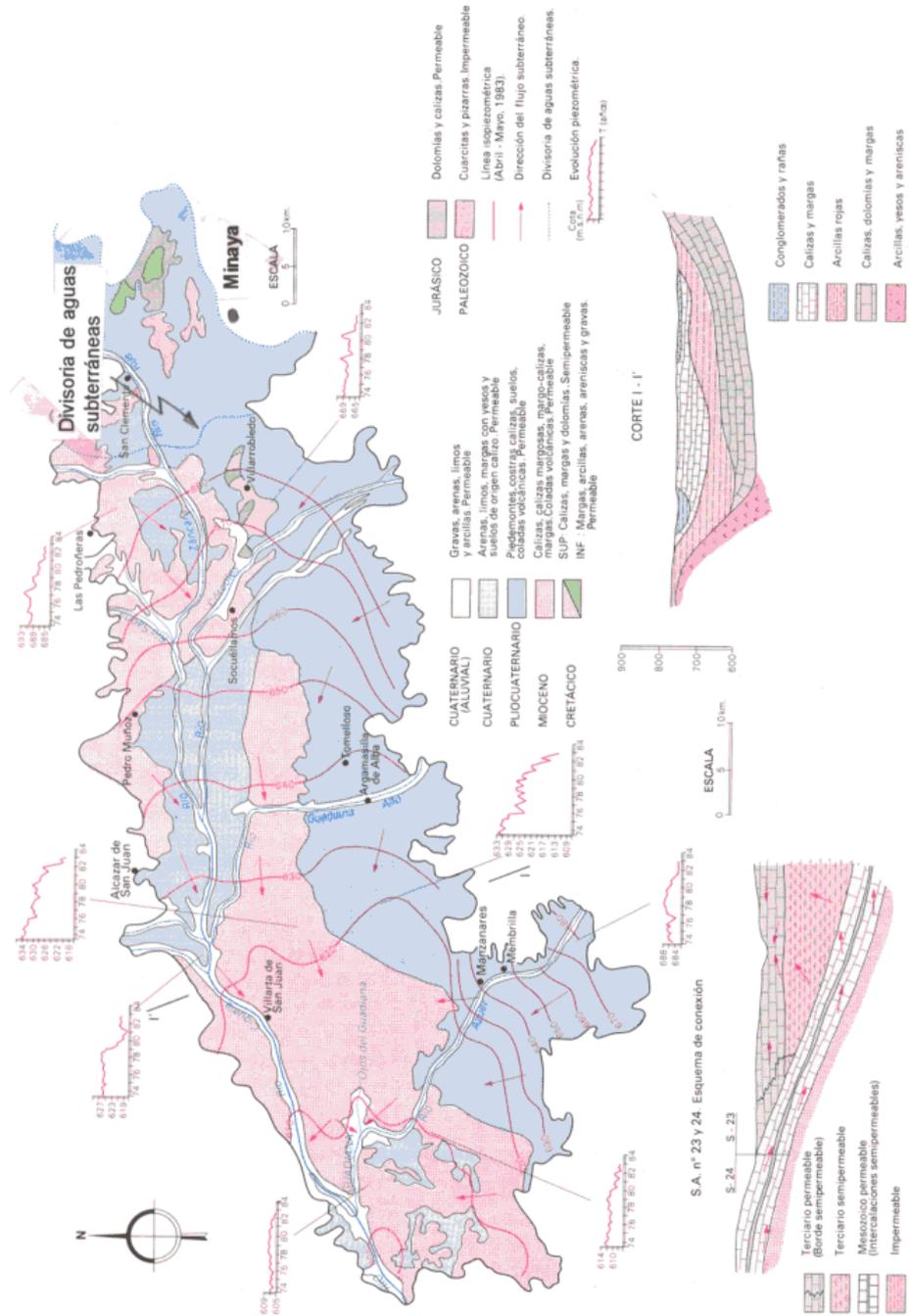


Fig. 4.10.- Litología, estructura y funcionamiento hidráulico de la U.H. 04.04 (I.T.G.E., 1989)

El acuífero **inferior** está formado, a su vez, por tres niveles que funcionan en régimen de confinamiento o semiconfinamiento. Se desarrolla en materiales calcáreos jurásicos y cretácicos (140 - 180 m en conjunto), cuya potencia disminuye de Este a Oeste, llegando a desaparecer. Los materiales detríticos intercalados entre este acuífero y el superior actúan como semipermeables que los conectan.

La recarga del acuífero superior tiene lugar a través de la infiltración del agua de lluvia, las pérdidas de los ríos que circulan por su superficie y el retorno del agua de riego. La conexión hidráulica a través del acuífero que lo separa del inferior permite la recarga recíproca de ambos.

La circulación de agua en el acuífero tiene un sentido general hacia el Oeste (ver figura 4.10) con descargas localizadas que dan origen al Guadiana y, en *Las Tablas de Daimiel*, donde los aportes de aguas subterráneas deberían contribuir al mantenimiento de los niveles durante el estíaje, equilibrando, en parte, la acusada evaporación estival.

El equilibrio dinámico entre la escorrentía superficial acumulada en pequeñas depresiones del terreno y las aportaciones subterráneas da lugar a la existencia de un importante número de lagunas (sólo unas 50 tienen importancia por su extensión) que constituyen la denominada *Mancha Húmeda*, de interés ecológico excepcional y de gran importancia en el balance de las salidas del sistema.

El acuífero inferior puede considerarse como una prolongación de los sistemas adyacentes (*Sierra de Altomira y Campos de Montiel*), a través de los cuales recibe alimentación lateral (unos 4 hm³/año del primero y unos 50 hm³/año del segundo - *I.T.G.E., 1989*).

La explotación, tanto para regadío como para abastecimiento urbano, se realiza mediante sondeos, que explotan en un 80% el acuífero superior, en un 10% el inferior y en otro 10% ambos a la vez.

La importancia de las aguas subterráneas en esta región se deduce del hecho de que, aproximadamente, el 90% de la población se encuentra abastecida por este recurso. Como consecuencia de la intensa explotación a la que se somete el acuífero, existe una tendencia generalizada al descenso de niveles.

Esta región ha pasado de tener una superficie regada con agua subterránea de unas 30.000 ha en 1974 a un máximo registrado de 133.000 ha en 1989. A partir de este año comienza una reducción de la superficie regada que alcanza un mínimo de 116.691 ha en 1993 (*Esnaola et al., 1995*). De todas maneras, a pesar de las cifras oficiales, parece ser que la realidad es que son más las hectáreas de regadío en la actualidad, difícilmente precisables por la Administración, pudiéndose llegar a las 150.000 ha (*Ruiz, 1993*).

La recarga media estimada oficialmente es del orden de 200-300 hm³/año. La explotación del agua subterránea alcanzó un máximo de unos 600 hm³ en 1988, que, al parecer, se redujo a unos 300 hm³ en 1993 (*Esnaola et al., 1995*). Este bombeo intensivo llega a suponer un consumo de aguas subterráneas no renovables del orden de 4.000 hm³ acumulados hasta 1995 (*Ruiz, 1995*).

Ya en 1980, debido a estas extracciones de agua subterránea, tanto las surgencias de *Las Tablas de Daimiel*, como *Los Ojos del Guadiana*, que en régimen natural aportaban un caudal de agua subterránea de unos 120 hm³/año en conjunto, se quedaron prácticamente secos. Por estas fechas otros muchos humedales de la Llanura Manchega comienzan a desaparecer (*García-Rodríguez, 1996*).

En febrero de 1987, el acuífero de La Mancha fue declarado **sobreexplotado**. Desde esa fecha hasta la actualidad, el perímetro de sobreexplotación ha tenido numerosas modificaciones, estando la última de ellas (1995) recurrida ante los tribunales por algunos agricultores (*García-Rodríguez, 1996*).

La repercusión de estos descensos, cifrados en una media del orden de 1 m/año (*Martínez-Alfaro, comunicación personal*), en la pervivencia del P.N. de *Las Tablas de Daimiel*, en el desplazamiento de los *Ojos del Guadiana* y en la economía de la región, ha sido cuantificada con diferente grado de dramatismo por diferentes métodos, incluidos los modelos matemáticos, coincidiendo todos ellos en la gravedad de la situación.

Igual control se hace preciso en el campo de la calidad del agua que, al menos en zonas concretas, puede convertirse en **factor limitante** de los recursos disponibles como consecuencia de su empeoramiento por efecto de la contaminación. Esta se centra en:

- Reciclado de fertilizantes y pesticidas de uso agrícola.
- Inyección de residuos líquidos procedentes de la destilación del alcohol.
- Almazaras e industrias lácteas.
- Residuos líquidos urbanos y residuos sólidos urbanos.
- En el caso de sondeos profundos, la interconexión de acuíferos de diferente calidad.

La calidad del agua es, en general, muy heterogénea, en respuesta a la lógica heterogeneidad propia del acuífero. Son abundantes las aguas con contenido en sales, predominando las aguas con mineralización apreciable a fuerte. Predominan las facies bicarbonatada y sulfatada cálcico-magnésica, con valores extremos de residuo seco, entre 180 y 6.200 mg/L, valores de dureza entre 15 y 85° F y concentraciones muy variables de los iones individuales, entre las que hay que destacar las de nitratos, que suele oscilar entre 40 y 50 mg/L pero puede llegar a alcanzar valores de 400 mg/L.

Las aguas del tramo calcáreo superior presentan calidad variable, dependiendo de la existencia o inexistencia de margas calcáreas con yesos. En conjunto las aguas son de calidad aceptable excepto en la zona marginal influenciada por los ríos *Cigüela* y *Záncara*, donde

localmente pueden no ser aptas para el abastecimiento y presentar limitaciones de uso para el regadío.

En el acuífero inferior (“calizas y dolomías jurásico-cretácicas”), las aguas son, por lo común, aptas para el abastecimiento y regadío, incluso en las zonas en que no lo son las del acuífero superior (I.T.G.E., 1989).



Fig. 4.11.- Situación de los acuíferos de la Llanura Manchega. Los números 23 y 18 son las actuales unidades 04.04 y 08.29 respectivamente (I.T.G.E., 1989)

6. Acuífero de La Mancha Oriental (Unidad Hidrogeológica 08.29)

La Unidad Hidrogeológica 08.29, denominada *mesozoico del Flanco Occidental de la Ibérica* se extiende por las provincias de Guadalajara, Cuenca, Albacete, Murcia y Valencia. Comprende parte de las cuencas del Tajo (3.260 km²), Júcar (11.850 km²), Guadiana (700 km²) y Segura (1.330 km²). En este Sistema existen dos grandes unidades de funcionamiento, que son las denominadas unidades de la *Cuenca del Tajo* y de la *Cuenca del Júcar* (figura 4.11).

En la *Cuenca del Tajo* se diferencian varias subunidades de funcionamiento similar: *Montes Universales/Zaorejas, Priego/Cifuentes, Cortes de Tajuña, Abánades, Algora/La Cabrera/Aragosa, Los Llanos/El Chaparral y Cerro de Agallón*. En la *Cuenca del Júcar* el sistema está representado por la zona denominada **Mancha Oriental** o Unidad Norte, donde se diferencian tres subsistemas: *Subsistema de Albacete, Subsistema Jardín-Lezuza y Subsistema de Cuenca (I.T.G.E., 1989)*.

La única muestra recogida en esta unidad (**TT-6 - Casas de Juan Núñez**) pertenece al **subsistema de Albacete** (figura 4.12).

Este subsistema se localiza en el extremo oriental de la llanura manchega, donde ocupa una extensión de 7.650 km². Al este y Sureste está limitado por una barrera de afloramientos diapíricos de arcillas y yesos impermeables del Triásico y al Oeste y Suroeste por una serie de materiales arcillosos. Al Noroeste se ha tomado como límite convencional la divisoria Júcar-Guadiana y al Norte el paralelo de los embalses de Alarcón y Contreras; ambos límites son abiertos y, a través de ellos, recibe una alimentación cifrada en 80 hm³/año.

Hidrogeológicamente constituye una unidad compleja, formada por la superposición de varios acuíferos (figura 4.12):

- Jurásico: 250 -350 m de calizas y dolomías.
- Cretácico: 50 - 150 m de dolomías y calizas.
- Mioceno: 125 m de calizas lacustres.

El primero se encuentra confinado debido al carácter impermeable de las formaciones suprayacentes; la transmisividad, originalmente, estaba comprendida entre 2.400 y 12.000 m²/día, pudiendo alcanzar, localmente, los 48.000 m²/día. El segundo se encuentra confinado en su mayor parte y presenta características hidráulicas similares al anterior. El acuífero mioceno constituye, junto con el jurásico, el acuífero más importante de la región (75% de las captaciones existentes); es un acuífero libre con transmisividades

originales entre 1.200 y 7.200 m²/día, pudiendo llegar, en ocasiones a los 24.000 m²/día.

La recarga se produce por infiltración del agua de lluvia y de los ríos Jardín, Quéjola, Lezuza y Cañada del Quintanar, que penetran por el sudoeste y desaparecen, tras un corto recorrido, por entradas laterales a través de los límites Norte y Noroeste y por retorno de los regadíos.

La descarga se realiza hacia los ríos Júcar y Cabriel por manantiales y por bombes. La circulación general (figura 4.12) se produce fundamentalmente hacia el río Júcar, eje principal del drenaje.

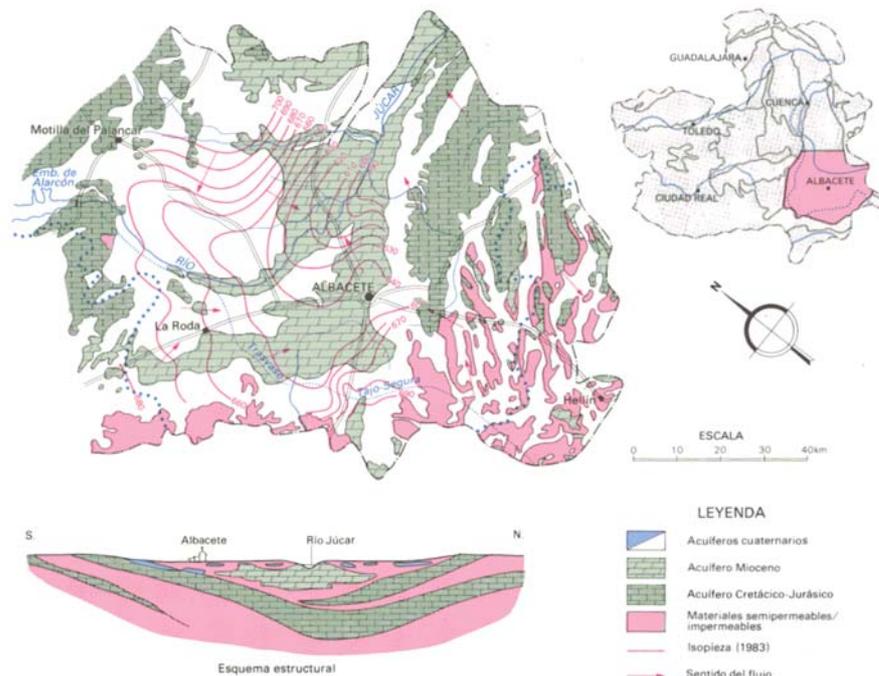


Fig. 4.12.- Esquema de funcionamiento de la Unidad de Albacete (I.T.G.E., 1989)

La explotación de las aguas subterráneas se reparte entre el regadío de unas 44.000 ha, abastecimiento de 227.000 habitantes y usos industriales. En determinadas zonas se concentran explotaciones intensivas que motivan importantes descensos en los niveles piezométricos durante las épocas de riego, acumulativos en el tiempo y, por tanto, no recuperables.

En cuanto a la calidad de las aguas, cabe citar que los acuíferos principales presentan características hidroquímicas similares, particularmente en la zona de los llanos de Albacete y sectores circundantes. Las aguas son, predominantemente bicarbonatadas cálcico-magnésicas, aunque puntualmente presentan facies sulfatadas y residuo seco de hasta 1.500 mg/L al Este de la provincia de Albacete.

Comparando la calidad de las aguas de los diferentes acuíferos puede decirse que, aunque en general las diferencias son poco notables, la mejor corresponde al acuífero cretácico. La peor calidad es la de las aguas del acuífero jurásico en el sector meridional del sistema, donde la concentración de sulfatos y la dureza reducen las posibilidades de utilización del agua.

Debido al uso continuado de aguas medianamente salinas para el riego, se está produciendo una contaminación apreciable por salinización del terreno en amplias zonas de la llanura de Albacete, en áreas del Norte y Este de la provincia. En estas mismas zonas y, particularmente, en la zona Norte, se observa un aumento del contenido en nitratos proveniente del uso masivo de fertilizantes químicos (*I.T.G.E., 1989*).

7. Acuífero Plana de Valencia-N (*Unidad Hidrogeológica 08.25*)

De este sistema, considerado como el más importante de la Comunidad Valenciana, tanto por volumen, como por su utilización y papel ecológico (*I.T.G.E., 1989*), disponemos de dos muestras, ambas en *El Puig (Valencia)*:

- CC-1 - Cruzcampo nº 1
- CC-3 - Cruzcampo nº 3

Está compuesto por una serie de niveles detríticos areniscosos y calcáreos intercalados en niveles más arcillosos, formando un conjunto complejo en detalle. Los niveles conectados hidráulicamente se agrupan en dos conjuntos principales: **el superior**, integrado por materiales detríticos cuaternarios (gravas, arenas, limos y arcillas) y calizas (*miocenas*) y **el inferior**, constituido por materiales de naturaleza calcarenítica, areniscosa y de calizas bioclásticas, entre las que se intercalan paquetes de margas de potencia reducida (figura 4.13). Este conjunto, de origen fluvial, descansa sobre terrenos de naturaleza diversa, en gran parte arcillosa y margosa y, todo ello, sobre un zócalo plegado más antiguo.

El agua subterránea se encuentra prácticamente bajo toda la superficie de la Plana, a profundidades variables (entre 40 y 70 m en el borde occidental y hasta 0 m en la costa). Los caudales obtenidos en pozos y sondeos llegan a ser de suficiente importancia como para ser utilizados por comunidades de regantes.

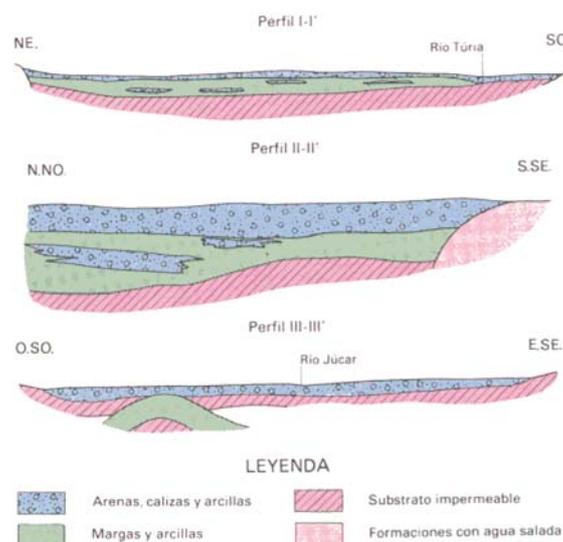


Fig. 4.13.- Secciones esquemáticas del Acuífero de la Plana de Valencia
(I.T.G.E., 1989)

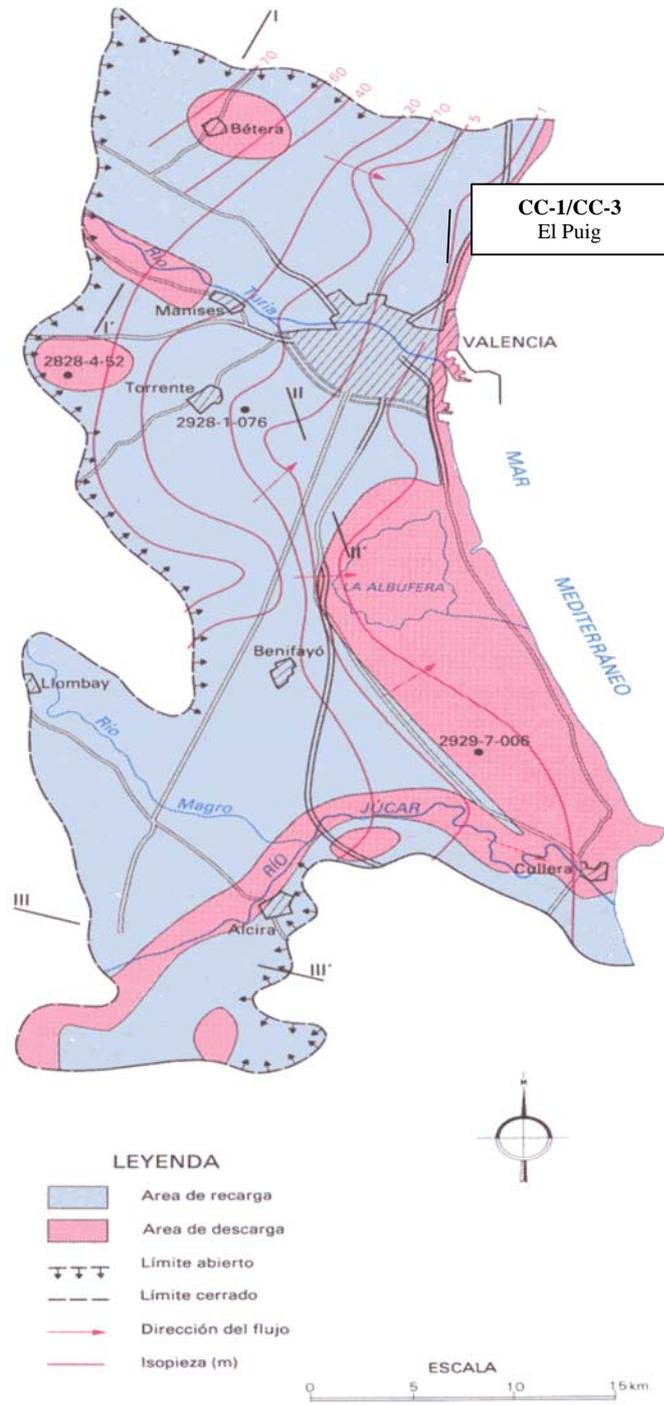


Fig. 4.14.- Funcionamiento hidráulico de la Plana de Valencia (I.T.G.E., 1989)

La circulación del agua se realiza preferentemente hacia el mar (figura 4.14), en sentido NO-SE en el Norte y O-E y SO-NO en el centro y Sur, respectivamente.

La recarga del acuífero es del orden de 770 hm³/año, de los cuales más de 400 hm³/año corresponden a infiltración procedente de los riegos; el resto procede de acuíferos colindantes (*Valle de Albaida, Caroché, Turia Medio y Espadán-Plana de Castellón*), unos 200 hm³/año. El resto (170 hm³/año) procede del agua de lluvia.

La descarga es difícilmente cuantificable, debido a la existencia de canales de riego que actúan como drenes del acuífero y, en los meses de escaso regadío, se encuentran cubiertos debido al represamiento de La Albufera para servir de estación a las aves migratorias.

En cuanto a su relación con los ríos, el Júcar es alimentado por el acuífero en todo su recorrido por la Plana. El Turia presenta una situación parecida, aunque desde las proximidades de Manises hasta la desembocadura, el río alimenta al acuífero en algunas épocas. Una pequeña cantidad de agua (unos 40 hm³/año) se vierten subterráneamente al mar.

El agua bombeada se destina a los siguientes usos:

- Abastecimiento urbano-industrial de unas 35 localidades, con una población total superior a los 400.000 habitantes, incluido el abastecimiento parcial a la ciudad de Valencia.
- Abastecimiento a unas 50 industrias.
- Regadío de 26.000 ha.

Químicamente, las aguas presentan facies bicarbonatada o sulfatada cálcico-magnésica. La calidad empeora de Oeste a Este, degradándose en el sentido del flujo subterráneo. En las zonas de recarga por retorno de riegos con las aguas de los ríos Turia y Júcar la calidad mejora excepto en los contenidos de sulfato y nitrato, que

aumentan, a veces incluso por encima de lo establecido por el RTS en el caso del nitrato. Por su parte, la industria, también colabora en el empeoramiento de la calidad de las aguas por aporte de metales pesados (arsénico, cadmio, cromo y plomo, fundamentalmente).

Los niveles más profundos del acuífero multicapa presentan agua con una calidad superior, debido a la estratificación de la contaminación agrícola y la existencia de niveles impermeables que impiden la degradación de la calidad en niveles inferiores (I.T.G.E. 1989).

8. Maestrazgo (*Unidad Hidrogeológica 08.07*)

Ocupa parte de las provincias de Castellón, Teruel y Tarragona, a caballo entre las cuencas del Júcar y del Ebro. Está constituido por varios subsistemas: *Maestrazgo*, *Javalambre*, *Plana de Vinaroz-Peñíscola* y *Plana de Oropesa-Torreblanca* (figura 4.15). La única muestra de este acuífero se sitúa en la **Unidad Maestrazgo (CC-2 - Marza**, en Alcalá de Chisvert).

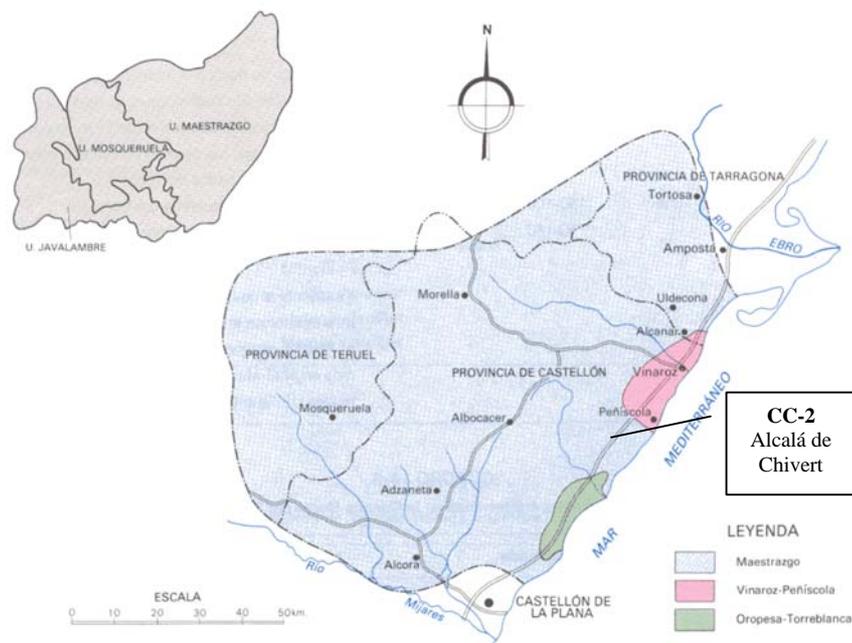


Fig. 4.15.- Esquema de situación de la Unidad Maestrazgo (I.T.G.E., 1989)

La estructura es compleja, formada por una acumulación de acuíferos calcáreos, en general muy potentes. En ocasiones los tramos más permeables están independizados por niveles de areniscas, margas, margas con yesos y margocalizas.

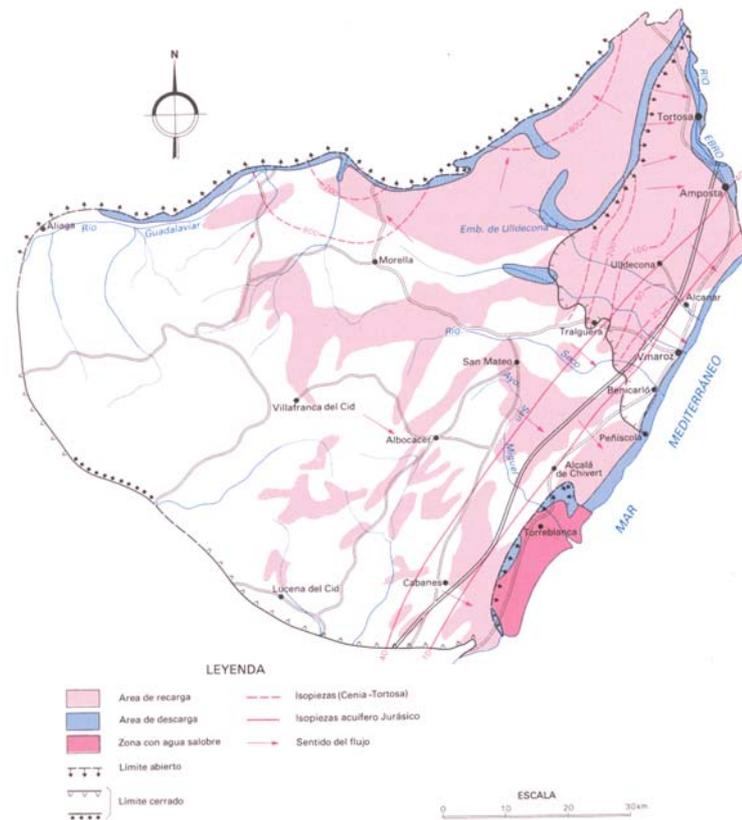


Fig. 4.16.- Esquema de funcionamiento de la Unidad Maestrazgo (I.T.G.E., 1989)

En el Maestrazgo se distinguen dos zonas denominadas **Alto y Bajo Maestrazgo**, delimitados por la depresión Cabanes-San Mateo, quedando, por tanto Alcalá de Chisvert encuadrado en el **Bajo Maestrazgo** (figura 4.16): alternancia de planas paralelas al litoral con pequeñas sierras entre 600 y 800 m de altitud.

La permeabilidad es alta en casi todos los niveles calizos. El rendimiento de las captaciones está comprendido entre los 5 L/s por metro de depresión y valores a 10 L/s/m en algunos casos. La dirección general del movimiento del agua es NO-SE, condicionada por la posición del Mar Mediterráneo que actúa como nivel de base (*I.T.G.E., 1989*).

9. Campo de Dalías (Unidad Hidrogeológica 06.14)

El Campo de Dalías, al Suroeste de la ciudad de Almería, constituye una llanura costera de 330 km² de superficie, más o menos ondulada, en la que la red hidrográfica tiene escaso desarrollo.

La agricultura constituye, prácticamente, la única actividad, habiendo alcanzado un desarrollo extraordinario, con más de 11.000 ha en regadío dependientes al 100% de las aguas subterráneas. Junto con el desarrollo de la agricultura se ha producido un crecimiento análogo de la población, habiéndose llegado a más de 40.000 habitantes (*I.T.G.E., 1989*).

Geológicamente la zona presenta un zócalo constituido por formaciones de Las Alpujarras ("filitas impermeables"). El acuífero está formado por dolomías permeables muy potentes y depósitos detrítico-carbonatados (calcarenitas) miocenos. El conjunto está fallado, de forma que los bloques más meridionales se encuentran hundidos. Así, las *dolomías de Gádor*, que afloran a 2.250 m en la sierra, están 750 m bajo el nivel del mar en el Campo de Dalías. Por encima existen margas muy potentes y calcarenitas pliocenas y, en último término, materiales continentales y marinos recientes (terrazas, playas, conos de deyección, etc.).

Consecuencia de todo esto es la distinción de diferentes acuíferos: Acuífero Inferior Occidental, Acuífero Superior Central y Sector Noreste. La única muestra de esta zona (**AL- Matagorda**, en El Ejido) se sitúa en la zona correspondiente al Acuífero Superior Central (figura 4.17).

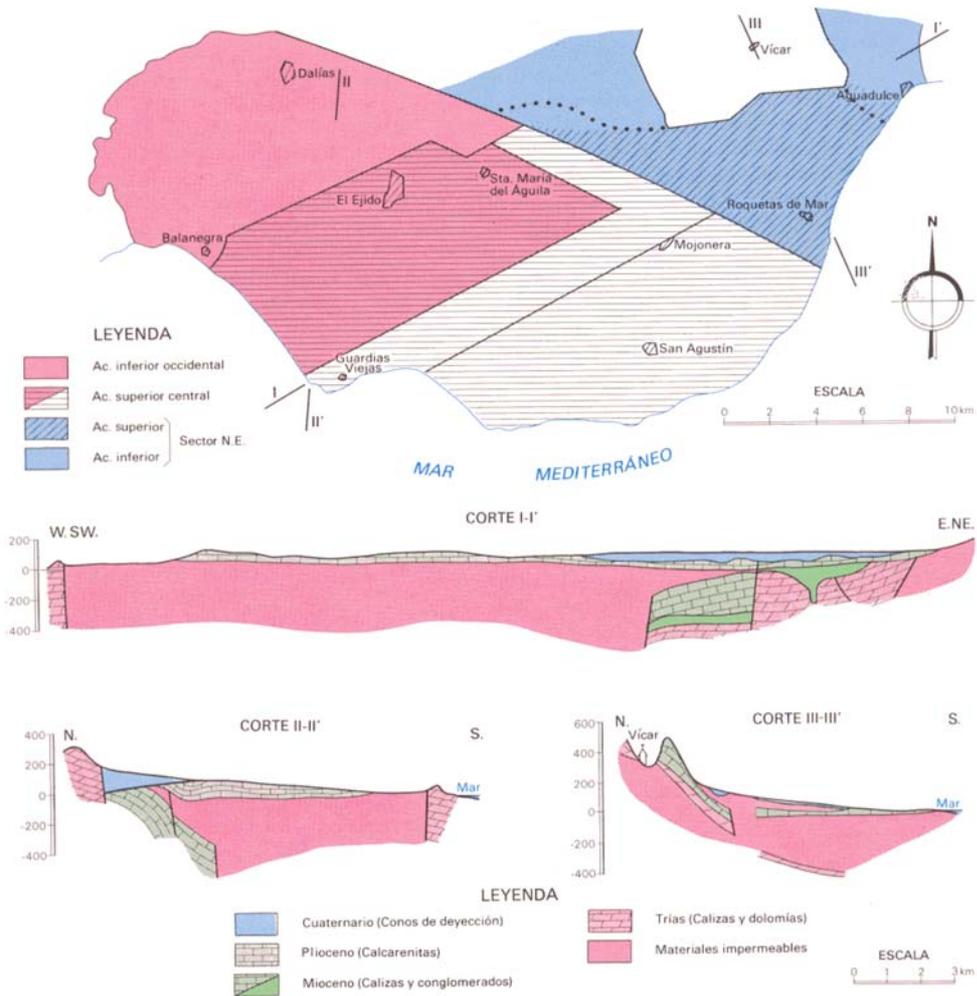


Fig. 4.17.- Sistemas acuíferos y estructura del Campo de Dalías (I.T.G.E., 1989)

Este acuífero está constituido, esencialmente, por las calcarenitas pliocenas, de 0 a unos 100 m de potencia, así como 10-40 m de arenas margosas subyacentes que descansan sobre una potente serie de margas grises, con una superficie total de 225 km².

La transmisividad varía de 600 a 1.200 m²/día en la mitad septentrional a 100-300 m²/día en la meridional. El acuífero se explota mediante unos 600 pozos, la mitad de los cuales están en servicio.

El esquema de flujo es sencillo: se alimenta por infiltración directa o retardada de la lluvia (11 hm³/año de media), por el excedente de riegos (7 hm³/año) y, localmente, por aguas residuales urbanas (2 hm³/año), lo que representa una alimentación de unos 20 hm³/año. Se descarga hacia el Acuífero Occidental, hacia el Acuífero Superior del Sector Noroeste, hacia el mar, por evaporación en algunas zonas litorales y, principalmente, por bombeos (*I.T.G.E., 1989*).

10. Metamórfico del Campo de Calatrava

Distribuidas por toda el área del *Campo de Calatrava* se localizan una serie de puntos de agua, muchos de los cuales, debido a su carácter carbónico, termal o ambos, dieron lugar a la implantación de balnearios, sobre todo durante el siglo pasado. Los puntos "muestreados" se localizan en la zona de contacto entre el borde suroriental del Macizo Ibérico y las cuencas cenozoicas por donde discurren el río Guadiana y sus subsidiarios. Los puntos en concreto son:

- Y-1 - Baños de San Joaquín
- Y-2 - Puertollano
- Y-3 - Villar del Pozo
- Y-4 - El Chorrillo
- Y-5 - Piedra de Hierro
- Y-6 - Sacristanía

Geológicamente, la zona está constituida por:

1. Zócalo paleozoico, formado principalmente por cuarcitas y pizarras en conjuntos o alternancias, junto con areniscas y conglomerados de cantos de cuarcita. El conjunto se encuentra plegado y fracturado siguiendo directrices hercínicas. Los crestones de cuarcita originan relieves residuales.
2. Sedimentos cenozoicos, que forman el relleno sedimentario de una serie de cuencas terciarias de pequeña entidad, más o

menos desconectadas de la cuenca principal, la Llanura Manchega. La sedimentación comienza con depósitos terrígenos (conglomerados, arenas y areniscas) y finaliza con carbonatados (margas, calizas arenosas y costras calcáreas). Hay brechas con cemento ferruginoso abundante fosilizando la superficie de erosión. Por último aparecen terrazas y conos de deyección formados por cantos, arenas y arcillas, así como formaciones superficiales de limos y arcillas en el interior de dolinas y cráteres volcánicos.

3. Rocas volcánicas, resultado de dicha actividad desde el Mioceno hasta el Pleistoceno Inferior. Aparecen lavas y depósitos piroclásticos de caída e hidromagmáticos. Petrológicamente son *melilitas olivínicas*, *nefelinitas olivínicas*, *basaltos* y *basanitas*. Los volcanes más recientes aún conservan parte de su morfología, aunque la mayor parte de los depósitos aparecen interestratificados con sedimentos cenozoicos.

La mayoría de estos puntos de agua se localizan justo en la base de los relieves residuales que originan los materiales paleozoicos, principalmente las cuarcitas, muy próximos al contacto entre el zócalo y los materiales terciarios (figura 4.18). De esta forma, lo más probable es que estas rocas metamórficas constituyan el área de recarga y de circulación (Yélamos *et al.*, 1999).

Químicamente, predomina la facies carbonatada o bicarbonatado-sulfatada. Entre los cationes, están presentes los tres fundamentales, con un ligero predominio del sodio y, en menor medida, del magnesio. Son aguas subterráneas bastante evolucionadas, en las que el aporte de CO₂ de origen volcánico o profundo, debería suponer una gran capacidad de disolución de los minerales silicatados. El alto contenido en magnesio podría indicar un contacto, en su circulación profunda, con rocas volcánicas básicas (Yélamos *et al.*, 1999).

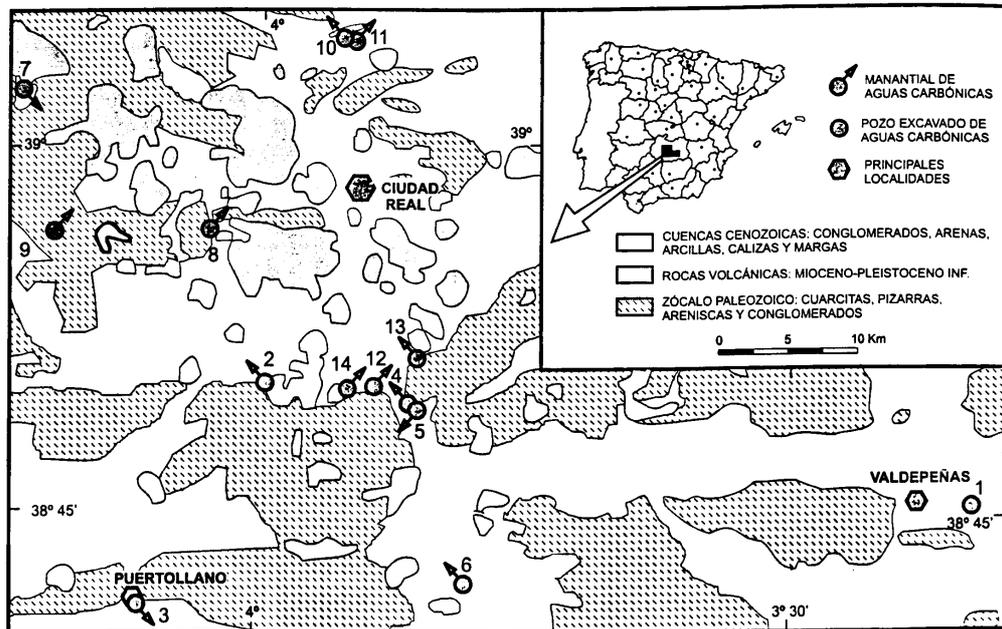


Fig. 4.18.- Mapa geológico simplificado de la zona (Yélamos *et al.*, 1999)

11. Plutónico-Metamórfico de Cataluña

El último grupo de muestras procede, como las anteriores, de fuentes naturales, en este caso de Cataluña, concretamente de la provincia de Gerona. Estas muestras son:

- Y-7 - Font San Narcís (Caldes de Malavella)
- Y-8 - Font La Mina (Calde de Malavella)
- Y-9 - Font Picant Bel-Loc
- Y-10 - Font del Penedés
- Y-11 - Font de La Pólvara
- Y-12 - Sant Gregori
- Y-13 - Coromines
- Y-14 - Font Amer

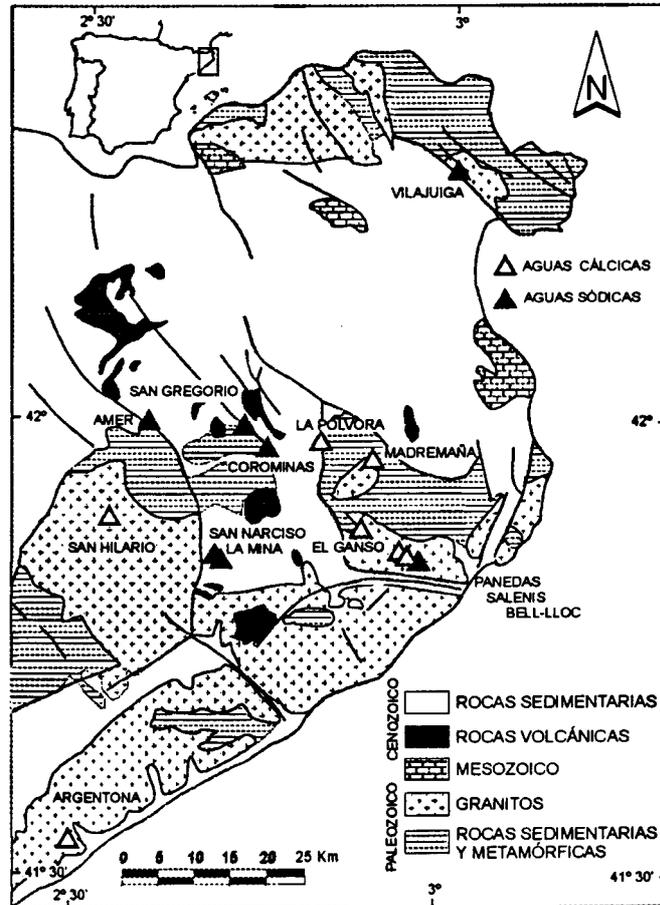


Fig. 4.19.- Mapa geológico simplificado (Redondo y Yélamos, 2000)

Geológicamente, estas fuentes se encuentran en el marco de la Cordillera Costero Catalana y cuencas sedimentarias anexas (figura 4.19). La cordillera está formada por rocas metamórficas de bajo grado (esquistos y pizarras), junto con rocas sedimentarias, todas paleozoicas, intruídas por cuerpos graníticos tardihercínicos. La Orogenia Alpina da lugar a una serie de cubetas rellenas por sedimentos terciarios, fundamentalmente neógenos. En algunos puntos afloran rocas sedimentarias mesozoicas. El Cuaternario está representado por sedimentos aluviales, tapizando parte de las cubetas terciarias. Desde el Mioceno hasta el Cuaternario se originó un vulcanismo basáltico asociado a importantes fracturas de dirección NO-SE.

Químicamente aparecen dos facies, una bicarbonatada cálcica y otra bicarbonatada sódica. Posiblemente la facies cálcica sea de aguas menos evolucionadas, con valores de conductividad por debajo de 2.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que la sódica llega a superar los 6.000. La cálcica, además, se sitúan en el interior de los macizos paleozoicos, en tanto que la sódica se asocia a las fallas de borde e, incluso, en el interior de las cuencas (*Redondo y Yélamos, 2000*).

4.4. ELECCIÓN Y REQUERIMIENTOS DEL PUNTO DE MUESTREO

4.4.1. Condiciones de las muestras

Lo ideal para poder establecer en qué medida la microbiota puede estar influyendo en el desarrollo de incrustaciones en el interior de las captaciones de agua subterránea, es poder elegir el punto del interior del pozo en que se va a tomar la muestra, de tal modo que se obtenga muestra de agua y de la propia incrustación exactamente del mismo punto del sondeo. Además, para poder establecer el contenido microbiológico, la muestra debe tomarse en condiciones estériles y evitando la mezcla con aguas de puntos diferentes.

Al plantearnos estas condiciones de muestreo nos encontramos con una serie de problemas. En primer lugar, para poder elegir el punto de muestreo, es necesario tener una imagen del interior del pozo; en segundo lugar, los tomamuestras convencionales de hidrogeología no son herméticos, con lo que el agua se mezcla en su interior y, al ser de materiales plásticos, no son esterilizables, por lo que no podemos saber con precisión la ubicación en el interior de la captación del contenido microbiológico analizado, ni siquiera si dicho contenido pertenece a la captación o procede del propio tomamuestras.

La solución al primero de estos dos problemas es relativamente sencilla, basta con hacer un registro de vídeo (**R.O.T.V.**, en adelante) de la captación y, en función de la imagen obtenida, elegir el punto de

muestreo en el interior del pozo. El proceso del R.O.T.V. se describe en el siguiente apartado (“4.4.2.- *Registro óptico de vídeo*”). Para ello se contó con la colaboración de la empresa **Tragsatec**, especializada en este tipo de registros, en su sección de Hidrogeología. El problema de este tipo de registros es, por un lado, el precio y, por otro, que es necesario que el pozo esté “sin equipar” (sin bomba ni tuberías de impulsión), razón por la cual este registro no se ha podido hacer en todas las captaciones.

En cuanto al problema del tomamuestras, se decidió diseñar uno específico con las características y prestaciones adecuadas al trabajo que nos ocupa, al no existir ningún modelo comercial que nos permitiera la esterilización a la vez que evitase la mezcla de aguas y permitiera obtener, junto con el agua, muestras de las incrustaciones en las paredes del sondeo en cuestión. El diseño y las características constructivas y de funcionamiento se describen en el apartado 4.4.3.- *Diseño de un aparato tomamuestras específico...*

Resumiendo, las características ideales de cada muestra son:

- Elección del punto de muestreo en función del desarrollo de las incrustaciones en la pared del pozo.
- Obtención, **en la misma muestra**, de agua en recipiente estéril y el “raspado” de la incrustación en la pared del pozo.
- Asegurar la hermeticidad para evitar la mezcla con aguas de otros puntos del pozo.

La recogida de muestras con estas condiciones sólo pudo hacerse en las muestras obtenidas en colaboración con **TRAGSATEC**, mientras que en el resto hubo que ajustarse a métodos más convencionales de toma de muestras. De esta manera se muestrearon los pozos del Acuífero de Madrid y los manantiales de Campo de Calatrava y Cataluña.

- Muestreo en el Acuífero Terciario Detrítico de Madrid: todos los pozos estaban “equipados” y así, para la toma de muestras hubo que ajustarse a métodos convencionales. El

sistema de muestreo se hizo siguiendo el método recomendado por *Borch et al. (1993)*. Proponen como mejor forma de tomar una muestra en pozos equipados utilizar un recipiente estéril y bombear agua suficiente como para renovar el agua "estancada" en el interior. El volumen de agua a bombear deberá ajustarse a un mínimo de cuatro veces el siguiente volumen:

$$V = 0,0408 HD^2, \text{ donde:}$$

V=volumen de agua a bombear

D=diámetro interno de la captación

H=altura de la columna de agua

Con este sistema, no sólo aseguramos la renovación del agua, sino que, además, podemos arrastrar las *vainas, tallos y filamentos* de los microorganismos sésiles, junto con las células de los planctónicos. De todas formas, en estas condiciones siempre tienden a sobrevalorarse las poblaciones planctónicas con respecto a las sésiles (*Madsen y Ghiorse, 1993*).

- Muestreo en manantiales: los manantiales, al no ser una obra abierta en vertical, también presentan dificultades para poder realizar una toma de muestras en condiciones ideales. En este caso nos hemos ajustado a los sistemas de toma de muestras habituales en microbiología (*Díaz et al., 1995*). El sistema consiste en sumergir el recipiente estéril en el agua y abrirlo dentro, de modo que no tenga contacto con la atmósfera. El contenido microbiológico en el recipiente será, íntegramente, del agua del manantial.
- Resto de las muestras: las demás muestras se obtuvieron con ayuda del R.O.T.V. Mediante el registro de vídeo se observan las paredes de la captación, eligiéndose uno o más puntos de

muestreo, en función del desarrollo de las incrustaciones. Acoplado a la cámara de vídeo se instala el "tomamuestras", con capacidad para recoger agua y raspar las paredes del pozo para obtener materia sólida de la incrustación. Una vez situados en el punto elegido, se abre el recipiente del tomamuestras, mediante un mecanismo de electroimán, para que entre el agua y se desplieguen los raspadores. Con el mismo mecanismo de propulsión de la cámara, se le hace oscilar arriba y abajo hasta que entra suficiente cantidad de incrustación en el propio recipiente del agua. Posteriormente, se cierra el recipiente y se eleva el conjunto hasta la superficie. Con esto nos aseguramos que el agua es sólo del punto elegido; que no ha habido contacto del recipiente con el exterior, con lo que el contenido microbiológico será del mismo punto que el agua, y, que junto con la muestra de incrustación, se van a recoger los microorganismos sésiles que la han podido generar.

4.4.2. Registro óptico de vídeo (R.O.T.V.)

Los equipos de vídeo para inspección de sondeos son una herramienta cada día más utilizada para la realización de trabajos en el interior de las captaciones (*Martínez-Rubio, 1994; Martínez-Rubio y Ruano, 1998*). Dichos trabajos pueden consistir en:

- Control de calidad, de tal modo que, en algunos países (Francia o Alemania, por ejemplo), es habitual que se incluya la inspección de vídeo en la recepción de los sondeos de nueva construcción.
- Reconocimiento de sondeos antiguos, en los que se obtiene la imagen de las características constructivas del sondeo, así como del estado actual del mismo.

- Trabajos de rehabilitación/regeneración, para los que es necesaria la imagen del estado del pozo, donde se pueda apreciar el desarrollo de incrustaciones, tal que permita hacer un primer diagnóstico del estado del mismo. Esta es la aplicación que a nosotros nos interesa.

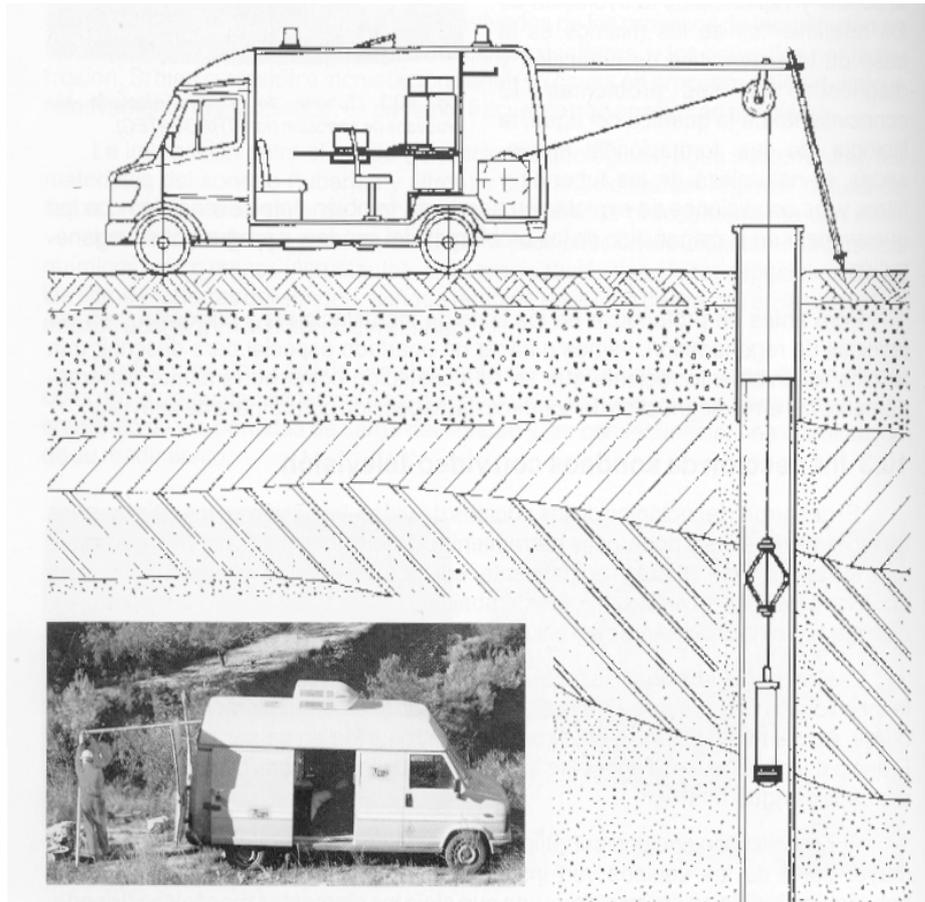


Fig. 4.20.- Esquema y fotografía de equipo completo para inspección televisada de sondeos (Martínez-Rubio y Ruano, 1998)

- Servicio de apoyo en operaciones de construcción, pescas, instalación, etc. Las operaciones de “pesca” de herramientas, bombas u otros objetos caídos en el sondeo se facilitan enormemente con la imagen del objeto y su situación exacta.

- En menor medida, se puede aplicar al estudio de la propia formación perforada, aunque esto requiere perforaciones sin revestir que pueden suponer un riesgo para el equipo.

El equipo de inspección de vídeo va instalado en un vehículo de tipo "furgón", con el habitáculo dividido en dos sectores: uno que aloja los elementos mecánicos (trípode, carrete-cabrestante, accesorios...) y otro acondicionado para el manejo, control y observación de las operaciones (figura 4.20).

Entre los inconvenientes en la utilización del R.O.T.V. se encuentra, principalmente, la **turbidez** del agua, tanto por la aparición de horizontes de turbidez, como por el exceso de partículas en suspensión, de tal modo que la imagen no aparece nítida (*Cosgrove, 1990*).

4.4.3. Diseño de un aparato *tomamuestras* específico. **Descripción y datos constructivos**

Tal como ya se comentó en el apartado 4.4.1, creímos necesario desarrollar un aparato *tomamuestras* que cumpliera con una serie de requisitos que los aparatos convencionales disponibles en el mercado no reunían.

Nuestras pretensiones son un aparato que permita tomar muestras de agua de un punto concreto del pozo a la vez que permita rascar las incrustaciones de las paredes, todo ello evitando, en la medida de lo posible, la mezcla con aguas de puntos diferentes del sondeo.

Los *tomamuestras* utilizados en hidrogeología son del tipo de **botella con cierre emisario**. Este tipo es útil para análisis químico de aguas, pero no sirve para análisis microbiológico, ya que no es esterilizable y, además, durante el ascenso del aparato se produce mezcla de aguas.

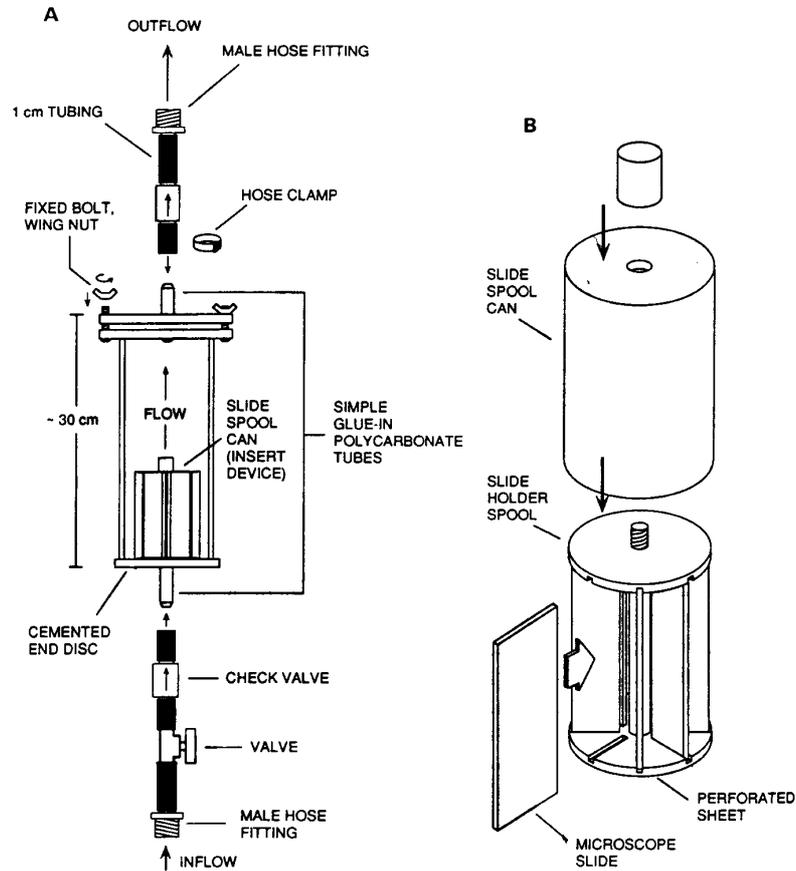


Fig. 4.21.- Esquema del tomamuestras desarrollado por *Smith* para la obtención de microorganismos en el interior de las captaciones (*Smith, 1995*)

Para la obtención de muestras microbiológicas, sobre todo de la microbiota generadora de *biopelícula*, se describen algunos sistemas en los que hay que dejar el *tomamuestras* del orden de 15 días en el pozo para permitir que los microorganismos sésiles se fijen y desarrollen en el propio aparato. Para ello *Cullimore* (*Cullimore y McCann, 1977*) propone dejar suspendido en el pozo un hilo con una serie de *portaobjetos* de microscopio atados cada 20 cm. Este sistema es mejorado por *Smith* (*Smith, 1995*) construyendo un sistema que, además, permite tomar agua (figura 4.21) y por *Hallbeck* (*Hallbeck y Pedersen, 1987*), aunque

este último es un sistema bastante difícil de manejar (figura 4.22). Más recientemente, *Cullimore* vuelve a desarrollar un sistema de toma de muestras para microorganismos constructores de *biopelícula*, más sencillo y rápido (figura 4.23), basándose en la captación de los tallos y vainas desarrolladas por los microorganismos sésiles, junto con la muestra de agua, con lo que no es necesario esperar a que se desarrollen en el aparato tomamuestras (*Cullimore, 1992*). A este último sistema le falta la posibilidad de poder tomar muestras de la incrustación, tanto para su identificación mineralógica, como para poder tomar, no sólo las vainas y tallos, sino los microorganismos para poder realizar los cultivos de laboratorio pertinentes. Todo esto es lo que nos llevó a diseñar nuestro propio tomamuestras que solucionase las deficiencias que, a nuestro parecer, presentan los modelos descritos.

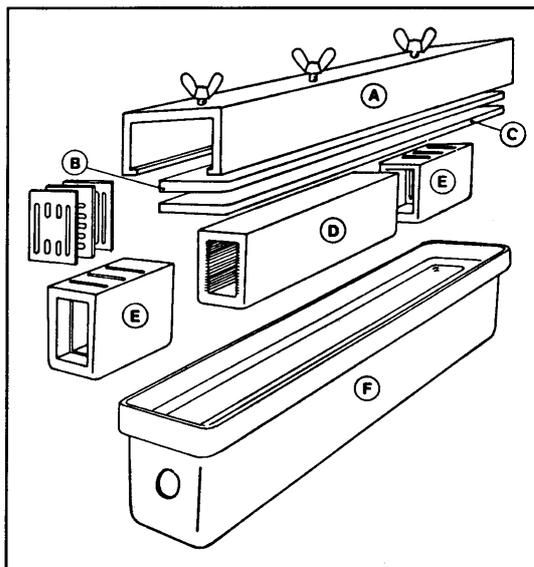


Fig. 4.22.- Esquema del aparato tomamuestras de *Hallbeck y Pedersen, 1987*

En principio se diseñó un primer prototipo (*Senderos, 1995; Martínez-Rubio et al., 2000*) teniendo en cuenta, además de las características ya mencionadas, que fuera adaptable a los equipos de vídeo de *Tragsatec* y capaz de trabajar a profundidades de hasta 500 m con rangos de diámetros entre 200 y 600 mm (los más habituales en sondeos de captación de agua). Este dispositivo

consistía en dos brazos simétricos con raspadores en sus extremos que se abrían mediante el desplazamiento de un eje accionado por un electroimán. Al desplazarse el dispositivo hacia arriba mediante el movimiento del sistema motor de la propia cámara de TV las muestras

caían, guiadas por un embudo de tela metálica, en un recipiente de PVC cuya tapa se abría solidaria al accionamiento del electroimán.

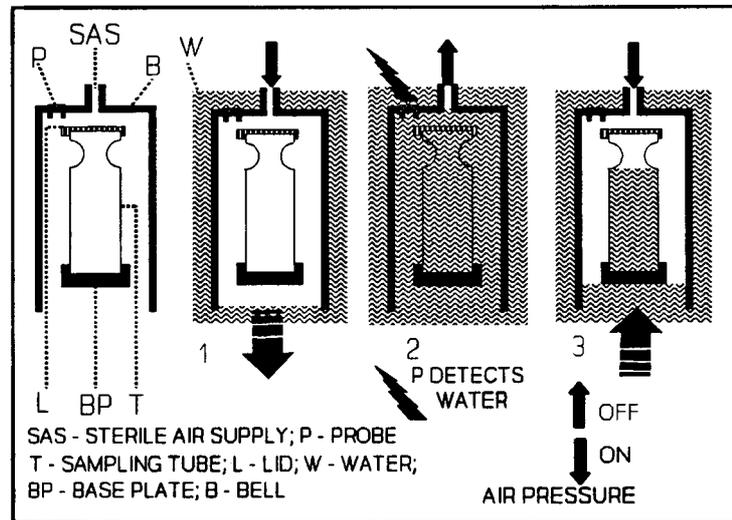


Fig. 4.23.- Aparato de *Cullimore* para la recogida de Ferrobacterias
(*Cullimore, 1992*)

Este dispositivo funcionó correctamente y permitió la obtención de muestras de varios sondeos: muestras **H** y **F**, así como toda la serie **TT** (**TT-1** a **TT-12**); pero se apreciaron varias limitaciones:

- La fragilidad de los elementos mecánicos en que estaba construido (PVC y aluminio) dio lugar a varias roturas de los mismos.
- Al disponer de solo dos brazos simétricos resultaba poco eficaz en el caso de desvíos en la verticalidad de las columnas de entubación.
- En algunos casos se producía mezcla de incrustaciones de distintos tramos, al quedar acumulados en la rejilla receptora. Del mismo modo, dada la deficiente estanqueidad del recipiente, se producía mezcla de aguas.

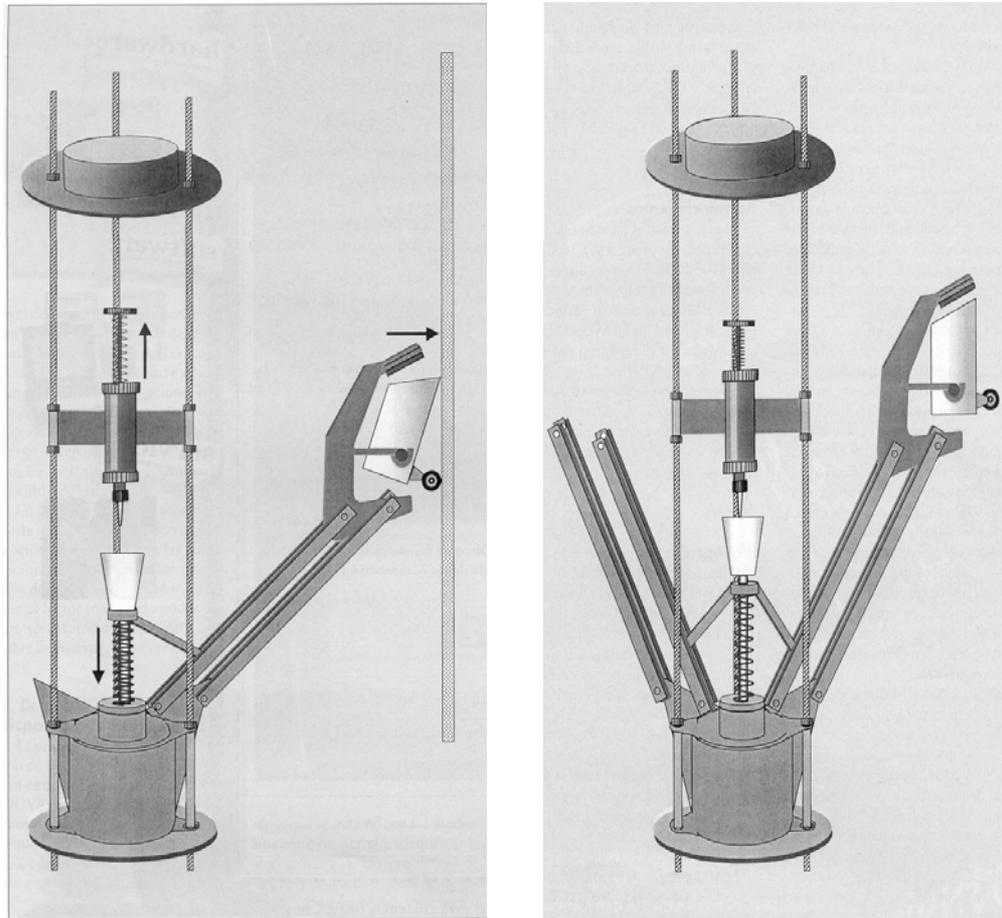


Fig. 4.24.- Esquema del aparato tomamuestras, en posición de toma de muestra, a la izquierda, y “cerrado”, a la derecha (Martínez-Rubio et al., 2000)

Finalmente se opta por realizar un nuevo diseño que ha permitido alcanzar la mayor parte de los requerimientos técnicos planteados. El diseño técnico se debe a D. Pedro Ruano y ha sido construido en los Talleres... de Vitoria, bajo la financiación del ya mencionado proyecto **CICYT HID 96-1309**, del que la presente tesis constituye uno de sus objetivos. De este nuevo aparato se ha tramitado su inscripción en el **Registro de Patentes** como **Modelo de Utilidad**, con el **número de registro 9901208/1**.

El dispositivo, enteramente construido en elementos mecanizados de acero inoxidable, está estructurado a base de una pieza de conexión-

soporte a la cámara de vídeo, a la que son solidarias varias varillas roscadas que fijan a la citada pieza un electroimán, convenientemente encamisado para soportar los efectos de la inmersión. En la citada camisa se fijan tres pares de brazos articulados que constituyen medios de sustentación para otras tantas piezas *tomamuestras*, montadas sobre un soporte que recibe, articuladamente, la pareja de brazos correspondientes. Todo ello configura un paralelogramo deformable accionado por el electroimán. La retracción del pistón del electroimán provoca el basculamiento lateral de los paralelogramos y, consecuentemente, el contacto de las piezas tomamuestras con la pared de la tubería (figura 4.24).

Cada pieza tomamuestras consiste en un receptáculo abierto superiormente, con su embocadura inclinada, contando, además, con una rueda de apoyo sobre la pared de la tubería, de manera que cuando se produce la retracción del pistón del electroimán y los brazos articulados basculan hacia afuera, la citada rueda obliga, a su vez, a bascular a las piezas tomamuestras, cuya embocadura se adapta a la pared de la tubería y actúa a modo de rasqueta, haciendo que las incrustaciones caigan dentro sólo con el desplazamiento del conjunto hacia arriba.

En la zona media del juego de varillas se instala una jeringuilla, cerrada en situación de reposo del dispositivo. Cuando el pistón del electroimán se retrae, con sentido descendente, el émbolo de la jeringuilla se retrae también, gracias a un muelle, produciéndose la toma de agua instantáneamente en el mismo punto en que las piezas tomamuestras actúan sobre la pared (*Martínez-Rubio et al., 2000*).

4.5. ANALÍTICA DE CAMPO

Una vez elegido el punto de muestreo se procede a la toma de las muestras, en las condiciones más óptimas, en función de lo comentado anteriormente.

Cada muestra ha de constar, al menos, de:

- Un recipiente estéril, lleno de agua al 100%, con el que se realizarán los análisis microbiológicos de laboratorio (ver apartado 6.2.-*Analítica de laboratorio*). En este mismo recipiente van incluidas las muestras de las incrustaciones de las paredes del pozo para la realización de la **difracción de rayos-X** (apartado 5.3.- *Estudio de las incrustaciones*).
- En otro recipiente, a ser posible también estéril, se recoge el agua destinada a los análisis químicos (apartado 5.1.- *Análisis químico*), para su envío al correspondiente centro de análisis.
- Parte del agua recogida se debe utilizar para rellenar los tubos B.A.R.T. (apartado 6.3.- *Método B.A.R.T.*), ya que estos deben rellenarse con el agua del punto de muestreo en el momento de la obtención de la muestra.
- Por último, debe recogerse una parte más de agua para hacer la **analítica de campo**, es decir, para medir aquellos parámetros inestables que no pueden esperar al análisis químico convencional, pues su variación, una vez tomada la muestra, distorsionaría su valor real en el pozo.

Para la determinación de la analítica de campo se utiliza la ficha adjunta (figura 4.25) en la que, además de los datos identificativos, se incluyen los datos de profundidad total y profundidad de la muestra, ya que en nuestro caso es importante tener identificado el punto del que se ha tomado la muestra, junto con las determinaciones analíticas de los parámetros inestables.

Los parámetros medidos en campo son:

- **Temperatura del agua:** medida con termómetro digital con precisión de 0,1° C.

- **Conductividad eléctrica:** tomada con conductivímetro *Crison CDTM-523*.
- **pH y Eh:** medidas ambas realizadas con pH-metro/Eh-metro *Metrohm E-604*, con electrodos diferenciados para pH y Eh.
- **Oxígeno disuelto:** valores obtenidos por volumetría mediante el test *HACH OX-2P*.
- **Hierro total:** calculado a partir de reacción colorimétrica con el aparato *Hanna* de medida de hierro.

A continuación se enumeran los datos analíticos de campo para cada serie de muestras (tablas 4.4 a 4.8). No se relacionan los datos de temperatura dado que la variación de unas muestras a otras es, prácticamente, inexistente, oscilando entre 14° y 16° C. Su valor es importante, sobre todo, para la calibración del pH-metro/Eh-metro.

TABLA 4.4.- ANALÍTICA DE CAMPO DE LAS SERIES M, MM, MZ, H, F

	pH	Conduct. μS/cm	O ₂ mg/L	Eh mV	Fe mg/L
M-1	7.56	258	7	-33	0.01
M-2	7.18	712	7	-11	0.06
M-3	7	1433	5.6	0	0.12
M-4	6.96	525	6.8	1	7
M-5	7.34	688	7	-20	0
M-6	7.59	1257	7.5	-33	0.1
M-7	8.6	494	9.6	-94	0
M-8	8.1	333	8	-65	0.05
M-9	8.63	1029	8	-92	0.04
MM	7.81	380	5.4	184	0.39
MZ	7.68	500	6.3	264	0.22
H-150	7.55	475	5.7	0.123	0.35
H-225	7.25	520	4.2	0.02	0.12
F-115	7.8	333	4.6	0.005	1.03
F-130	7.8	341	5	0.007	0.99

Los valores junto a la muestra se refieren a muestras tomadas en distinto punto del sondeo, de modo que H-150 y H-225 son muestras tomadas en los metros 150 y 225 del sondeo **H**, igual que ocurre con el sondeo **F**. Del sondeo **MZ** también se tomaron muestras a diferentes profundidades, pero dada la mínima variación analítica entre los distintos puntos sólo se ha reflejado uno de ellos.

TABLA 4.5.- ANALÍTICA DE CAMPO DE LA SERIE "Y"

	pH	Conduct. μS/cm	O₂ mg/L	Eh mV	Fe mg/L
Y-1	6.4	3080	0	156	4.1
Y-2	6.1	1072	0	176	9.2
Y-3	6.3	1080	0	176	4.5
Y-4	6.4	1973	0.4	166	0.1
Y-5	6.7	3460	0	149	2.04
Y-6	6.6	1402	0	166	0.5
Y-7	7.6	4760	0	131	0
Y-8	7.4	4780	0.2	128	0.16
Y-9	7	4550	0	162	4.92
Y-10	6.8	2000	0.3	175	6.2
Y-11	6.6	2390	0	189	1.37
Y-12	7.2	6390	0	115	9.82
Y-13	7.4	7230	0	107	2.84
Y-14	5.5	256	0.4	171	0.15

Como puede observarse, el contenido en oxígeno disuelto es, prácticamente, despreciable. Esto es debido a que son manantiales con un alto contenido en CO₂. Así mismo, la conductividad es, en general, bastante alta, igual que el contenido en hierro. Estas peculiaridades nos parecieron lo suficientemente interesantes como para incluirlas en nuestro estudio, pues, en definitiva, nuestro propósito es tener la máxima diversidad posible de aguas para comparar con su contenido microbiológico a nivel de formadores de *biopelícula*. En todos estos manantiales, los precipitados ferruginosos son notables.

TABLA 4.6.- ANALÍTICA DE CAMPO DE LA SERIE "TT"

	pH	Conduct. μS/cm	O ₂ mg/L	Eh mV	Fe mg/L
TT-1	6.96	3900	3.8	217	1.6
TT-2	7.14	3000	10	-190	7.98
TT-4	7.45	3800	0	-150	1.35
TT-5	7.04	1660	0.5	40	1.77
TT-6	7.6	867	6.4	-56	11.9
TT-7	7.66	1727	0.6	18	0.67
TT-8	7.2	1059	1.3	92	0.09
TT-9	8.07	75	3.7	186	0.12
TT-10	7.89	73	7.4	166	0.12
TT-11	7.05	285	3.2	88	0.39
TT-12	7.6	82	7.6	99	0.03

TABLA 4.7.- ANALÍTICA DE CAMPO DE LA SERIE "AP"

	pH	Conduct. μS/cm	O ₂ mg/L	Eh mV	Fe mg/L
AP-1	6.68	1938	0.1	409	3.85
AP-2	6.45	1741	3.5	392	3.01
AP-3	6.38	146	2.4	435	3.63
AP-4	5.6	80	7.7	460	0.25
AP-5	7.89	331	8.1	373	0.7
AP-6	6.84	380	5	470	5.5

TABLA 4.8.- ANALÍTICA DE CAMPO DE LAS SERIES "CC" Y "AL"

	pH	Conduct. μS/cm	O ₂ mg/L	Eh mV	Fe mg/L
CC-1	7.74	1275	4.4	319	1.15
CC-2	7.5	956	6	358	2.2
CC-3	7.7	1043	3.5	76	1.23
AL	9.2	1630	2.3	-624	9.6

ESTADILLO DE ANÁLISIS IN SITU

PUNTO DE AGUA NÚMERO:

TOPONIMIA:

PROFUNDIDAD TOTAL: m

MUESTRA NÚMERO:

PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA: m

FECHA: / /

HORA DE INICIO: : HORA FINAL: :

DETERMINACIONES ANALÍTICAS

1. TEMPERATURA DEL AGUA: , °C

2. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA: , μS/cm

3. pH: ,

4. OXÍGENO DISUELTO (O₂): , ppm

5. SULFURO DE HIDRÓGENO (SH₂): , ppm

6. HIERRO TOTAL (Fe) : , ppm

7. TEMPERATURA DEL AIRE: , °C

OBSERVACIONES:

.....

.....

.....

FICHA INSTRUIDA POR:

Fig. 4.25.- Modelo de ficha para la recogida de datos de campo.

5. ANÁLISIS GEOQUÍMICO

5. ANÁLISIS GEOQUÍMICO

5.1. ANÁLISIS QUÍMICO

Aparte de la analítica de campo descrita en el capítulo anterior, se hizo la correspondiente analítica de laboratorio. De ésta, dadas las características del trabajo, sólo nos interesan los componentes mayoritarios o macroconstituyentes, dado que no es nuestro objetivo estudiar la capacidad de las aguas ni para riego ni para consumo. El único microconstituyente que, en principio, nos interesa es el **hierro** y éste lo hemos determinado mediante la analítica de campo.

Ya se comentó en los apartados 4.1 y 4.2 la disparidad en cuanto al origen de las muestras, por lo que los análisis químicos son tan variados como el origen de las mismas. En cualquier caso, como lo que nos interesa son los macroconstituyentes que aparecen en todos los análisis sea cual fuera el origen de los mismos, nos ha servido para nuestras intenciones.

Los laboratorios donde se han analizado las muestras son:

- Centro de Espectrometría Atómica de la U.C.M.: las muestras **M-1 a M-9**
- Confederación Hidrográfica del Guadiana: muestras **TT-1, TT-2, TT-4 y TT-5**
- Interlab: muestra **TT-6**
- Iproma, S.L.: muestras **TT-7 y TT-8**
- Centro de Análisis de Aguas, S.A. (Murcia): muestras **TT-12, AL, H y F**
- Tecnomá: serie **Y** (Y-1 a Y-14), serie **CC** (CC-1 a CC-3), **MM** y **MZ**

- ENDESA- Laboratorio C.T. *As Pontes*: muestras **TT-9, TT-10** y serie **AP** (AP-1 a AP-6)

Los datos de los análisis químicos los agruparemos por tipos de acuíferos. Los resultados de los mismos se enumeran en las tablas 5.1, 5.2 y 5.3. **Todos los valores se expresan en mg/L.**

TABLA 5.1.- Análisis químicos de las muestras correspondientes a acuíferos detríticos (en negrita el catión y anión mayoritarios)

	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	HCO ₃ ⁻
M-1	22.4	6.4	32.5	1.6	1.5	4.5	149
M-2	89.8	14.2	75	2.7	46.5	109	336
M-3	174.1	27.6	56.9	2	50.2	242	351
M-4	73.6	12.8	27.2	1.5	25.8	95.7	152
M-5	115.8	17.3	44.8	1.9	54.4	159	207
M-6	133.9	57.4	50.1	9.9	74.1	252	263
M-7	7.2	1.7	120.1	0.7	21.9	76	215
M-8	33.9	4	67.2	2.9	16.7	76.8	163
M-9	13.8	5.5	235	1.3	109	212	207
TT-7	430.2	63	14.66	2	11.43	1009	329.4
TT-8	188.9	59	9	2	24.1	1059	281
TT-9	10.8	0.9	15.4	0.5	18.2	32	45
TT-10	35.6	9.4	20.9	2.4	9.5	81	86
TT-12	2.4	16.8	73.5	1	28.4	4	209
AP-1	455	34	10	1	9	118.3	177
AP-2	212	44	16	1.1	11	505	143
AP-3	5	4	7	0.2	10	18	17
AP-4	3	2	8	1.1	9	11	8
AP-5	40	9	18	0.9	9	34	151
AP-6	51	17	22	0.7	11	242	4
MM	60	7.6	82	1.7	45	13	28.5
MZ	109	18.1	81	31	124	19	430
H-150	50.5	5.6	47.4	1.5	30.5	9.6	249
H-225	68.5	11.7	37.4	1.2	38.3	10.4	278.2
F-115	44.9	1.9	30.1	5	28.4	6	169.9
F-130	38.5	5.6	28.7	1	28.4	5.6	167.2

Predominan las aguas bicarbonatadas (18 muestras) frente a las sulfatadas (7 muestras) y las cálcicas (17 muestras) frente a las sódicas (9 muestras). La única muestra clorurada (**MM**-Moraleja de Matababras en el Acuífero Terciario Detrítico Central del Duero) es una muestra que presenta muy baja mineralización.

TABLA 5.2.- Análisis químicos de las muestras correspondientes a acuíferos carbonatados (en negrita el catión y anión mayoritarios)

	Ca⁺⁺	Mg⁺⁺	Na⁺	K⁺	Cl⁻	SO₄⁼	HCO₃⁻
TT-1	221.5	154.5	111.7	9	375.7	871	72
TT-2	352.4	116.6	95.7	5.7	226.2	680	151
TT-4	352.4	116.6	95.7	5.7	226.2	680	151
TT-5	42.2	14	24.8	2.7	81.9	54	28
TT-6	111	48	9.9	12.2	11	260	205
TT-11	153.2	98.4	36.6	2.7	104.2	62	160
CC-1	149	55	106	3.3	141	449	276
CC-2	121	35	86	3.4	46	345	221
CC-3	107	35	98	3.2	133	248	242
AL	128.3	114.3	3607.2	198.7	5884.7	513.6	45.2

En los acuíferos carbonatados podemos considerar todas las aguas como sulfatadas cálcicas. La muestra **TT-5**, que es clorurada, es de muy baja mineralización. Curiosamente sólo hay una bicarbonatada, la **TT-11**, procedente de La Alverca (Portugal). En cuanto a la muestra **AL** del Acuífero del Campo de Dalías se observa una fuerte mineralización, lo que unido a su marcado carácter clorurado-sódico puede estar indicando una importante intrusión marina.

A diferencia de estos, las aguas carbonatadas de los acuíferos en *Hard-Rocks* son todas bicarbonatadas y casi todas sódicas. Únicamente la muestras **Y-6** es sódico-magnésica y las **Y-10** e **Y-11**, que son cálcicas.

TABLA 5.3.- Análisis químicos de las muestras correspondientes a acuíferos en *Hard-Rocks* (en negrita el catión y anión mayoritarios)

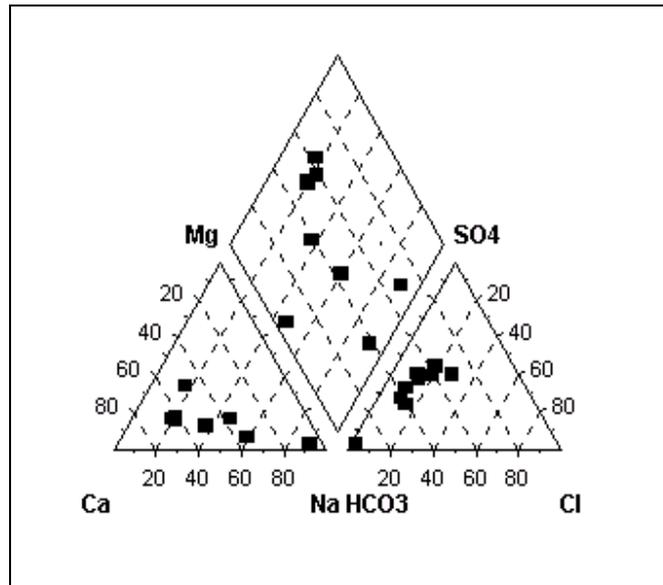
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	HCO ₃ ⁻
Y-1	312	158	430	17	67	567	2106
Y-2	72	76	99	9.3	50	240	626
Y-3	48	50	180	10	64	251	501
Y-4	80	105	369	27	112	461	1002
Y-5	225	191	589	47	259	1233	1406
Y-6	82	109	107	17	97	353	544
Y-7	51	13	1311	46	547	667	2098
Y-8	57	13	1390	46	600	896	2056
Y-9	395	173	1083	7.3	82	1034	3435
Y-10	364	76	100	2.9	39	224	1421
Y-11	469	85	162	2.6	25	505	1775
Y-12	450	88	1313	31	674	1106	3055
Y-13	490	86	1622	52	802	1251	3494
Y-14	14	5	31	2.1	14	38	54

De forma gráfica podemos representar estos análisis mediante **diagramas de Piper**. Dado que son cuatro los cationes, como es habitual y dada la poca representatividad del potasio, será éste el catión que no incluyamos en el diagrama. Los vértices de los dos triángulos estarán ocupados, por tanto, por calcio, sodio y magnesio el de los cationes y bicarbonato, sulfato y cloruro el de los aniones (*Custodio y Llamas, 1975*).

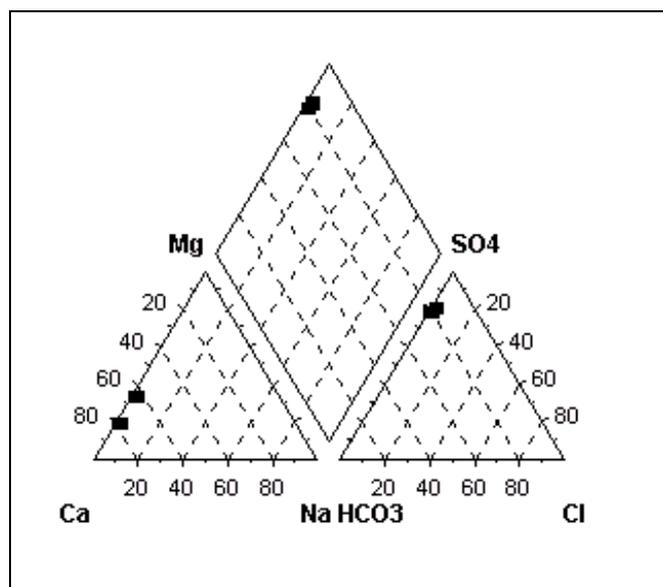
Para la elaboración de los diagramas se ha utilizado el programa informático *HIDROWIN*. La representación se ha hecho por acuíferos para discernir mejor entre los diferentes tipos de aguas, a pesar de que de algunos acuíferos sólo haya una muestra.

Los diagramas correspondientes a cada acuífero se describen en las figuras que siguen:

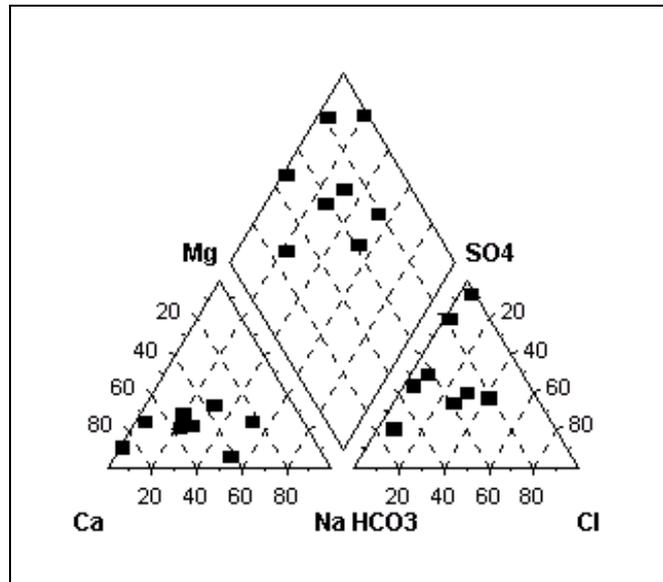
- Acuífero Terciario Detrítico de Madrid (U.H. 03.05): las aguas son hidrogenocarbonatadas-sulfatadas y cálcicas, en general.



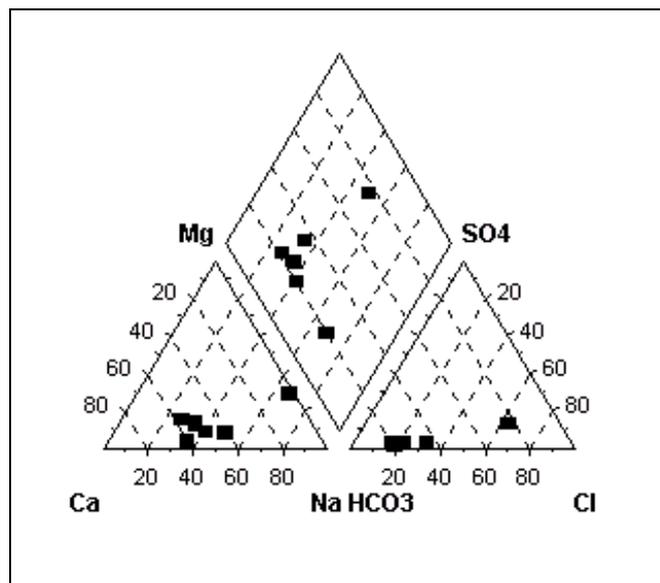
- Acuífero de la Plana de Castellón/Onda (U.H. 08.12/08.13): aguas sulfatadas cálcicas.



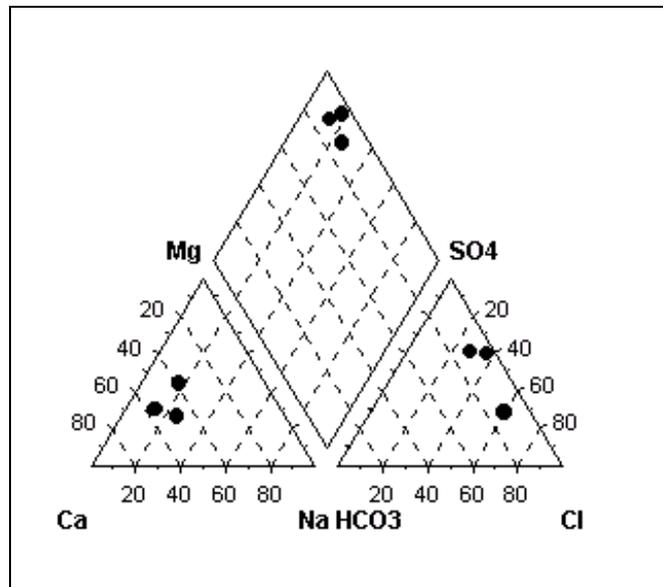
- Cuenca Terciaria de As Pontes: aguas hidrogenocarbonatadas y sulfatadas, predominantemente cálcicas.



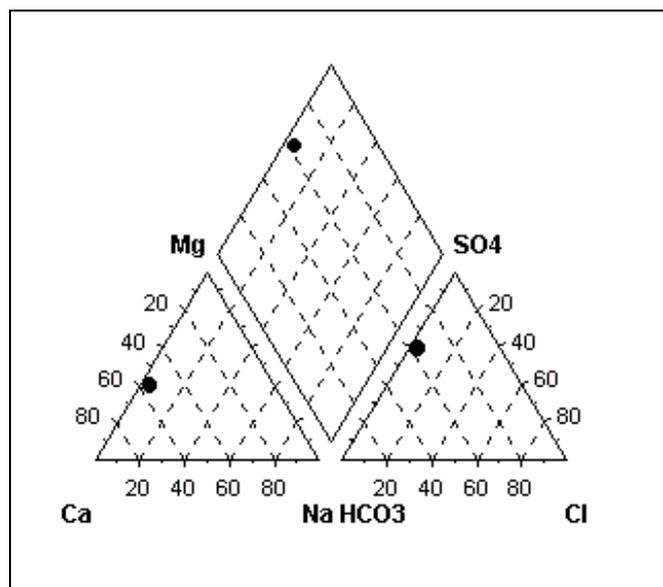
- Acuífero Terciario Detrítico Central del Duero-Arenales (U.H. 02.17): aguas hidrogenocarbonatadas calcosódicas.



- Acuífero de La Mancha Occidental U.H. 04.04: predominan las aguas sulfatadas cálcicas.



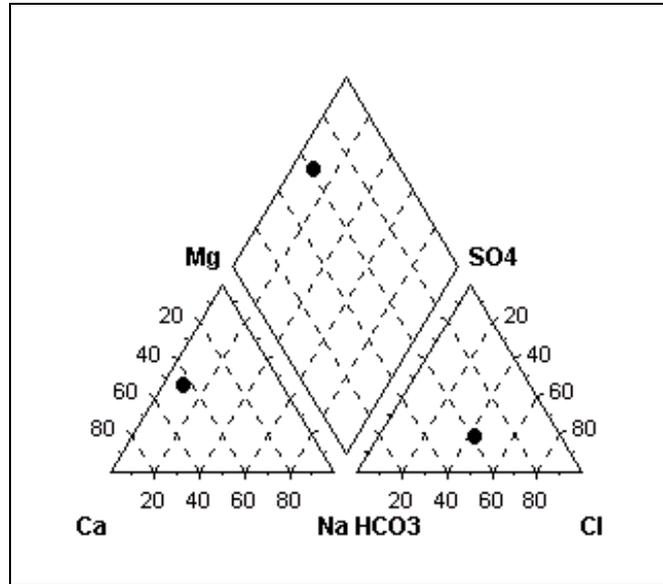
- Acuífero de La Mancha Oriental (U.H. 08.29): la única muestra presenta un carácter sulfatado cálcico.



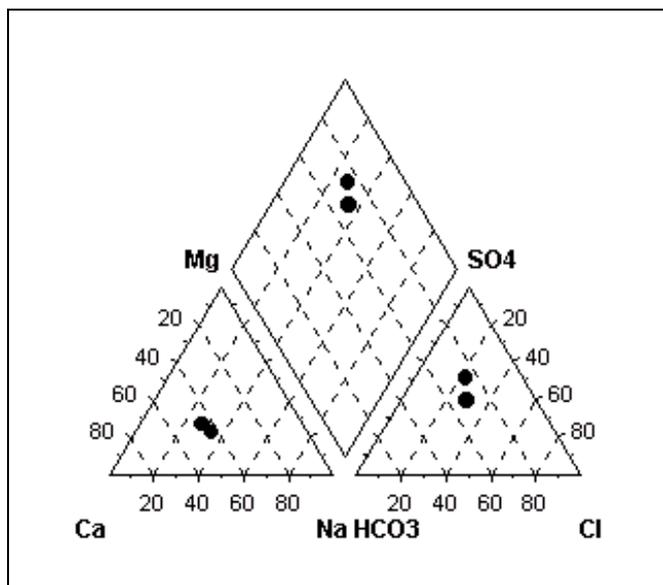
•

•

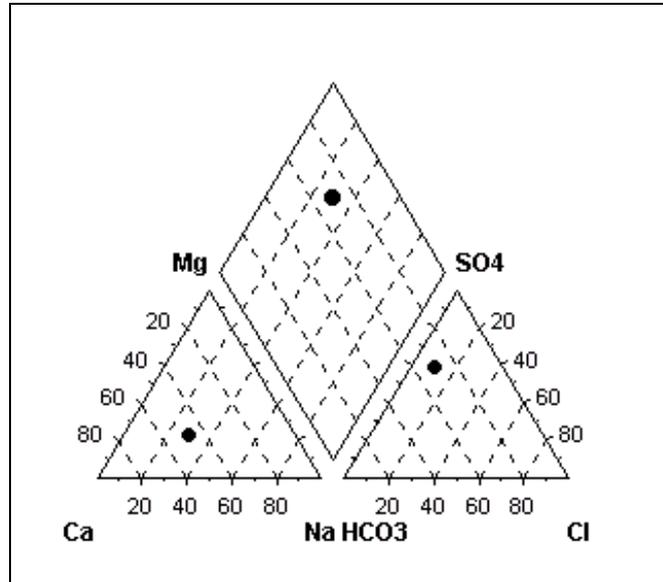
- Vila Franca de Xira (La Alverca-Portugal): una sola muestra hidrogenocarbonatada-clorurada calcimagnésica.



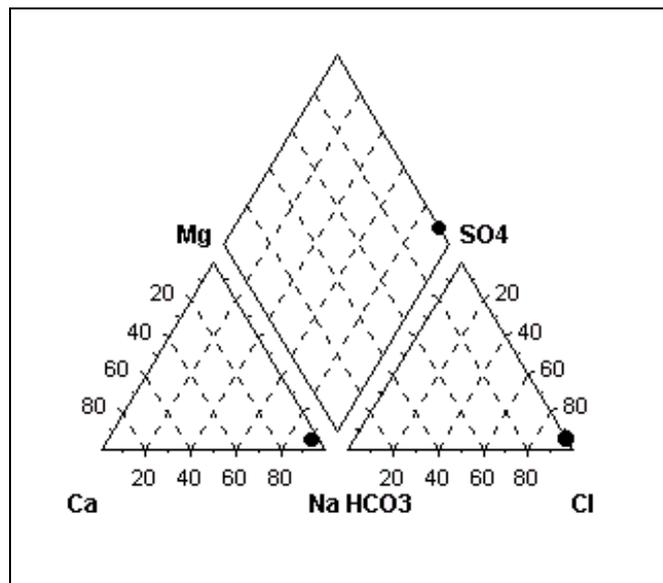
- Acuífero de la Plana de Valencia-Norte (U.H. 08.25): aguas predominantemente sulfatadas calcimagnésicas.



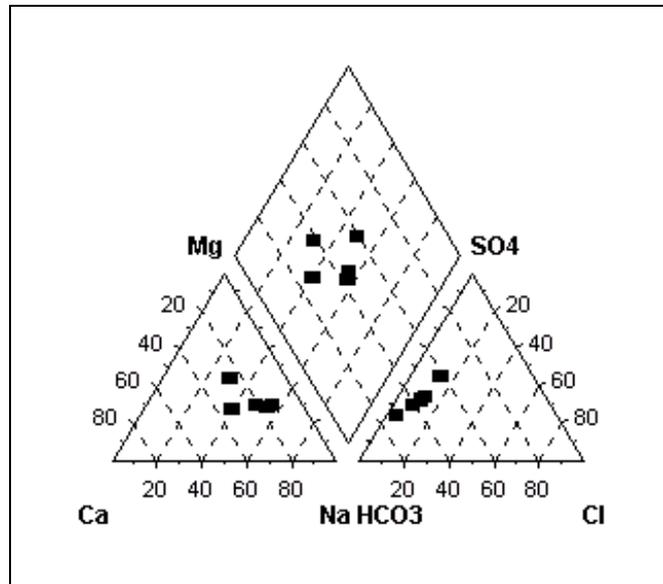
- Acuífero del Maestrazgo (U.H. 08.07): una sola muestra sulfatada cálcica.



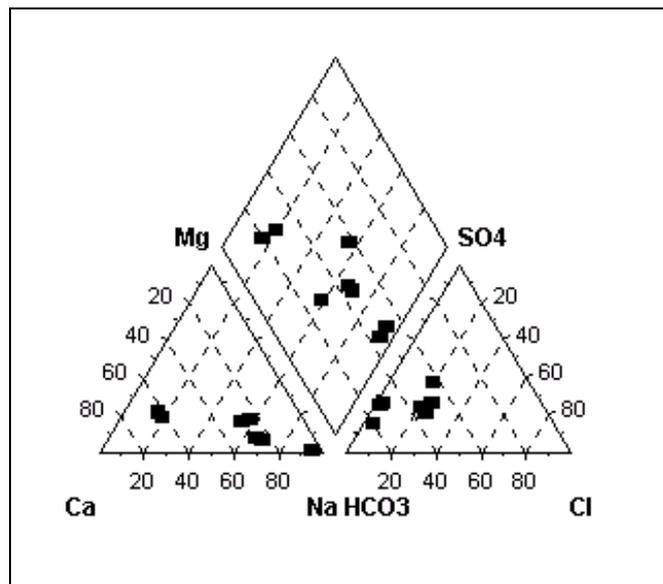
- Acuífero del Campo de Dalías (U.H. 06.14): una muestra claramente clorurada sódica. Tal como se dijo anteriormente, puede ser reflejo de una importante intrusión marina.



- Metamórfico del Campo de Calatrava: predominio de aguas hidrogenocarbonatadas sódico magnésicas.



- Plutónico-metamórfico de Cataluña: similares a las anteriores, hidrogenocarbonatadas sódico cálcicas.

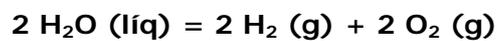


Dados los tipos de aguas que hemos encontrado, a la hora de estudiar si hay relación entre los microorganismos y las características químicas de las aguas, nos centraremos en los iones sulfato y carbonato, ya que el contenido en cloruros es, salvo en casos muy concretos, muy bajo, apareciendo sólo tres muestras cloruradas de las cuales únicamente la muestra **AL** posee alta mineralización.

5.2. ESTABILIDAD DE LOS DEPÓSITOS FERRUGINOSOS. DIAGRAMAS DE *POURBAIX*

Los diagramas de *Pourbaix* o diagramas Eh/pH, muestran los campos de estabilidad y relaciones entre las fases reducidas y oxidadas de los elementos más frecuentes en ambientes naturales en función de los valores de pH y Eh de las aguas.

En *condiciones normales* (25° C y 1 bar de presión), el campo de estabilidad del agua viene definido por la reacción:



Este campo de estabilidad viene definido por un límite superior marcado por **P_{O₂} = 1 bar** y el inferior por **P_{H₂} = 1 bar**. Estos límites, obtenidos mediante la ecuación de *Nerst*^{*} son los que se reflejan en la figura 5.1 (*Brookins, 1988*).

Aparte de los límites mencionados, se reflejan las zonas correspondientes a los ambientes oxidante, reductor y de transición; los límites entre sulfatos y sulfuros, y el límite entre el carbón orgánico y los carbonatos.

* $Eh = E^{\circ} + \frac{RT}{nF} \ln(K_e)$

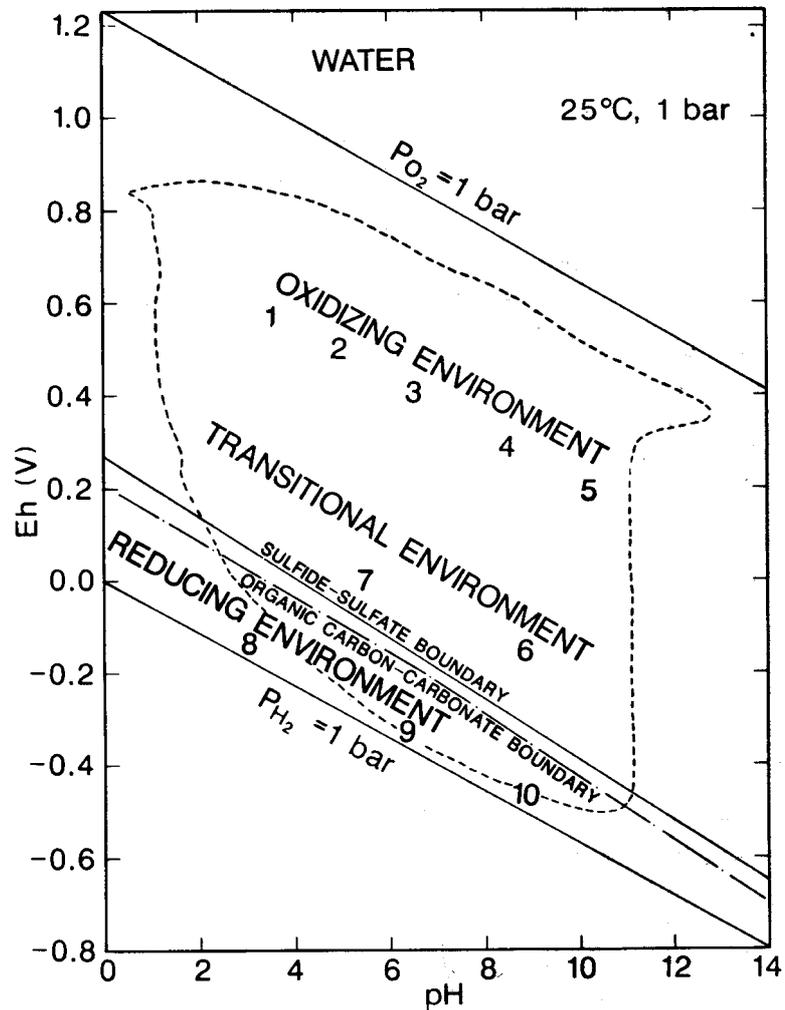


Fig. 5.1.- Diagrama genérico de Eh/pH mostrando los límites de estabilidad de las aguas naturales y las características más frecuentes de las mismas (ver texto).

Brookins, 1988

Sobre estos campos aparecen superpuestos distintos ambientes frecuentes en aguas naturales, marcados con números, del 1 al 10:

1. Aguas de minas
2. Agua de lluvia
3. Aguas corrientes
4. Agua marina normal
5. Residuos salinos aireados

6. Aguas subterráneas
7. Zonas pantanosas
8. Suelos
9. Aguas marinas anóxicas
10. Aguas salinas ricas en materia orgánica

A nosotros nos interesa particularmente la estabilidad del hierro (figura 5.2), dado que, en general, las incrustaciones desarrolladas por

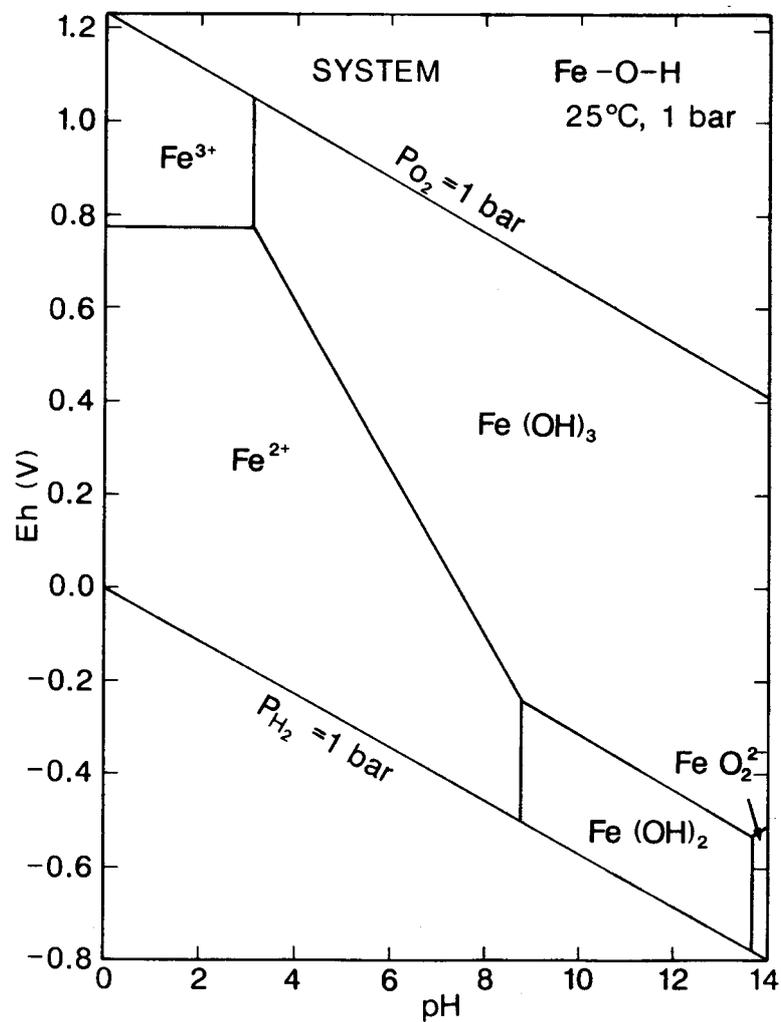


Fig. 5.2.- Diagrama Eh/pH para el sistema Fe-O-H. *Brookins, 1988*

los microorganismos formadores de *biopelícula* son de tipo ferruginoso.

Podemos encontrar diversos diagramas Eh/pH para el hierro, nosotros hemos elegido este por ser el más fácilmente visualizable, es el que tiene los campos más netamente definidos y es el más sencillo. Los demás derivan de éste en función del contenido en carbono, sílice o azufre (*Brookins, 1988*) o por la estabilidad mineralógica (*Cloke, 1966*).

En la figura 5.3 se representan todas las muestras en el diagrama Eh/pH para el hierro con la simbología representada en la tabla 5.4. En las figuras 5.4 a 5.15 se representan por acuíferos.

TABLA 5.4.- Muestras correspondientes a cada acuífero y simbología con que se representan en los diagramas de *Pourbaix*

<u>Detríticos:</u>		
Terciario Detrítico de Madrid	M-1 a M-9	●
Plana de Castellón-Sagunto	TT-7 y TT-8	■
Cuenca Terciaria de As Pontes. TT-9, TT-10 y AP-1 a AP-6		◆
Terciario del Tormes-Arenales	TT-12, MM, MZ, H y F	✱
<u>Carbonatados:</u>		
Mancha Occidental.....	TT-1, TT-2, TT-4 y TT-5	●
Mancha Oriental	TT-6	■
Vila-Franca da Xira	TT-11	◆
Plana de Valencia	CC-1 y CC-3	✱
Javalambre-Maestrazgo.....	CC-2	+
Campo de Dalías	AL	★
<u>Hard-Rocks:</u>		
Metamórfico del Campo de Calatrava	Y-1 a Y-6	+
Plutónico-Metamórfico de Cataluña	Y-7 a Y-14	★

Se puede observar que una muestra, **AL**, queda fuera del campo de estabilidad de las aguas naturales. Hay que tener en cuenta que estos márgenes se calculan por la ecuación de *Nerst*, con lo que, al tratarse de temperaturas inferiores a 25° C, ambos márgenes quedan desplazados

ligeramente hacia abajo. Por el contrario, la diferencia de presión no supone una alteración significativa (Brookins, 1988).

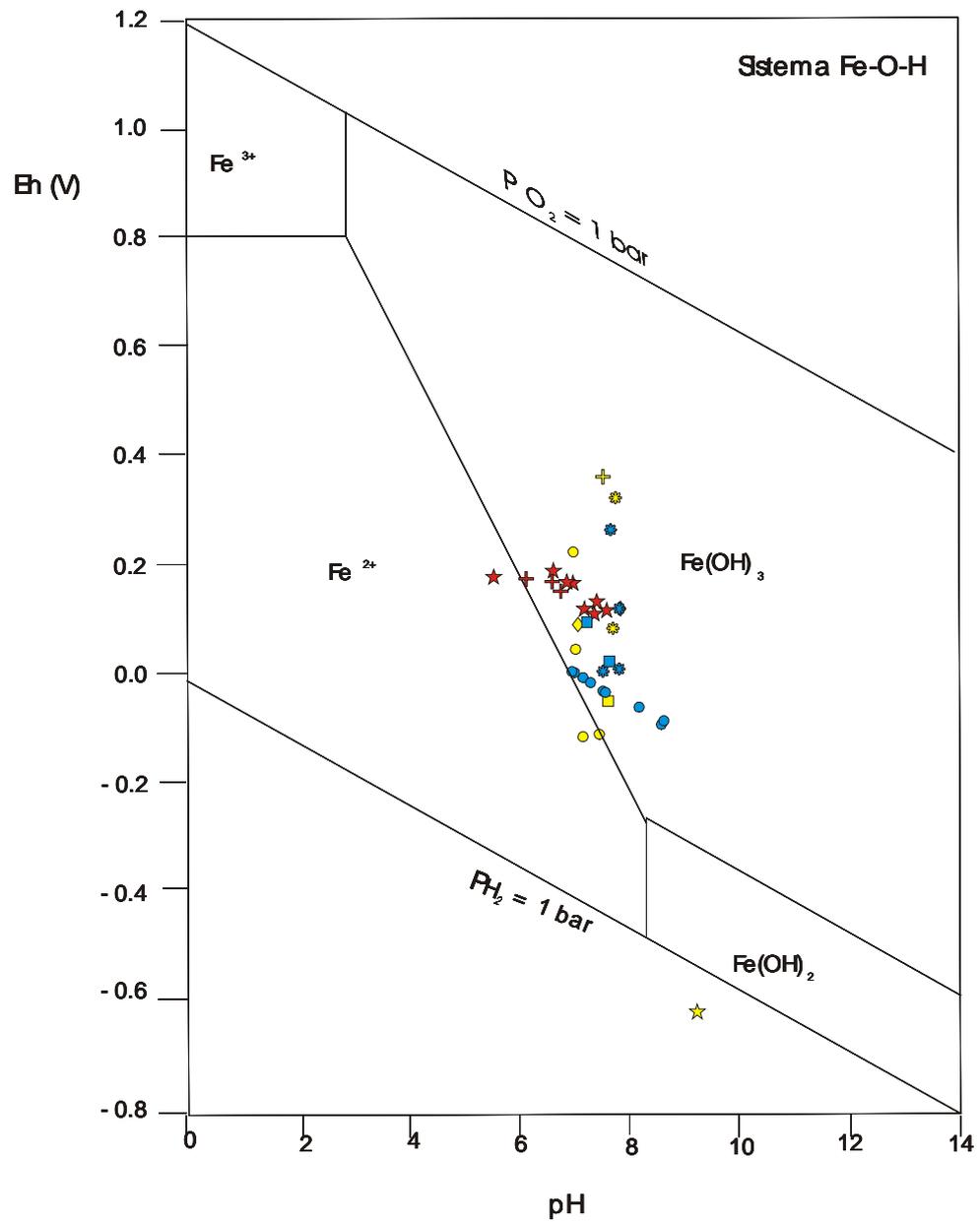


Fig. 5.3.- Representación de las diferentes muestras en el diagrama Eh/pH

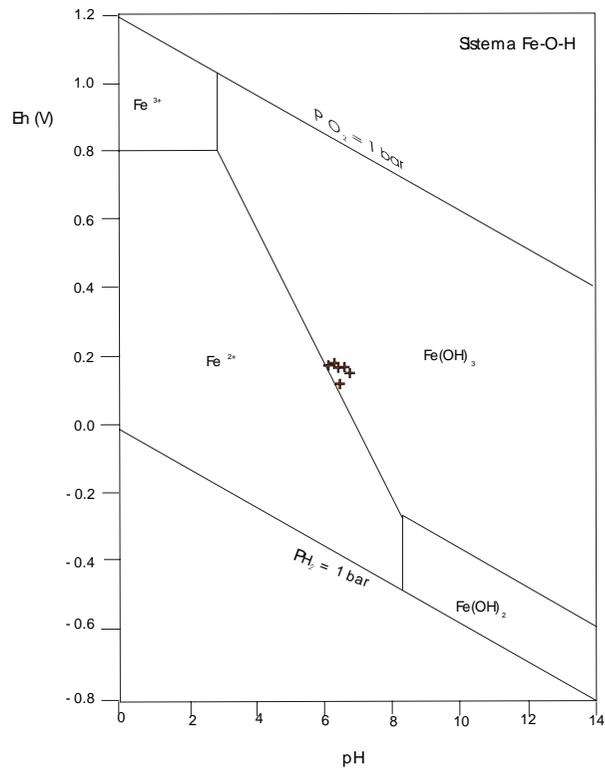


Fig. 5.4.- Diagrama de *Pourbaix* con la representación de las muestras del Campo de Calatrava

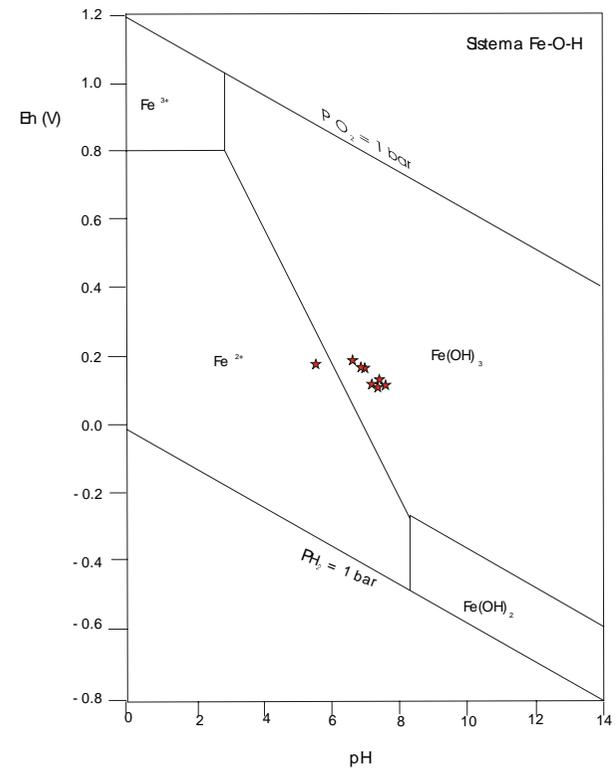


Fig. 5.5.- Diagrama de *Pourbaix* con la representación de las muestras del plutónico-metamórfico de Cataluña

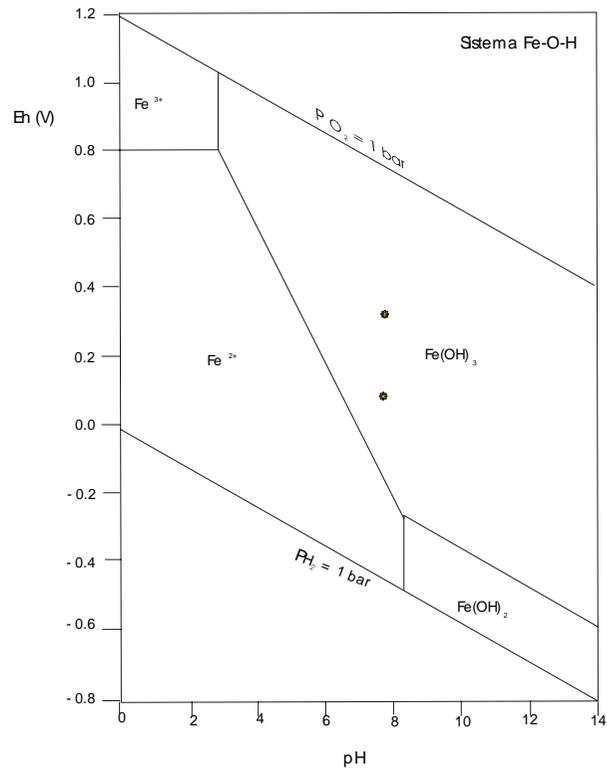


Fig.- 5.6.- Diagrama de *Pourbaix* con la representación de las muestras del Acuífero de la *Plana de Valencia-Norte*

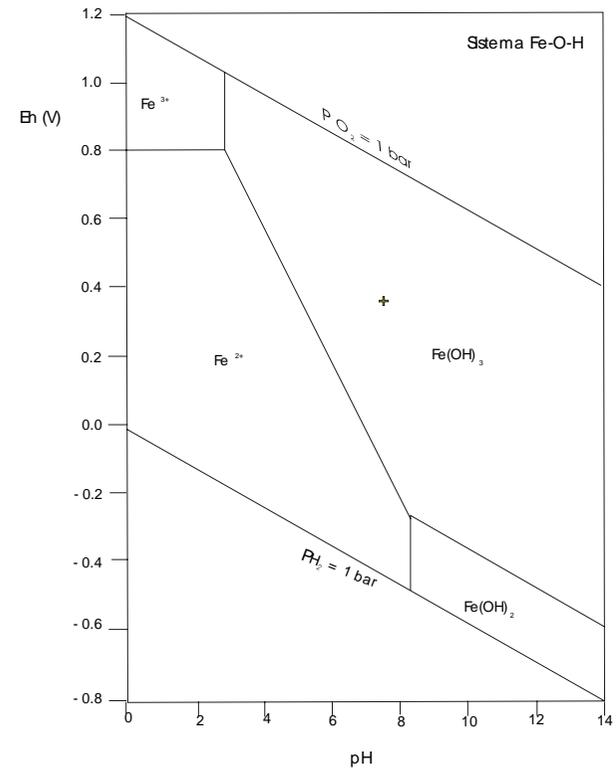


Fig. 5.7.- Diagrama de *Pourbaix* con la representación de las muestras del Acuífero de *El Maestrazgo*

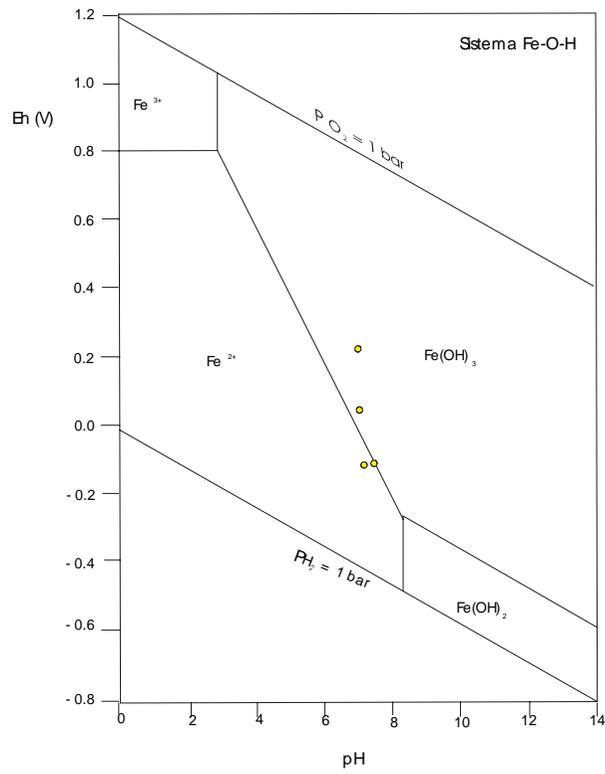


Fig. 5.8.- Diagrama de *Pourbaix* con la representación de las muestras del Acuífero de *La Mancha Occidental*

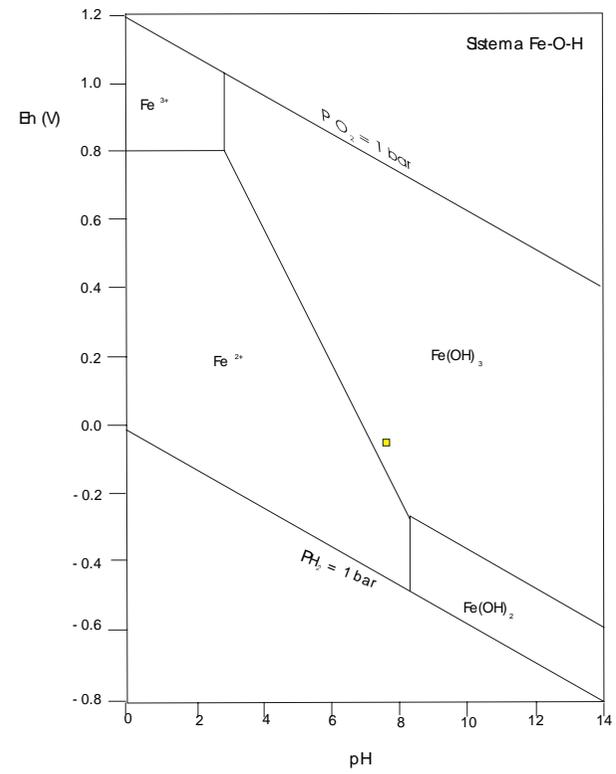


Fig. 5.9.- Diagrama de *Pourbaix* con la representación de las muestras del Acuífero de *La Mancha Oriental*

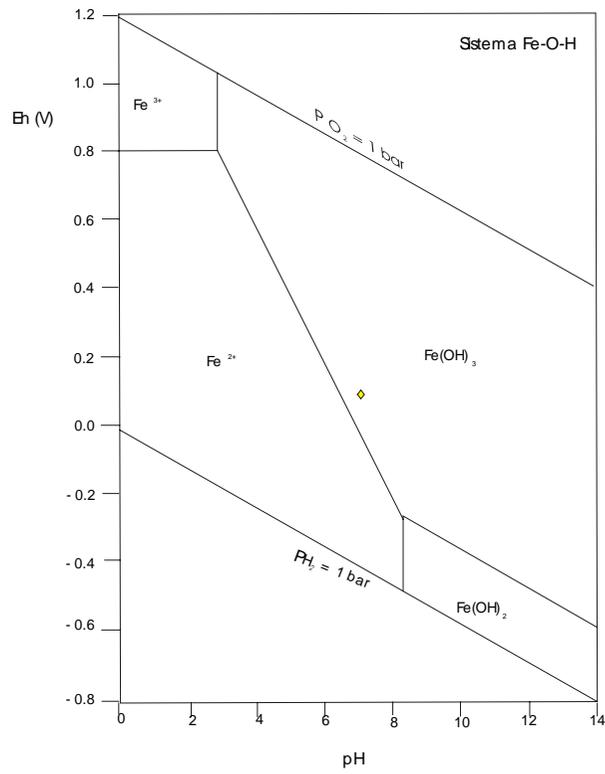


Fig. 5.10.- Diagrama de *Pourbaix* con la representación de las muestras del Acuífero de Vila-Franca da Xira

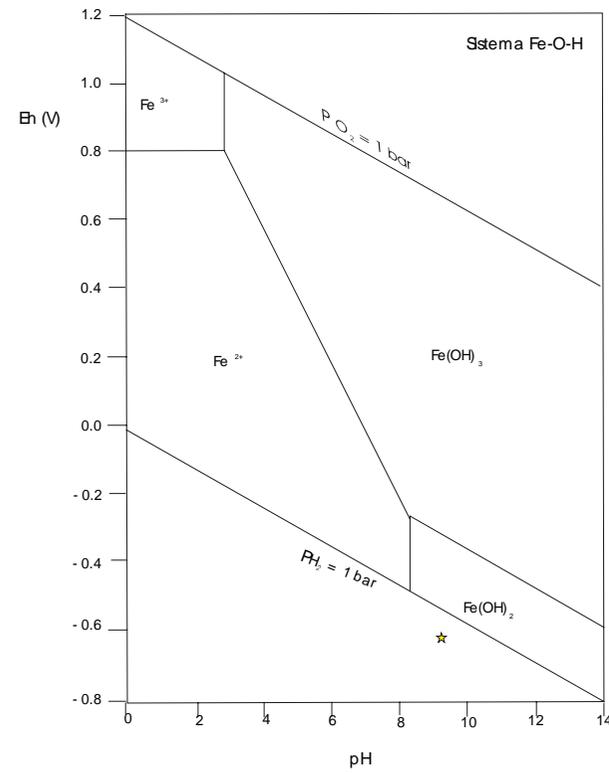


Fig. 5.11.- Diagrama de *Pourbaix* con la representación de las muestras del Acuífero del Campo de Dalías

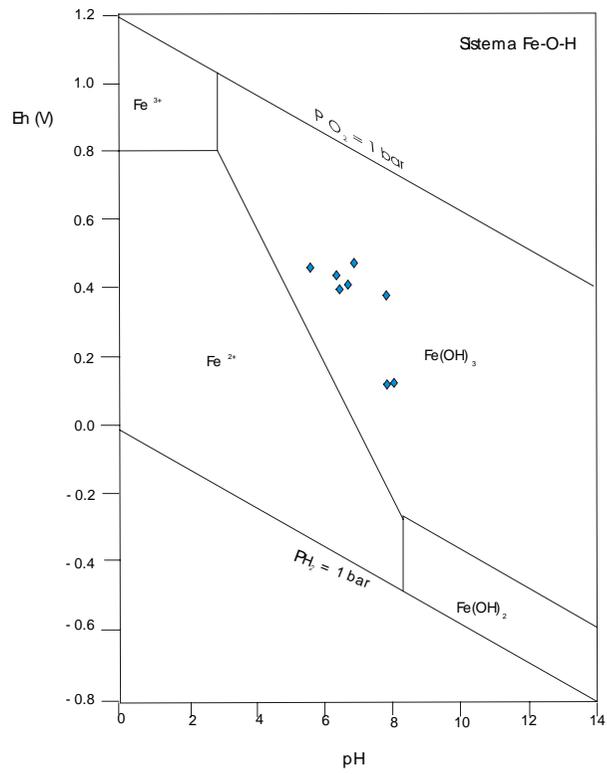


Fig. 5.12.- Diagrama de *Pourbaix* con la representación de las muestras de la Cuenca Terciaria de *As Pontes*

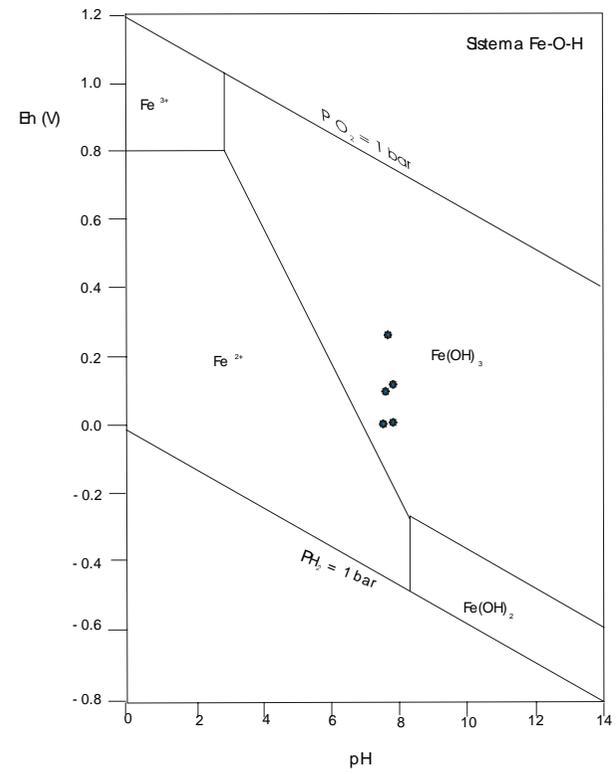


Fig. 5.13.- Diagrama de *Pourbaix* con la representación de las muestras del Acuífero Detrítico Central del Duero-Arenales

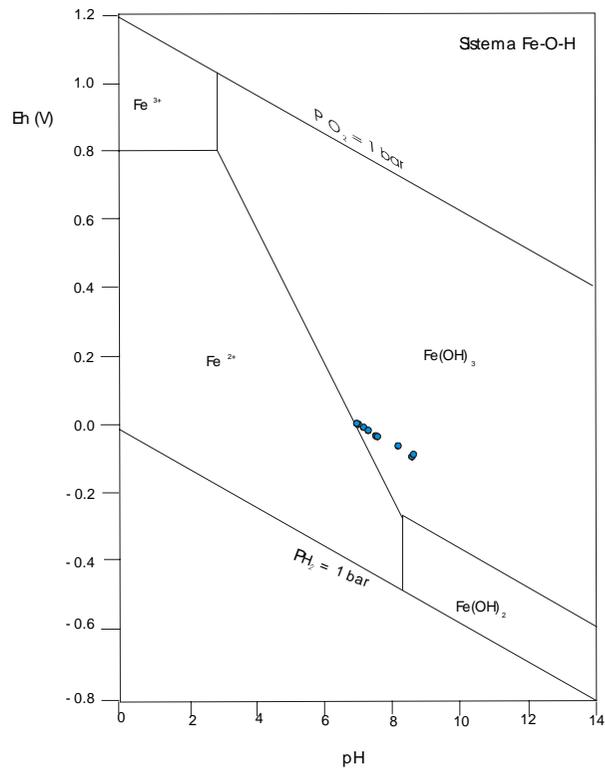


Fig. 5.14.- Diagrama de *Pourbaix* con la representación de las muestras del Acuífero Terciario Detrítico de Madrid

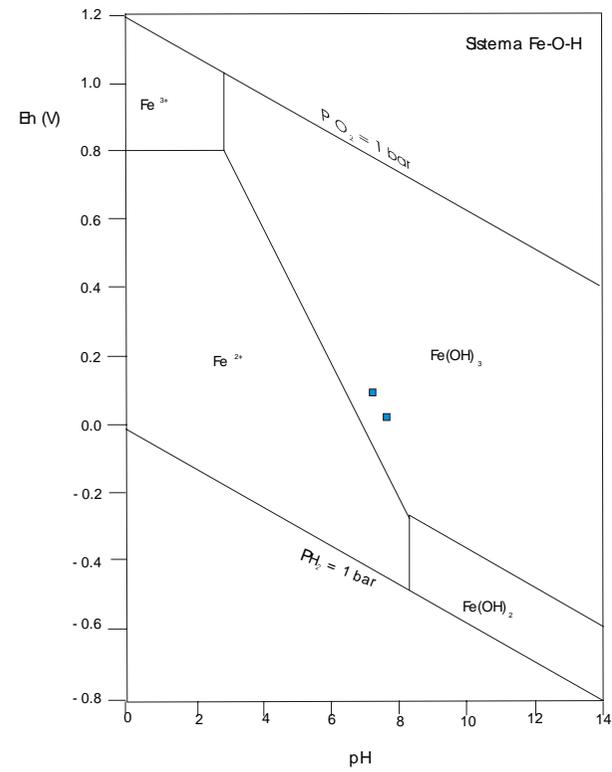


Fig. 5.15.- Diagrama de *Pourbaix* con la representación de las muestras del Acuífero de la Plana de Castellón/Onda

5.3. ESTUDIO DE LAS INCRUSTACIONES

5.3.1. Observación mediante R.O.T.V.

En el apartado 4.4.2 ya se comentó el fundamento del registro óptico de vídeo-TV (R.O.T.V.), por lo que nos limitaremos a describir las imágenes obtenidas por este sistema en aquellas captaciones en las que fue posible hacer el mencionado registro. En todos los casos fue el personal de la empresa *TRAGSATEC* quien realizó las filmaciones.

De todas las captaciones estudiadas, se realizaron los registros de vídeo únicamente en las prospectadas gracias al proyecto CICYT **HID 96-1309** que es en el que se establece la colaboración entre el Dpto. de Geodinámica de la U.C.M. y la empresa *TRAGSATEC*. En el resto de las muestras no fue posible disponer de esta técnica por lo que no disponemos de la imagen de las incrustaciones en su estado natural.

A la vista de las incrustaciones encontradas en las diferentes captaciones, podemos agruparlos en varios tipos bien definidos:

- Incrustaciones rojas de aspecto terroso. Se suelen dar en la parte superior de las captaciones, donde todavía puede haber cierta aireación. Se desprenden fácilmente con el roce de la cámara de vídeo enturbiando el agua.
- Tubérculos y nódulos ferruginosos. De desarrollo variable y más consistentes que los anteriores, denotan la presencia, en cantidad importante, de hierro. A veces forman costras irregulares, con mineralogía de *hematites*.
- Chorreras ferruginosas. Similares a las anteriores, pero ligadas a zonas de circulación de agua. Habitualmente forman concreciones de aspecto duro en la vertical. Cuando se desprenden por contacto con la cámara, cae toda la formación como si se tratara de una estalactita.

- Nódulos oscuros. A veces casi negros por completo. Suelen formar concreciones nodulosas o tuberculosas, con aspecto y mineralogía de *goethita*. Aparecen a cierta profundidad, por lo que pueden estar ligadas a ambientes más reductores.
- Piritizaciones. Muy raras, pero se dan en algunos casos. Ambientes claramente reductores.
- Costras calcáreas. A veces se observan costras duras y blanquecinas producidas por precipitación de carbonatos. Su origen no tiene relación con la actividad biológica, aunque sí se asocia con otros tipos de depósitos ferruginosos.
- Geles orgánicos. De origen inconfundiblemente orgánico. Se asocian a las costras ferruginosas, pudiendo llegar a ser dominantes entre las incrustaciones.

Pasamos a continuación a resumir brevemente los tipos de incrustación observada en las captaciones.

- **TT-1:** rojas de aspecto terroso
- **TT-2:** incrustaciones pardas, sin llegar a ser negras
- **TT-4:** nódulos pardos, más oscuros que en TT-2
- **TT-5:** similar a TT-4
- **TT-6:**
 - Película fina de óxidos, formando pequeños tubérculos
 - A partir de 360 m recubrimiento total por nódulos negros
- **TT-7:**
 - Chorreras ferruginosas hasta 90 m
 - Nódulos ferruginosos hasta 130 m
 - Tubérculos pardos a partir de 130 m

- **TT-8:**
 - Costras calcáreas hasta 102 m
 - A partir de 102 m, obstrucción ferruginosa total
- **TT-9:** gel orgánico. A partir de 132 m hay un tapiz mucilaginoso completo que obstruye totalmente las rejillas
- **TT-10:**
 - Incrustaciones rojas de aspecto terroso
 - A partir de 262 m nódulos negros
- **TT-11:** costras ferruginosas que se hacen nodulares con la profundidad
- **TT-12:**
 - Aguas y filtro muy limpios
 - Incrustaciones sólo en las uniones (origen electrolítico)
- **AP-1:**
 - Costras ferruginosas
 - Geles orgánicos
 - Piritizaciones
- **AP-2:**
 - Geles orgánicos
 - Nódulos ferruginosos hacia el fondo
- **AP-3:** pocas incrustaciones. Algunos geles
- **AP-4:**
 - Costras ferruginosas hasta 280 m
 - A partir de aquí, tubérculos negros
- **AP-5:**
 - Depósitos terrosos en zonas superiores
 - Nódulos ferruginosos a mayor profundidad

- **AP-6:** tubérculos ferruginosos con algunos geles orgánicos
- **CC-1:**
 - Depósitos poco adhesivos con gran cantidad de partículas en suspensión. Posiblemente hidróxidos de hierro
 - A mayor profundidad el agua aclara. Depósitos tuberculosos de gran tamaño que disminuyen el diámetro de la captación (69 m aproximadamente). Obstrucción parcial del sondeo
- **CC-2:** partículas limo-arcillosas que tapizan la entubación
- **CC-3:**
 - Costra dura de óxidos con poca adhesividad
 - Con la profundidad aumentan los depósitos, de un 50% de obstrucción aproximada en el metro 61 hasta la obstrucción casi total a partir del 83
- **MM:** incrustaciones rojizas terrosas
- **MZ:** poco desarrollo de incrustaciones. Aumentan las ferruginosas a partir de 358 m
- **AL:**
 - Tubérculos ferruginosos aumentando con la profundidad
 - Costras negras, más abundantes cuanto más profundo
 - Estado muy avanzado de corrosión
- **H:**
 - Costras rojas más o menos amorfas
 - A partir de 200 m depósitos globulares negros
- **F:** depósitos rojo claro de aspecto terroso

5.3.2. Estabilidad mineralógica: programa WATEQF

El programa informático WATEQF es un programa de especiación química que determina las especies minerales estables en un agua determinada en función de las características físico-químicas de la misma. La presencia de los minerales que determina el programa como estables depende de la precisión de la analítica empleada y, sobre todo, de la existencia real de las especies minerales consideradas en la litología del acuífero.

La aplicación del programa supone la adopción de una serie de correcciones y de las asunciones que se detallan a continuación (*Moses y Herman, 1986; Plummer et al., 1986*):

- No se ha realizado ningún tipo de corrección en los valores de alcalinidad introducidos, asumiendo que toda la alcalinidad es debida al carbono inorgánico
- Los datos analíticos se han introducido en mg/L
- Los coeficientes de actividad se han calculado teniendo en cuenta la hipótesis de *Debye-Huckel*, dado que tratamos con disoluciones muy diluidas (*Klotz y Rosemberg, 1981*)
- No se han introducido parámetros experimentales acerca del **Eh**
- El cálculo del **pE** se ha realizado a partir del oxígeno disuelto (utilizando la ecuación de *Nerst*) salvo en las muestras de aguas carbónicas en las que, dada la escasez de oxígeno disuelto, se ha calculado directamente a partir del Eh

A continuación enumeramos las fases minerales que, según el programa, son estables en cada captación, lo que no quiere decir que dichas fases se encuentren necesariamente en las mismas. Más adelante

compararemos estos resultados con la imagen de vídeo para poder aventurar cuál será la mineralogía más probable de las incrustaciones.

Quisiéramos comentar que, si bien en trabajos anteriores (*Senderos, 1995; Senderos et al., 1995*) estos datos los hemos apoyado con identificación mediante difracción de rayos-X, las presentes muestras han dado cristalinidades tan bajas, en general, que las difracciones realizadas por el Departamento de Cristalografía y Mineralogía la U.C.M., no han podido aportar datos suficientemente contundentes acerca de la mineralogía de las incrustaciones, razón por la cual no se han incluido.

TABLA 5.5.- Minerales estables, según el programa WATEQF, en las muestras de acuíferos carbonatados

		Calcita	Aragonito	Dolomita	Magnesita	Siderita	Fe(OH) ₃	Goethita	Hematites	Maghemita	Magnetita
U.H. 04.04	TT-1										
	TT-2										
	TT-4										
	TT-5										
08.29	TT-6										
Xira	TT-11										
U.H.	CC-1										
08.25	CC-3										
08.07	CC-2										
06.14	AL										

TABLA 5.6.- Minerales estables, según el programa WATEQF, en las muestras de acuíferos detríticos

		Calcita	Aragonito	Dolomita	Magnesita	Siderita	Fe(OH) ₃	Goethita	Hematites	Maghemita	Magnetita
U.H. 03.05	M-1				■		■	■	■	■	■
	M-2	■					■	■	■	■	■
	M-3	■					■	■	■	■	■
	M-4						■	■	■	■	■
	M-5	■					■	■	■	■	■
	M-6	■	■	■			■	■	■	■	■
	M-7	■	■				■	■	■	■	■
	M-8	■	■				■	■	■	■	■
	M-9	■		■			■	■	■	■	■
U.H. 08.12	TT-7	■	■	■				■	■	■	■
	TT-8	■						■	■	■	■
As Pontes	TT-9						■	■	■	■	■
	TT-10						■	■	■	■	■
	AP-1						■	■	■	■	■
	AP-2						■	■	■	■	■
	AP-3						■	■	■	■	■
	AP-4						■	■	■	■	■
	AP-5						■	■	■	■	■
AP-6						■	■	■	■	■	
U.H.02.17	TT-12							■	■	■	■
	MM	■	■	■			■	■	■	■	■
	MZ	■	■	■			■	■	■	■	■
	H	■						■	■	■	■
	F	■				■	■	■	■	■	■

TABLA 5.7.- Minerales estables, según el programa WATEQF, en las muestras de fuentes carbónicas en *hard-rocks*

		Calcita	Aragonito	Dolomita	Magnesita	Siderita	Fe(OH) ₃	Goethita	Hematites	Maghemita	Magnetita
Campo de Calatrava	Y-1	■	■	■			■	■	■	■	■
	Y-2					■		■	■	■	■
	Y-3							■	■	■	■
	Y-4						■	■	■	■	■
	Y-5	■	■	■	■	■		■	■	■	■
	Y-6							■	■	■	■
Plutónico-metamórfico de Cataluña	Y-7	■	■	■	■						
	Y-8	■	■	■			■	■	■	■	■
	Y-9	■	■	■		■		■	■	■	■
	Y-10	■	■	■				■	■	■	■
	Y-11	■	■	■		■		■	■	■	■
	Y-12	■	■	■	■		■	■	■	■	■
	Y-13	■	■	■	■		■	■	■	■	■
	Y-14							■	■		■

En las tablas 5.5, 5.6 y 5.7 se representan los resultados del programa WATEQF para los diferentes acuíferos. Únicamente se han obviado la *pirolusita* y demás minerales de manganeso por aparecer únicamente en el Acuífero de Madrid así como la *huntita* que sólo aparece como estable en las muestras Y-9 e Y-13.

Los cuadros sombreados corresponden a los minerales que aparecen como estables en cada una de las muestras.

A continuación describiremos las características más significativas de cada uno de estos minerales de cara a su posible presencia en las incrustaciones observadas en las captaciones.

- *Calcita* (CaCO_3). Dada la posibilidad de precipitación directa de la calcita (Klein y Hurlbut, 1999) es posible encontrarla en forma de incrustación.
- *Aragonito* (CaCO_3). Puede aparecer en los mismos ambientes que la *calcita*, cuando la temperatura y presión son más elevadas (Klein y Hurlbut, 1999). Aunque aparece estable en algunas muestras no quiere decir que necesariamente esté presente en las incrustaciones además de la *calcita*. Obsérvese que siempre que aparece como estable también lo hace la *calcita*.
- *Dolomita* ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). Suele coexistir con la *calcita*, favoreciéndose su presencia en casos de hidrotermalismo (Klein y Hurlbut, 1999). Como en el caso anterior, cuando aparece como estable lo hace siempre junto con *calcita*.
- *Siderita* (FeCO_3). Frecuente como alteración de rocas con componentes ferruginosos (Klein y Hurlbut, 1999). Dado su origen no creemos que, en caso de que realmente se encuentre en las incrustaciones, su incidencia sea fundamental.
- *Magnesita* (MgCO_3). Precipita directamente en aguas ricas en ácido carbónico, sobre todo procedente de alteración de rocas metamórficas (Klein y Hurlbut, 1999). Estas características de formación hacen que aparezca frecuentemente en las muestras de la serie "Y" (aguas carbónicas procedentes de rocas plutónicas y metamórficas).
- $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Hidróxido férrico amorfo. Dado el aspecto que presentan, según las imágenes de vídeo, la mayoría de las

incrustaciones, pensamos que éste sí ha de ser uno de los principales componentes de las incrustaciones.

- *Goethita* ($FeO(OH)$). Uno de sus orígenes es por alteración de minerales de hierro en ambientes oxidantes (*Klein y Hurlbut, 1999*). Su aspecto botroidal lo hace inconfundible.
- *Hematites* (Fe_2O_3). Resultado de oxidación de rocas ferruginosas (*Klein y Hurlbut, 1999*). Junto con la *goethita* forman el grueso de la masa de las incrustaciones.
- *Maghemita* (Fe_2O_3). Variedad ferromagnética de *hematites*, muy rara (*Bétekhtine, 1968*). Suponemos que su presencia en las incrustaciones es poco probable debido a su rareza, a pesar de que el programa WATEQF lo da como estable (por ser una variedad de *hematites*).
- *Magnetita* (Fe_3O_4). Aunque es estable en todas las muestras, parece poco probable su presencia en las incrustaciones, ya que su formación en ambientes sedimentarios se restringe a pequeñas formaciones dendríticas (*Klein y Hurlbut, 1999*), las cuales no se observan en las imágenes de vídeo.

En vista de lo anterior, podemos sugerir como componentes fundamentales de las incrustaciones por un lado los depósitos carbonatados, entre los que predominará la *calcita* y, por otro los ferruginosos, entre los que predominarán el *hidróxido férrico amorfo*, *goethita* y *hematites*.

6. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

6. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

6.1. SELECCIÓN DE LOS GRUPOS MICROBIANOS A DETECTAR

Si tenemos en cuenta lo expuesto en los apartados "2.3.-Fijación microbiana del Fe y Mn..." y "3.3.2.-Microorganismos formadores de biopelícula", podemos agrupar los microorganismos por su capacidad y modo de generar incrustaciones.

De los grupos descritos en los apartados citados, se han seleccionado los que, dadas las características ambientales de las captaciones, se han considerado más significativos. Así, enumerando los grupos fundamentales que describíamos en el apartado 3.3.2., se han desechado:

- ***Thiobacillus***, ya que requiere medios con pH entre 1,5 y 3. Teniendo en cuenta que el valor más bajo corresponde a la muestra **Y-14**, con un valor de **5,5**, no es probable encontrar este género, al menos, como responsable fundamental del desarrollo de la *biopelícula*.
- ***Metallogenium***, dado que también requiere pH muy ácido, entre 3,5, y 5, valores no alcanzados en ninguna de las muestras. Si tenemos en cuenta, además, que algunos autores lo asocian a *Thiobacillus* (Walsh y Mitchel, 1972) e, incluso hay quien duda de que se trate de verdaderas formas vivientes (Ghiorse, 1984), considerándose sólo como depósitos ferruginosos asociados a la presencia de ferrobacterias, justifica el que también se hayan desechado.
- ***Crenothrix/Clonothrix***, dado que, al ser metanooxidantes requieren, al menos, trazas de metano (Ghiorse, 1984, Balows et al., 1991), circunstancia que no se ha dado en ninguna muestra. Además, al formar asociaciones sinérgicas con otras bacterias, hongos e, incluso, algas, es

prácticamente imposible obtener cultivos puros de ellas
(Ghiorse, 1984; Hirsch, 1986).

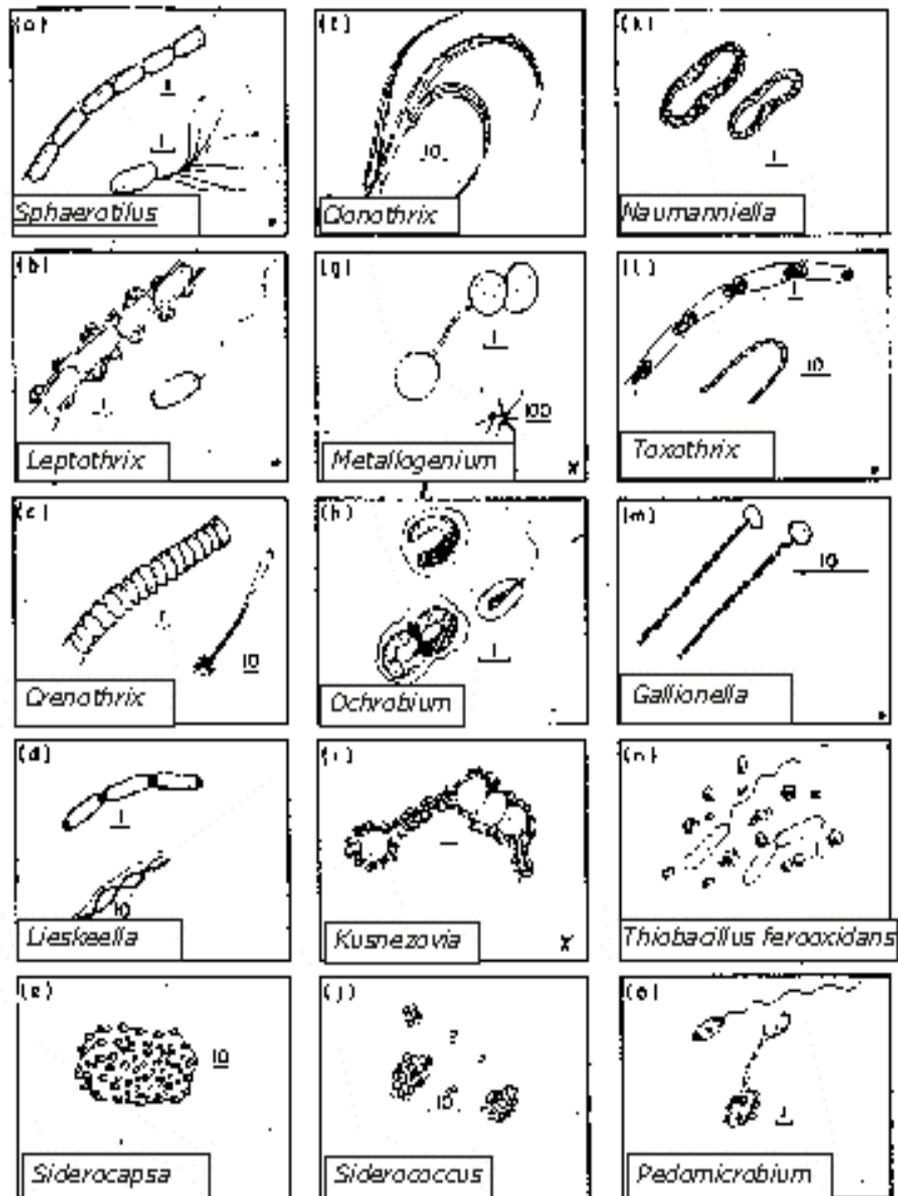


Fig. 6.1.- Morfología de los principales tipos de ferrobacterias. Obsérvese la facilidad de identificación *de visu* en preparación microscópica.
Modificado de Cullimore y McCann, 1977.

Se consideran, por tanto, como grupos microbianos fundamentales a detectar en las captaciones de aguas subterráneas, en los casos más generales, como son los que nos ocupan, los siguientes:

- ***Gallionella***. Básicamente deposita hierro por mecanismos enzimáticos (ver apartado 2.3.1.), ya que es *quimioautótrofa* y, por tanto utiliza Fe-II como dador de electrones para sintetizar el ATP necesario para la fijación del CO₂ mediante el *ciclo de Calvin*. También se le puede atribuir la formación de depósitos de hierro por fijación no enzimática debido a las variaciones que su presencia induce en el medio (ver apartado 2.3.2.). El resultado de la oxidación del Fe-II es la formación de Fe-III insoluble que utiliza para producir un "tallo" helicoidal de **hidróxido de Fe III** (figura 6.1) que fija la célula al sustrato, ya que es de vida sésil (*Ghiorse, 1984; Hanert, 1986*). La formación de la *biopelícula* se debe, por tanto, a dichos depósitos de hidróxido de Fe III, por lo que la consideramos dentro de ese grupo, sin valor taxonómico, que hemos denominado como **ferrobacterias** (*Cullimore y McCann, 1977; Hanert, 1986*).
- ***Leptothrix/Sphaerotilus***. Son *quimioorganótrofos aerobios*. Depositán óxidos de hierro en la pared celular, formando filamentos finos y muy largos, razón por la cual pertenecen a las llamadas *bacterias filamentosas*. Se las agrupa debido a que suelen encontrarse asociadas y son fácilmente confundibles (*Cullimore y McCann, 1977*). Aunque algunos autores las incluyen en el grupo de bacterias generadoras de *biopelícula* mediante mecanismos enzimáticos (*Driscoll, 1986*), la utilización del óxido de hierro en la formación de los filamentos ("vainas") no justifica que sea por actividad metabólica, por lo que otros autores las incluyen en el grupo de generadores de *biopelícula* mediante mecanismos no enzimáticos (*Mulder, 1986*). Dado que utilizan como fuente de

carbono y energía alcoholes, ácidos orgánicos y azúcares, en pequeña cantidad, se las puede utilizar como **depurador aerobio de aguas**, sobre todo en contaminaciones de tipo agrícola (Mulder, 1986). Dada su capacidad de generar depósitos de hierro, se les incluye, también, en el grupo de las **ferrobacterias** (Cullimore y McCann, 1977).

- ***Hyphomicrobium/Pedomicrobium*** (*Bacterias Formadoras de Yemas*). También generan depósitos de hierro, aunque asociado a exopolímeros ácidos que forman capas viscosas (*Slime Layers*) que contribuyen al desarrollo de las *biopelículas* (Ghiorse, 1984). Aunque aparecen en pozos, no son ni las más abundantes, ni las responsables primarias de la obstrucción de las rejillas (*bioobstrucción*), ni son las pioneras en la colonización de las captaciones de agua subterránea (Balows et al., 1991). Son más frecuentes en el suelo que en las aguas subterráneas. Son organismos *aerobios quimioorganotrofos*. Su deposición de hierro se debe a mecanismos enzimáticos depositándose tanto en la hifa como en la pared celular de la célula madre. Al igual que *Leptothrix/Sphaerotilus*, pueden actuar como descontaminantes, ya que utilizan las mismas fuentes de carbono (Balows et al., 1991; Ghiorse, 1984).
- ***Siderocapsa***. Heterótrofas no filamentosas. Generan *biopelícula* por la formación de una cápsula gelatinosa extracelular, incrustada de hidróxidos de hierro (Haeckel, 1987). Estas bacterias las incluimos en el grupo denominado "*Slime Formers Bacteria*", es decir, "Bacterias formadoras de exopolímeros" (Cullimore, 1992), al igual que el grupo anterior. Aparte del hierro asociado a los exopolímeros, son capaces de precipitar grandes cantidades de manganeso (Ghiorse, 1984).

- ***Pseudomonas***. Capaces de depositar hierro de forma pasiva (*Haeket, 1987*) además de la propia precipitación no enzimática producto de su, a veces masiva, presencia en el medio. Son *quimioorganotrofos aerobios*, mineralizadores de materia orgánica. Requieren cantidades mínimas de materia orgánica (*Balows, et al., 1991*). Pueden llegar a ser dominantes en los procesos de bioobstrucción, tanto por el hierro que depositan de forma pasiva, como por su propia actividad (*Alford et al., 1987*).

- **Sulfatorreductoras**. Bacterias capaces de reducir de forma **anaerobia** el sulfato (*Summers y Silver, 1978*). Generan H₂S que da lugar al mantenimiento del proceso de corrosión/incrustación (*Chantereau, 1985; Cullimore, 1992*). Suelen asociarse a las ferrobacterias ocupando econichos anaerobios, de modo que éstas se sitúan en la periferia de los tubérculos ferruginosos, mientras que aquéllas lo hacen en el interior (*Cullimore, 1992; Smith, 1982*).

A la hora de aislar e identificar el contenido de microorganismos generadores de *biopelícula* de una captación de agua subterránea, a la vista de los expuesto, podemos agruparlos en función de sus requerimientos y de su particular contribución a la generación de la misma. De esta manera, podemos utilizar la agrupación de *Cullimore* (*Cullimore, 1992*):

- **I.R.B.** (*Iron Related Bacteria*): son las denominadas ferrobacterias. Capaces de desarrollar depósitos de hierro en forma de minerales como *hematites* o *goethita* (*Senderos, 1995*), producto de su actividad metabólica. El hierro lo utilizan bien para la realización de su metabolismo (v.gr. los autótrofos), bien para la formación de estructuras extracelulares de fijación (*Gallionella*) o asociadas a la pared celular (*Leptothrix/Sphaerotilus*). En general son bacterias

aerobias microaerófilas, lo que define los nichos que ocuparán en el pozo.

- **SLYM** (*Slime Formers Bacteria*): en este grupo se incluyen una variedad de microorganismos que tienen en común el producir exopolímeros formados por polisacáridos, fundamentalmente, que se adhieren a las tuberías, obstaculizando el paso del agua a través de los poros de los tramos filtrantes. Bacterias de este tipo son *Hyphomicrobium/Pedomicrobium*, *Siderocapsa* e, incluso, *Pseudomonas*.
- **S.R.B.** (*Sulfate Reducing Bacteria*): grupo formado, exclusivamente, por las bacterias sulfatorreductoras (*Desulfovibrio* y otras). Pueden generar precipitaciones de sulfuros, incluso *pirita*. Son bacterias anaerobias, por lo que no comparten nicho con las ferrobacterias, aunque en las incrustaciones frecuentemente se sitúan las I.R.B. en la periferia aerobia y las S.R.B. en el interior anaerobio.
- **H.A.B.** (*Heterotrophic Aerobic Bacteria*): cualquier tipo de bacteria aerobia heterótrofa, cuya presencia en, cantidad suficiente, modifica las condiciones ambientales (ver apartado 2.3.2.) de tal forma que se llega a producir la autooxidación del hierro, produciéndose la transformación del Fe-II soluble en Fe-III insoluble.

6.2. ANALÍTICA DE LABORATORIO

6.2.1. Técnicas básicas

Habría que hacer constar que, dado que el objetivo del trabajo no es la identificación de especies microbianas, sino la determinación de grupos formadores de *biopelícula*, no se han utilizado

técnicas de aislamiento ni de identificación de especies particulares, sino, solamente, aquéllas que nos permiten diferenciar entre los cuatro grandes grupos de microorganismos descritos en el apartado anterior y su cuantificación.

El "manejo" de los microorganismos *in vivo* se ha realizado siempre en *campana de flujo laminar*. Las tomas de los correspondientes inóculos se realizaron con las medidas de asepsia habituales (figura 6.2), es decir, en las proximidades de una llama (el ambiente en un entorno de 10 cm alrededor de una llama puede considerarse estéril).

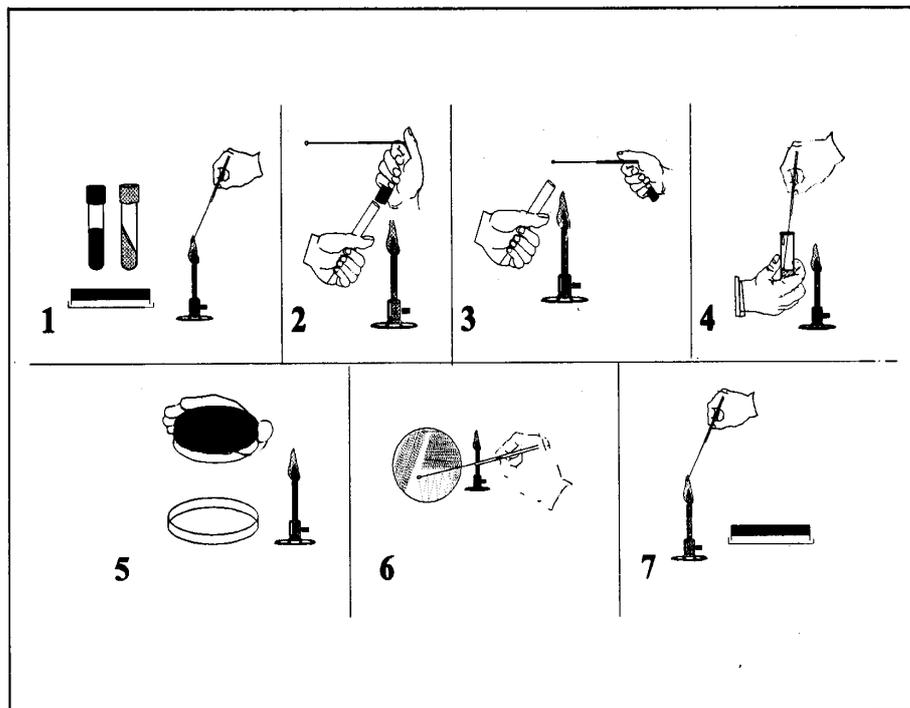


Fig. 6.2.- Manejo de muestras y toma del inóculo (Alonso, 1994)

- Toma del inóculo: de cada una de las muestras se hicieron cultivos en medio sólido y en medio líquido (ver apartado 6.2.2.1. *Medios de cultivo*) según el tipo de microorganismo que se pretendía aislar. La toma del inóculo se realiza con

pipetas calibradas a 1 ml y 0,1 ml directamente de la muestra de agua (ver apartado 4.4.1 *Condiciones de las muestras*).

- Métodos de siembra: tal como se verá en el apartado 6.2.2.1. *Medios de cultivo*, se han utilizado medios sólidos y medios líquidos. En ambos casos se ha procedido a realizar **diluciones** de cada muestra para su posterior recuento. La siembra en medio sólido se lleva a cabo inoculando 0,1 ml directamente de la muestra de agua o de la correspondiente dilución sobre el medio en *placa de Petri*. La extensión del inóculo se realiza, en vez de con el *asa de siembra*, con una *torunda estéril*, ya que, al no pretenderse el aislamiento, se consigue una extensión más homogénea para el posterior recuento de colonias. En medio líquido, se pone directamente 1 ml de muestra o de la correspondiente dilución en el mismo y se homogeneiza invirtiendo el tubo.
- Diluciones: se prepara **suero salino al 9 ‰** de NaCl. Se esteriliza y se vierten 9 ml en una serie de tubos de ensayo (tantos como diluciones se quieran obtener). Las sucesivas diluciones se obtienen inoculando 1 ml de muestra al primer tubo (dilución 10^{-1}), 1 ml de este primer tubo al segundo (dilución 10^{-2}), de este al tercero y así sucesivamente. De cada dilución se procederá a hacer una siembra en la placa o tubo correspondiente (figura 6.3). En nuestro caso, llegamos hasta la dilución 10^{-3} tanto en los medios sólidos como en los líquidos.
- Esterilización: la esterilización de los medios de cultivo, sueros, etc. se realiza por **calor húmedo** en **autoclave**. En el autoclave se calienta agua por encima del punto de ebullición pero a alta presión, con lo que se consigue destruir incluso las endosporas bacterianas. El tiempo de esterilización empleado es de 20 minutos a 120° C.

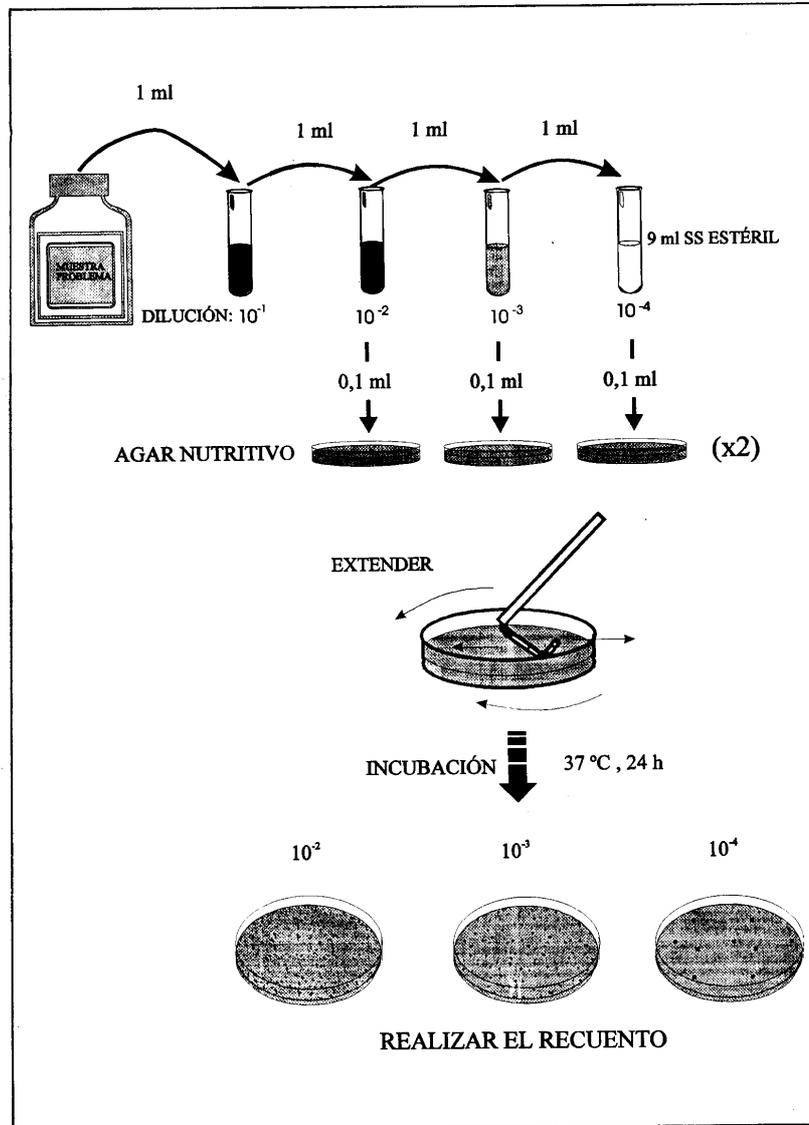


Fig. 6.3.- Método de las diluciones seriadas (Aragón y Bengoechea, 1994)

- Incubación: la incubación se realiza en la correspondiente estufa con los siguientes tiempos y temperaturas:
 - Sulfatorreductoras: se mantienen durante 15 días a $28 \pm 1^{\circ}\text{C}$
 - Resto de cultivos: 8 días a $28 \pm 1^{\circ}\text{C}$

6.2.2. Cultivo y observación

6.2.2.1. Medios de cultivo

A la vista de los grupos microbianos que nos interesaba detectar y dadas las particularidades de ellos, se optó por la elaboración de tres tipos de medio de cultivo:

- Uno general que permitiera el desarrollo de las que habíamos denominado como **H.A.B.**, así como de gran parte de las tipo **SLYM**. Para este fin se optó por utilizar el medio comercial conocido como **T.S.A.** (*Tryptona-Soja-Agar*).
- Un medio específico para **I.R.B.**, con especial énfasis en el desarrollo de *Leptothrix/Sphaerotilus*. Como ya se habían probado varios para ferrobacterias en trabajos anteriores (*Senderos, 1995*), se optó por utilizar el que mejores resultados en la selección de este tipo de bacterias dio: el medio de *Rouf-Stokes*. En un principio se pensó, además, utilizar un medio específico para *Gallionella*, pero dado que el medio de *Rouf-Stokes* no inhibe su desarrollo y que sólo 5 muestras, que además se corresponden todas ellas con los manantiales naturales, presentaban un pH de 6,5 ó inferior, se desestimó la idea (a pesar de ello, en algunas placas con medio de *Rouf-Stokes* creció *Gallionella*).
- Las bacterias sulfatorreductoras, por el hecho de ser anaerobias, requieren medios específicos en los que, además se asegure la anaerobiosis.

Los medios de *Rouf y Stokes* (tabla 6.1) y T.S.A. (tabla 6.2) son medios sólidos cuya preparación es similar: se diluye el medio en 1 litro de agua destilada, agitando, a la vez que se calienta, hasta su total disolución y hasta obtener un líquido cristalino, no turbio. Esto se consigue cuando el conjunto rompe a hervir. Posteriormente se esteriliza en el autoclave y se guarda en nevera hasta su utilización. En el

momento de realizar la siembra, es necesario calentar hasta fundir el medio para poderlo repartir en las correspondientes *placas de Petri*. El inóculo no se podrá echar hasta que el medio haya bajado de, al menos 45° C, estando totalmente sólido.

TABLA 6.1.- MEDIO DE ROUF-STOKES

Peptona	5 g
Citrato férrico-amónico	0,15 g
MgSO ₄ .7H ₂ O.....	0,2 g
CaCl ₂	0,05 g
MnSO ₄ .H ₂ O.....	0,05 g
FeCl ₃ .6H ₂ O	0,01 g
Agar	12 g
Agua destilada	1 l

En ambos casos se preparan, para cada muestra, placas para el inóculo sin dilución y para las diluciones 10⁻¹, 10⁻² y 10⁻³. Para cada caso es necesario preparar 3 placas para que, al hacer el recuento, disminuya la posibilidad de error por haberse estropeado alguna placa.

TABLA 6.2.- MEDIO T.S.A.

Peptona de Soja	5 g
Peptona de Caseína	15 g
NaCl	5 g
Agua destilada	1 l

El medio para sulfatorreductoras es un medio líquido. Consta de dos soluciones (tabla 6.3), de las cuales la "solución 2" se debe preparar en el mismo momento de inocular el medio. La "solución 1", una vez preparada hay que repartirla en tubos de 20 ml con tapón de rosca, a razón de 10 ml por tubo antes de la esterilización. Como en caso anterior, el medio preparado se deberá guardar en nevera y con los tapones puestos.

TABLA 6.3.- MEDIO PARA S.R.B.

<u>Solución 1</u>	
- Lactato sódico	3,5 g
- Extracto de carne.....	1 g
- Peptona.....	2 g
- MgSO ₄ .7H ₂ O	2 g
- Na ₂ SO ₄	1,5 g
- K ₂ HPO ₄	0,5 g
- CaCl ₂	0,1 g
- Agua destilada.....	1 l
<u>Solución 2</u>	
- Fe(NH ₄) ₂ (SO ₄) ₂ .6H ₂ O.....	0,392 g
- Ascorbato sódico.....	0,1 g
- Agua destilada.....	100 ml

El inóculo se realiza en nueve tubos para cada muestra: 3 tubos con 0,1 ml del agua de la muestra (dilución 10^{-1}), tres con la dilución 10^{-2} y tres con la 10^{-3} . A continuación se añade la "solución 2" a razón de 0,1 ml/10 ml de medio (es decir, 0,2 ml por tubo) y se rellenan los tubos con la "solución 1" hasta el mismo borde **para asegurar la anaerobiosis**, se tapa y se pone a incubar. En este caso, el que se rellenen tres tubos de cada dilución, no es, como en el caso de las placas, para verificar que no haya errores, sino que, como veremos en el apartado 6.2.3.-*Recuento...*, la estimación de las poblaciones se hace estadísticamente en función de qué tubos hayan dado reacción positiva (coloración negra, por formación de sulfuro de hierro, tras la incubación) con respecto a los que no.

6.2.2.2. Tinciones

En principio hay que considerar la tinción de las células como requisito imprescindible para su observación al microscopio. A pesar de ello, dadas las características de las ferrobacterias, se pueden identificar perfectamente utilizando la "microscopía de contraste de fases" (ver

apartado 6.2.2.3). De todos modos se han utilizado tres tipos de tinciones adecuadas al tipo de colonia identificada en los medios de cultivo sólido. Estas tinciones han sido: *tinción de Gram*, *tinción de Meyers* y *tinción de vainas*.

TABLA 6.4.- TINCIÓN DE GRAM

1	Se toma el inóculo con el asa de siembra directamente de la placa
2	Se extiende el inóculo en un portaobjetos con una gota de agua: frotis
3	Se deja secar al aire
4	Se fija el frotis a la llama
5	Se procede a la tinción: <ul style="list-style-type: none">- 2 min con cristal violeta- 1 min con lugol (actúa como mordiente)- 30 seg de decoloración con alcohol- Lavado suave con agua destilada- 1 min con safranina (contraste)- Lavado con agua y secado
6	Se observa al microscopio con el objetivo de inmersión

A. Tinción de Gram: es una de las tinciones más utilizadas en microbiología. Permite diferenciar las bacterias en dos grupos: *Gram +* y *Gram -*. Las *Gram +* se tiñen de azul por el *cristal violeta* y no pierden esa coloración durante los pasos sucesivos. Las *Gram -* pierden esa coloración y aparecerán teñidas, por tanto, de rosa debido a la *safranina* (tabla 6.4). La diferencia está determinada por la composición de la envoltura celular. Las bacterias *Gram +* poseen una malla de peptidoglicano en su parte más externa, mientras que las *Gram -* poseen una estructura doble, ya que recubriendo al peptidoglicano presentan una membrana externa que envuelve a toda la célula (Velasco, 1995).

B. Tinción de Meyers: es una tinción específica para ferrobacterias. Utiliza un preparado que reacciona con el hierro, separándolo de la materia celular y dándole tonalidad verdosa (*ácido acético y ferrocianuro potásico*), además de un colorante general (*safranina*) que tiñe de rosa las células. Es una tinción muy interesante ya que permite diferenciar claramente las ferrobacterias de otro tipo de bacterias de morfología similar en función del contenido en hierro (*Cullimore y McCann, 1977*).

TABLA 6.5.- TINCIÓN DE MEYERS

1	Se toma un inóculo directamente de la placa con el asa de siembra
2	Se extiende el inóculo en un portaobjetos con una gota de agua
3	Se deja secar al aire
4	Se cubre la preparación con metanol durante 15 min para fijar
5	Se calienta hasta su ebullición una mezcla 1:1 de: <ul style="list-style-type: none">- Ferrocianuro potásico al 2 %- Ácido acético al 2 %
6	Se sumerge 2 min el portaobjetos en la mezcla en ebullición
7	Se lava suavemente con agua destilada una vez frío
8	Se tiñe de 5 a 10 min con safranina acuosa al 2 %
9	Se lava, se seca y se examina

C. Tinción para “vainas”: esta tinción es específica para teñir las “Vainas” de las bacterias filamentosas, en general. No se aprecia la célula con la resolución con que se aprecia con otros tipos de tinciones, pero, en cambio, tiñe las vainas aunque estén vacías. Esto es muy importante porque es frecuente que, durante el proceso de tinción, según los métodos normales, las bacterias se separen entre sí quedando las vainas vacías.

TABLA 6.6.- TINCIÓN PARA VAINAS

1	Se toma el inóculo con el asa de siembra
2	Se realiza el frotis en el portaobjetos
3	Se cubre 5 min con cristal violeta al 0,1 % en solución acuosa (colorante específico para vainas)
4	Se lava suavemente con agua destilada
5	Se deja secar y se examina al microscopio con el objetivo de inmersión

Con estas tres tinciones podemos diferenciar *grosso modo* los grandes grupos de microorganismos en función de su actividad formadora de *biopelículas* (H.A.B., I.R.B., SLYM). Lógicamente no incluimos las S.R.B., dado que se detectan mediante el medio específico descrito en el apartado anterior.

La tinción de *Gram* nos permite observar la morfología de cada tipo de microorganismo, junto con su estructura de pared celular. La de "vainas" permite diferenciar las bacterias filamentosas. Tanto en uno como en otro caso, la tinción de *Meyers* nos dirá si aquellas bacterias, filamentosas o no, depositan hierro.

6.2.2.3. Técnicas microscópicas

Dado que, como ya se ha comentado, es posible la identificación *de visu* de las ferrobacterias debido a sus particulares morfologías, la observación microscópica adquiere una importancia relevante a la hora de su identificación.

Se ha utilizado tanto la microscopía en **campo claro** como en **contraste de fases**, en ambos casos con aumentos de **1000X** y, por tanto, con el correspondiente *objetivo de inmersión*. La microscopía en **campo claro** es la que podríamos llamar microscopía convencional. En este caso es necesario la tinción de las preparaciones, tal como se

describió en el apartado anterior. Dado que la mayoría de las bacterias generadoras de *biopelículas* tienen estructuras extracelulares sólidas (formadas por los óxidos e hidróxidos de hierro que forman las incrustaciones), la microscopía en **contraste de fases** es una buena opción, dado que al no necesitar tinción, es mucho más rápido, aparte de permitir la observación de los microorganismos *in vivo*.

El microscopio de contraste de fases difiere del microscopio óptico convencional en, al menos dos características (*Velasco y Alonso-Urmeneta, 1995*):

- Objetivos con anillo de fase que lleva marcado un anillo de un determinado diámetro en su lente frontal
- Un condensador de fase que carece de diafragma y lleva intercalado un disco opaco con una pupila circular complementaria del anillo del objetivo correspondiente.

En estas condiciones se produce un desfase de los rayos principales, que no atraviesan las células, y los rayos refractados, lo que provoca un aumento del contraste de las estructuras.

6.2.3. Recuento e identificación

6.2.3.1. Procedimiento

Dados los dos tipos de cultivo empleados -medio sólido y medio líquido-, se empleará un procedimiento diferente para cada uno de ellos. Así, el recuento de células en medio sólido se hace por contaje de **UFC** ("unidades formadoras de colonia") mediante el método de las diluciones seriadas. El recuento en medio líquido (sulfatorreductoras) se hace estadísticamente mediante el método **NMP** (número más probable).

A. Diluciones seriadas: el método consiste en realizar diluciones seriadas de la muestra (ver apartado 6.2.1.) que

posteriormente se siembran en el medio de cultivo a razón de tres placas por cada dilución. Tras el periodo de incubación de cada **célula viable** se habrá originado una colonia. Las colonias se cuentan, mediante un **contador de colonias**, que es un aparato que consta de un soporte donde encaja la placa de *Petri* con una luz que ilumina por debajo; sobre todo ello, una lupa permite ver la totalidad de la placa para puntear las colonias una por una con un rotulador acoplado a un marcador, de modo que cada vez que marcamos una colonia con un punto, el marcado aumenta una unidad.

TABLA 6.7.- N.M.P. PARA SERIES DE TRES TUBOS CON 1, 0,1 Y 0,01 ml DE MUESTRA (B.O.E., 1993)

3 x 1 ml	3 x 0,1 ml	3 x 0,01 ml	N.M.P.	Límite inferior	Límite superior
0	1	0	0.3	<0.1	1.7
1	0	0	0.4	0.1	2.1
1	0	1	0.7	0.2	2.7
1	1	0	0.7	0.2	2.8
1	2	0	1.1	0.4	3.5
2	0	0	0.9	0.2	3.8
2	0	1	1.4	0.5	4.8
2	1	0	1.5	0.5	5.0
2	1	1	2.0	0.8	6.1
2	2	0	2.1	0.8	6.3
3	0	0	2.3	0.7	12.9
3	0	1	4	1	18
3	1	0	4	2	21
3	1	1	7	2	28
3	2	0	9	3	39
3	2	1	15	5	51
3	2	2	21	8	64
3	3	0	20	10	140
3	3	1	50	20	240
3	3	2	110	30	480

Dado el volumen de microorganismos observados estabilizamos las diluciones en 10^{-1} , 10^{-2} y 10^{-3} . Una vez obtenidas las colonias, el recuento se hace de aquélla que posea entre 30 y 300.

B. Número más probable: es una estimación puramente estadística. Se utilizan varios niveles de dilución de un banco de diluciones y se inoculan tres o cinco tubos de cada nivel de dilución. El crecimiento celular modifica el medio de tal modo que diferencian los tubos en los que ha habido crecimiento de los que no lo ha habido. Existen unas tablas en las que aparece el **número más probable** de células por mililitro, en función de la cantidad de tubos que hayan dado positivo de cada nivel de dilución, con límites de confianza del 95% (*B.O.E., 1983*).

En este caso se utilizaron las diluciones 1, 0,1, y 0,01 ml, con tres tubos para cada una de ellas (tabla 6.7).

6.2.3.2. Tipos de colonias

Predominan cuatro tipos de colonias, aunque, en algunas muestras aparecen, de manera esporádica otros tipos. Los cuatro tipos principales se describen a continuación:

1. Colonias blancas, pequeñas, bastante regulares en forma y tamaño. Son, con diferencia, las más abundantes. Aparecen tanto en el medio T.S.A. como en el de *Rouf-Stokes*. Corresponden a bacilos *Gram negativas* sin depósitos de hierro, que se observan casi siempre aislados o formando pequeñas cadenas lineales no interpretables, en ningún caso, como filamentos. Dadas estas características podríamos considerarlos como pertenecientes a ese grupo que denominamos H.A.B., es decir bacterias heterótrofas aerobias, en general, cuya contribución a la formación de *biopelículas* sería por modificación de las condiciones del medio.
2. Colonias irregulares, color salmón y de mayor tamaño que las anteriores. Aparecen igualmente en ambos medios aunque en

menor cantidad, llegando a faltar en algunas ocasiones. Son cocos *Gram +*, sin depósitos de hierro, por lo que podríamos considerar que, al igual que los bacilos anteriores, pertenecen a ese grupo de aerobios heterótrofos - H.A.B.

3. Colonias más o menos redondeadas, más gruesas en la parte central, de color ocre claro y aspecto gelatinoso (SLYM). Más abundantes en el medio de *Rouf-Stokes*, aunque aparecen en los dos. Al microscopio son bacilos *Gram -*, junto a los cuales se aprecian depósitos de hierro, con tinción de *Meyers*, en muy pequeña cantidad.
4. Colonias de negras a pardo negruzcas, redondeadas y, las de mayor tamaño, de superficie agrietada. Aunque pueden aparecer en los dos tipos de medio, siempre son más abundantes en el medio de *Rouf-Stokes*. Al microscopio aparecen claramente filamentosas, *Gram-*, y rodeadas de depósitos de hierro en tinción de *Meyers*. Estas bacterias son claramente ferrobacterias (I.R.B.) filamentosas. Esta descripción se ajusta a la de las bacterias del grupo *Leptothrix/Sphaerotilus* (Mulder, 1986).

Aparte de estos cuatro tipos más frecuentes aparecen otros de manera esporádica en alguna de las placas, como, por ejemplo unas colonias blancas plumosas que, al microscopio presentan la típica forma globosa de las levaduras (tal vez producto de alguna contaminación). En cualquier caso, como ya dijimos anteriormente, al no tratarse de un trabajo de microbiología en sentido estricto, no hemos creído necesaria la identificación específica de los microorganismos presentes en las muestras de agua, sino su adscripción a cada uno de los cuatro grupos en función de su comportamiento a la hora de generar obstrucciones en las captaciones de agua subterránea.

De las sulfatorreductoras, lógicamente, al desarrollarse en medio líquido específico, no se han hecho preparaciones microscópicas.

6.2.3.3. Recuento

Teniendo en cuenta los procedimientos descritos anteriormente, se hizo el recuento de colonias en el medio T.S.A., de colonias en el medio de *Rouf-Stokes* y de células/ml, según el método del número más probable, para el medio de sulfatorreductoras. En el primer caso, al ser un medio orgánico general, obtendremos la cantidad de **aerobios heterótrofos totales (H.A.B.)**, en el segundo, al ser un medio específico para ferrobacterias obtendremos el número de éstas (**I.R.B.**) y, el tercero, nos dará el total de sulfatorreductoras (**S.R.B.**). El problema que nos encontramos con la analítica de laboratorio es la determinación, con exactitud, de cuáles de las colonias de los medios sólidos pertenecen a bacterias formadoras de exopolímeros (**SLYM**), de modo que la estimación de éstas se ha realizado con la ayuda del **método B.A.R.T.**, que se describe en el apartado próximo.

TABLA 6.8.- Recuento microbiológico de las muestras de aguas carbónicas

	Medio de cultivo		
	T.S.A.	Rouf-Stokes	Sulfatorreductoras
Y-1	0	0	10
Y-2	0	0	100
Y-3	120	180	100
Y-4	120	260	110
Y-5	11000	3200	1000
Y-6	2200	5300	10
Y-7	0	0	0
Y-8	0	0	0
Y-9	30	90	0
Y-10	0	0	0
Y-11	80	80	0
Y-12	100	120	0
Y-13	0	0	0
Y-14	0	0	0

TABLA 6.9.- Recuento microbiológico de las muestras de acuíferos carbonatados

	Medio de cultivo		
	T.S.A.	Rouf-Stokes	Sulfatorreductoras
TT-1	380	0	5
TT-2	10	0	0
TT-4	100	0	2
TT-5	400	1300	2
TT-6	2000	1310	1000
TT-11	7100	2220	1000
CC-1	34000	610	3
CC-2	21700	2210	1
CC-3	1140	0	1000
AL	146000	102000	5000

TABLA 6.10.- Recuento microbiológico de las muestras de acuíferos detríticos

	Medio de cultivo		
	T.S.A.	Rouf-Stokes	Sulfatorreductoras
M-1	0	0	0
M-2	10	10	10
M-3	100	100	10
M-4	22000	1000	10
M-5	100000	1000	10
M-6	50000	570	0
M-7	200	500	0
M-8	350	0	5
M-9	500	1000	10
TT-7	78000	63000	10
TT-8	203000	238000	1000
TT-9	1770	1100	5
TT-10	1120	100	110
TT-12	198000	197000	10
AP-1	500	70	1000
AP-2	3800	15100	7
AP-3	2300	310	7
AP-4	3080	15100	50
AP-5	3900	13600	1000
AP-6	100	4200	15
MM	6300	4100	21
MZ-0	2290	1980	1000
MZ-20	1280	1060	500
MZ-50	340	710	1000
MZ-100	620	860	110
H-150	1900	5200	50
H-225	0	1400	1000
F-115	70000	440000	10
F-130	330	16000	10

Fig. 6.4.- Abundancia relativa de cada grupo de microorganismos - Acuíferos detríticos

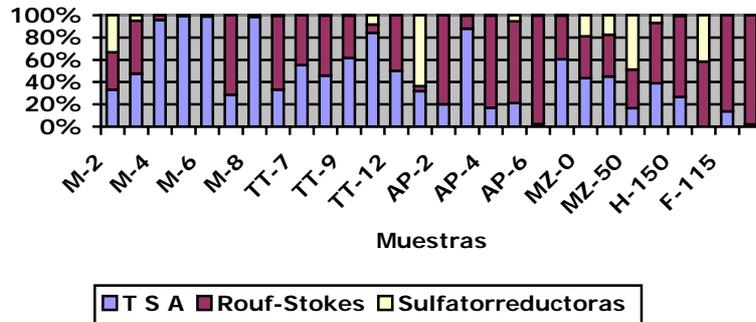


Fig. 6.5.- Abundancia relativa de cada grupo de microorganismos - Acuíferos carbonatados

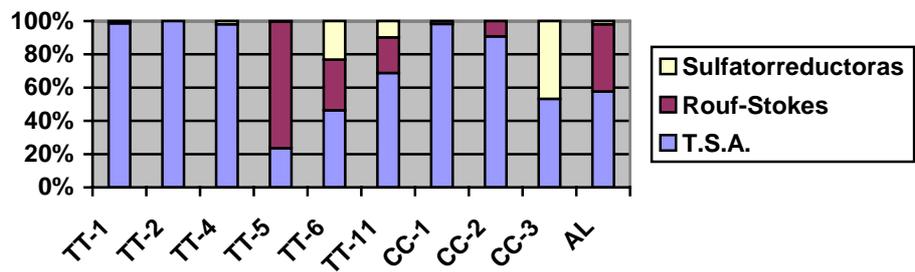
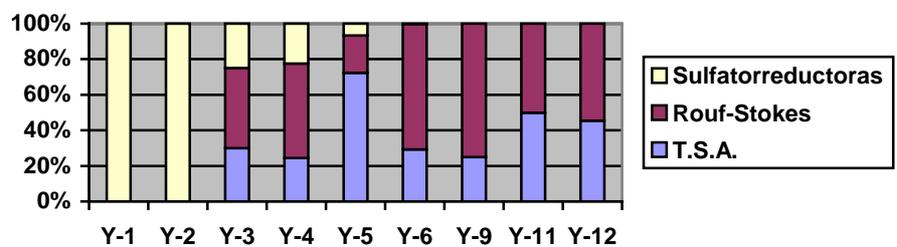


Fig. 6.6.- Abundancia relativa de cada grupo de microorganismos - Aguas carbónicas



En las figuras 6.4, 6.5, y 6.6 se muestra la relación porcentual de los recuentos en los tres medios, lo que nos puede dar una idea de la abundancia relativa de cada grupo de microorganismos.

Aunque las gráficas precedentes sólo dan idea de la abundancia relativa de unos grupos con respecto a otros, se puede apreciar que los más activos microorganismos formadores de incrustaciones, las ferrobacterias y las bacterias sulfatorreductoras están presentes en casi todas las muestras, por lo que el peligro de obstrucción de las rejillas no es descartable en ninguna de ellas. La cuantificación de las poblaciones y discusión de datos se realizará en el próximo capítulo: "*Análisis Estadístico*".

6.3. MÉTODO B.A.R.T.

6.3.1. Fundamentos y descripción

El método B.A.R.T.[™] (*Droycon Bioconcepts Inc., Regina, Canadá*) fue desarrollado por el *Dr. D.R. Cullimore* para detectar la **presencia** y **agresividad** de determinados grupos bacterianos potencialmente perjudiciales. En principio se desarrolló como un test para detectar presencia/ausencia de determinados grupos microbiológicos, sin embargo se ha visto que es efectivo, también, a la hora de determinar la agresividad de los mismos en función del número de días que tarda en producirse la reacción. Consecuencia de ello es la estimación de las poblaciones bacterianas con un margen de error más o menos grande en función de los grupos (*Cullimore, 1992*).

El método consiste en unos tubos de 15 ml de capacidad con un medio de cultivo específico deshidratado y un mecanismo de interferencia entre la muestra y el aire atmosférico, consistente en una bola flotante (*Smith, 1995*). Cuando se vierten los 15 ml de agua de la muestra, el medio se rehidrata a la vez que la "bola flotante" dificulta la

entrada de aire, de tal modo que se crea un ambiente aerobio en superficie y anaerobio en el fondo (Fig. 6.7). En el caso concreto de los tubos para sulfatorreductoras, la "bola" está recubierta de parafina para facilitar la anaerobiosis. Es importante, durante el proceso de llenado del tubo y durante el tiempo de incubación no agitar la muestra, procurando mantenerla lo más estable posible.

El crecimiento de bacterias en el tubo da lugar a una reacción colorimétrica característica, de tal modo que la medida de la agresividad de los microorganismos vendrá determinada por dos factores: el tipo de reacción que se produce y el tiempo que ésta tarda en producirse (figura 6.8)

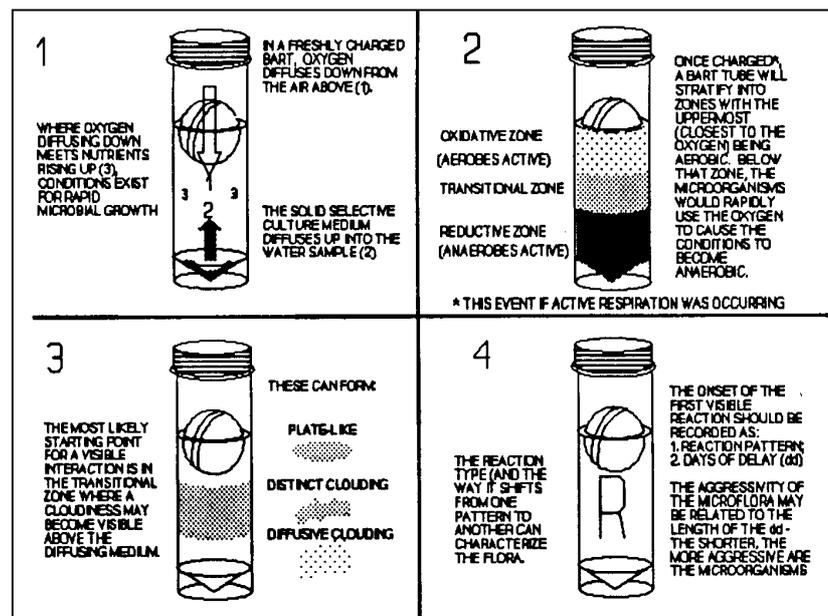


Fig. 6.7.- Desarrollo de una reacción B.A.R.T. El oxígeno difunde hacia abajo, donde se encuentra el medio de cultivo (1). En la zona superior se crea un ambiente aerobio, manteniéndose cierta anaerobiosis en el fondo (2). A partir de la zona de transición se crea cierta turbidez (3) que dará como resultado el desarrollo completo de la reacción característica (4). *Cullimore, 1992.*

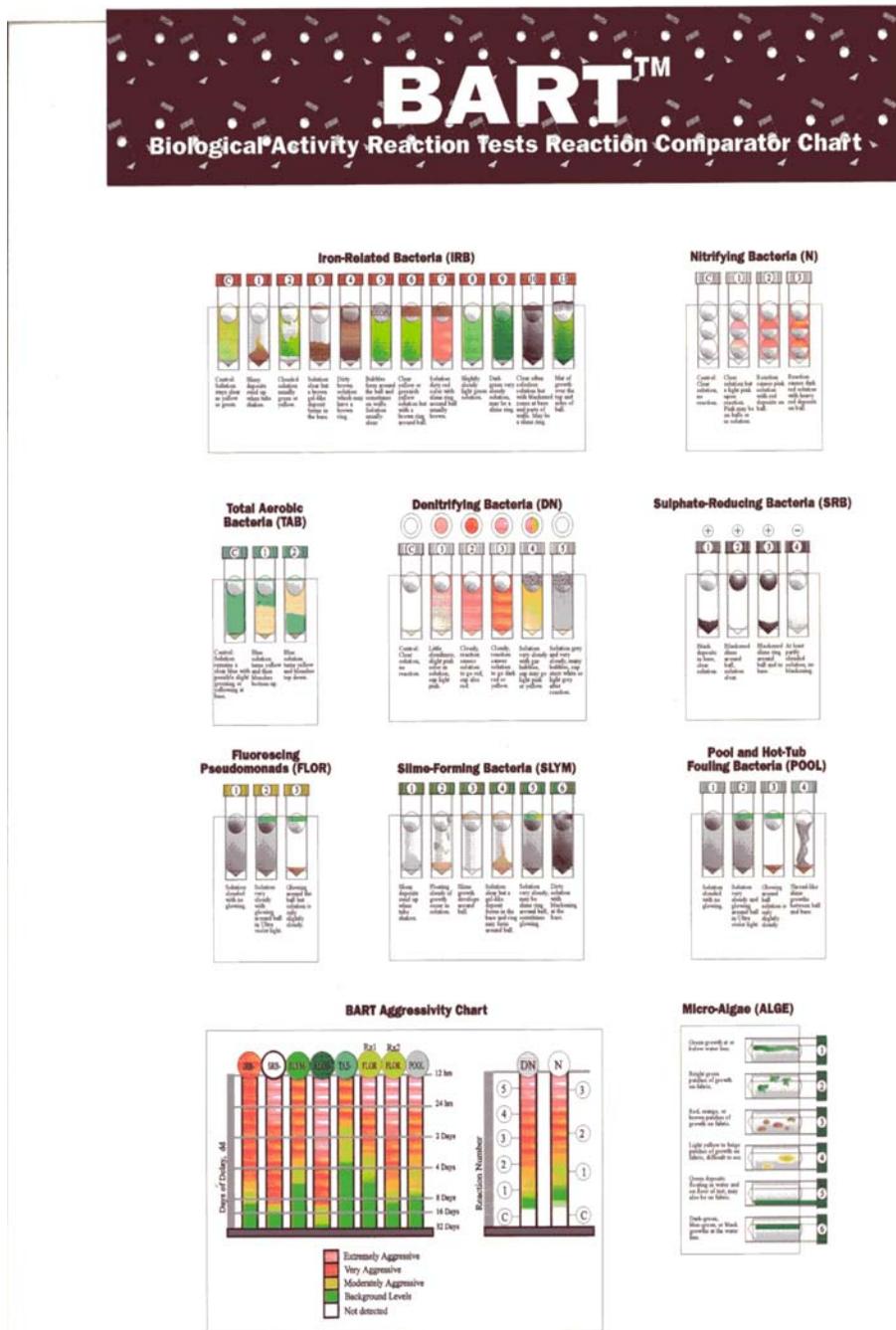


Fig. 6.8.- Tabla de las reacciones posibles de los distintos tests B.A.R.T., incluyendo la carta de agresividad en función del día en que se produce la primera reacción (Cullimore, 1996)

Como puede observarse en la figura 6.7, no existe una única reacción para cada test, de modo que dos o más reacciones pueden sucederse. Esto nos permite, además, identificar los microorganismos en función de la secuencia de reacciones que se suceden en cada muestra.

Las secuencias más características para cada tipo de test son (Cullimore, 1992):

1. H.A.B. (*Bacterias Aerobias Heterótrofas*)

C	Control
1	Bacterias aerobias junto con anaerobias facultativas
2	estrictamente aerobias

2. I.R.B. (ferrobacterias)

C	Control. Si se mantiene sin reacción indica ausencia de ferrobacterias
2-8-9	Ferrobacterias aerobias diversas, con dominio de <i>Pseudomonas</i>
8-9	Dominio de <i>Pseudomonas</i>
8-9-10	<i>Pseudomonas</i> junto con enterobacterias
1-4	Ferrobacterias junto con bacterias formadoras de exopolímeros (<i>SLYM</i>)
2-4	Dominio de ferrobacterias de diverso tipo
3	Enterobacterias dominando sobre las ferrobacterias. Presencia del género <i>Enterobacter</i>
2-3-4	Poblaciones mixtas de ferrobacterias y enterobacterias
5	Ferrobacterias junto con microflora anaerobia de profundidad
5-4	Ferrobacterias junto con microflora anaerobia de profundidad en mayor medida que en caso anterior
5-8-9	Microflora anaerobia junto a ferrobacterias y <i>Pseudomonas</i>

- 5-9-10 Microflora anaerobia con ferrobacterias, *Pseudomonas* y enterobacterias
- 6 Dominio de especies del género *Citrobacter*
- 2-5 Ferrobacterias junto a diversos microorganismos tanto aerobios como anaerobios
- 2-5-6 Ferrobacterias y enterobacterias junto a diversos microorganismos aerobios
- 13 Mohos

3. S.R.B. (sulfatorreductoras)

- 1 Sulfatorreductoras restringidas a las zonas más profundas
- 4-1 Flora anaerobia con presencia de sulfatorreductoras
- 2 Predominio de sulfatorreductoras junto a otros anaerobios
- 1-3 Sulfatorreductoras de diverso tipo
- 4 Bacterias anaerobias no reductoras de sulfatos

4. SLYM (*Bacterias formadoras de exopolímeros*)

- 1 Formadores de exopolímeros densos
- 1-5 Formadores de exopolímeros densos, junto a otras bacterias aerobias
- 2-5 Microflora aerobia en general
- 2-5-6 Dominio de *Pseudomonas* junto a algunas enterobacterias
- 4-5 Formadores de exopolímeros junto a otras poblaciones microbiológicas diversas
- 4-5-6 Formadores de exopolímeros junto a otras poblaciones microbiológicas diversas, dominadas por enterobacterias
- 5-6 Microbiota mixta dominada por *Pseudomonas* y enterobacterias
- 5 Dominio del género *Pseudomonas* (*Ps. fluorescens*, *Ps. aeruginosa*)

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS															
MUESTRA:															
FECHA:															
Datos <i>BART</i>:															
Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.															
SLYM															
H.A.B.															
S.R.B.															
Recuentos:															
Medio:	Totales	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.										
T.S.A.															
R. y S.															
S.R.B.															
Gallion.															
BART															
Conclusiones:															

I.R.B.															

SLYM															

H.A.B.															

S.R.B.															

Observaciones:															

Fig. 6.9.- Modelo de ficha para la recogida de datos microbiológicos (elaborado por el doctorando)

6.3.2. Seguimiento de las reacciones para las distintas muestras

Para realizar la determinación de cada muestra hay que tener en cuenta, por un lado, el tipo de reacción que se produce en cada test y, por otro, el día en que se ha producido la primera reacción. Para esto se ha diseñado la ficha que aparece en la figura 6.9 en la cual se registra el día y el tipo de reacción, así como las reacciones que se puedan suceder a lo largo de, al menos, 15 días (Cullimore, 1992). A estos datos se les ha añadido la determinación obtenida en laboratorio mediante la siembra y recuento en placa. Con todo ello se hace una estimación entre ambos métodos de cuál puede ser la población microbiológica de cada muestra*, así como la posible agresividad de cada grupo.

Las reacciones obtenidas en las distintas muestras se describen a continuación.

* M-1	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	---	---	---	---
- Niveles microbiológicos no detectables - Agua muy poco agresiva. Se usa directamente para beber				

* M-2	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	5 / 3	1 / 2	1 / 2	1-3 / 10
- Presencia de <i>Leptothrix/Sphaerotilus</i> . SRB en econichos anaerobios - Agresividad moderada. Puede desarrollarse <i>biopelícula</i>				

* En el capítulo 7 se hace una comparación estadística entre los dos métodos con el fin de comprobar si los resultados de ambos son equivalentes. Esta estimación, por tanto, es consecuencia de que los resultados estadísticos obtenidos indican que con ambos métodos se obtienen resultados semejantes con un margen de confianza superior al 95%.

* <u>M-3</u>	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	5 / 12	1 / 3	1 / 3	1 / 13
- Mayor peligro de biopelículas orgánicas que de hierro				

* <u>M-4</u>	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	5-4 / 7	6 / 3	2 / 2	1-3 / 8
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Pseudomonas</i> y enterobacterias. - Ferrobacterias con S.R.B. en econichos anaerobios - Agresividad moderada. Podría haber inicio de incrustaciones 				

* <u>M-5</u>	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	---	1 / 2	1 / 2	1-3- / 6
<ul style="list-style-type: none"> - Peligro de obstrucción orgánica (exopolímeros) - Agresividad por sulfatorreductoras 				

* <u>M-6</u>	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	5 / 4	1 / 2	1 / 5	4-1 / 5
- Gran riesgo de incrustación tanto orgánica como de hierro				

* <u>M-7</u>	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	8-9 / 9	1 / 3	1 / 6	---
- Mayor riesgo de obstrucción por exopolímeros - Presencia de <i>Pseudomonas</i>				

* <u>M-8</u>	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	8-5-4 / 3	1 / 3	1 / 2	3 / 15
- <i>Leptothrix/Sphaerotilus</i> junto a S.R.B. - Alta agresividad. Peligro de incrustación ferruginosa				

* <u>M-9</u>	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	5 / 3	1 / 2	1 / 2	1-3 / 8
- Grave peligro de obstrucción, tanto orgánica como ferruginosa				

* <u>TT-1</u>	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	---	2 / 1	1 / 2	1-3 / 4
- Peligro de biopelícula orgánica por microbiota sésil - Sulfatorreductoras que pueden estar generando incrustaciones				

* <u>TT-2</u>	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	5-4-6 / 5	2 / 1	1 / 1	2 / 6
- Alta agresividad por ferrobacterias, enterobacterias y <i>S.R.B.</i> - Peligro de obstrucción orgánica y ferruginosa				

* <u>TT-4</u>	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	5-4 / 5	---	1 / 2	2 / 7
- Ferrobacterias con S.R.B. en econichos anaerobios - Agresividad todavía moderada				

* <u>TT-5</u>	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	6-5 / 5	1 / 2	1 / 2	1 / 7
- Máximo problema por <i>biopelícula</i> orgánica - Presencia de <i>Citrobacter</i> y de <i>Gallionella</i>				

* <u>TT-6</u>	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	2-4 / 6	---	1 / 1	1-3 / 2
- Gran abundancia de sulfatorreductoras. Agresividad alta				

* <u>TT-7</u>	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	1-5 / 6	1 / 3	1 / 2	3 / 8
<ul style="list-style-type: none"> - Biopelículas orgánicas y ferruginosas - Econichos anaerobios que podrían albergar sulfatorreductoras 				

* <u>TT-8</u>	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	2-8-10 / 6	1 / 3	1 / 1	2-3 / 5
<ul style="list-style-type: none"> - Enterobacterias, <i>Pseudomonas</i> y sulfatorreductoras - Biopelículas ferruginosas y orgánicas 				

* <u>TT-9</u>	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	1 / 8	1 / 6	1 / 4	---
<ul style="list-style-type: none"> - Pozo en buenas condiciones - Mayor peligro de exopolímeros (<i>biopelícula</i> orgánica) 				

* <u>TT-10</u>	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	5 / 12	1 / 6	1 / 4	4 / 15
<ul style="list-style-type: none"> - Poco peligro de incrustación. Pozo en buenas condiciones 				

* <u>TT-11</u>	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	5 / 11	2 / 2	1 / 4	1-3 / 7
- Peligro de incrustación orgánica por <i>Pseudomonas</i> y enterobacterias - Presencia de sulfatorreductoras en econichos anaerobios				

* <u>TT-12</u>	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	5-4-10 / 6	1 / 3	1 / 2	1-3 / 4
- <i>Crenothrix</i> , <i>Sphaerotilus</i> , enterobacterias y sulfatorreductoras - Biopelículas tanto orgánicas como ferruginosas				

* <u>Y-1</u>	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	6 / 9	1 / 2	1 / 2	1 / 4
- Presencia de <i>Citrobacter</i> y abundancia de S.R.B. - Aguas agresivas por su actividad sulfatorreductora				

* <u>Y-2</u>	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	---	---	---	---
- Aguas poco agresivas. Niveles microbiológicos apenas perceptibles				

* <u>Y-3</u>	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	5-4-10 / 4	1 / 2	1 / 2	1-3 / 9
- <i>Crenothrix</i> , <i>Sphaerotilus</i> y sulfatorreductoras - Aguas muy agresivas				

* <u>Y-4</u>	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	5 / 7	1-4 / 4	1 / 2	1 / 9
- Agresividad moderada - Mayor peligro de biopelículas orgánicas				

* <u>Y-5</u>	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	6 / 4	1 / 3	1 / 2	1 / 5
- Aguas agresivas, sobre todo por secreción de exopolímeros - Dominio de <i>Citrobacter</i>				

* <u>Y-6</u>	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	6 / 9	1 / 2	1 / 2	1-3 / 5
- Actividad sulfatorreductora y formación de exopolímeros - Aguas agresivas				

* <u>Y-7</u>	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	---	1 / 11	2 / 9	4 / 15
- Captación en buen estado, tal vez debido al mantenimiento				

* <u>Y-8</u>	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	---	---	---	---
- Niveles microbiológicos no detectados				

* <u>Y-9</u>	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	---	---	---	---
- Aguas sin agresividad microbiológica				

* <u>Y-10</u>	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	---	1 / 10	1 / 9	---
- Escasa agresividad. Algunos formadores de exopolímeros				

* <u>Y-11</u>	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	---	2 / 5	---	4 / 14
- Género <i>Proteus</i> que puede generar biopelículas orgánicas				

* <u>Y-12</u>	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	---	---	1 / 10	---
- Sólo peligro de precipitación no enzimática a muy bajo nivel				

* <u>Y-13</u>	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	---	1 / 5	2 / 5	4 / 10
- Biopelículas orgánicas de escaso desarrollo				

* <u>Y-14</u>	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	5-6 / 10	1 / 2	1 / 5	4 / 14
- Presencia de <i>Citrobacter</i>				
- Riesgo de formación de biopelículas orgánicas de forma intensa				

* <u>AP-1</u>	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	5 / 15	1-6 / 3	1 / 2	2-3 / 7
- Máximo riesgo de incrustación orgánica				
- Presencia de anaerobios facultativos				

* AP-2	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	5 / 11	1 / 1	1 / 5	4-1 / 9
- Grave riesgo de formación de biopelículas orgánicas - Actividad sulfatorreductora poco importante				

* AP-3	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	---	1 / 5	---	---
- Pozo en buen estado. Algún riesgo de formación de exopolímeros				

* AP-4	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	5-6 / 6	1 / 3	2 / 5	4 / 11
- Riesgo moderado formación de biopelículas orgánicas y ferruginosas				

* AP-5	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	5 / 8	1 / 2	1 / 2	2-3 / 11
- Abundante microbiota formadora de exopolímeros - Riesgo de formación de biopelícula ferruginosa por S.R.B.				

* AP-6	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	3-4 / 1	1 / 1	1 / 8	4 / 12
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Crenothrix</i>, <i>Sphaerotilus</i> y enterobacterias - Riesgo de biopelícula orgánica 				

* CC-1	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	5-4 / 8	1 / 6	1 / 2	1-3 / 13
<ul style="list-style-type: none"> - Incrustaciones ferruginosas por sulfatorreductoras - Posibilidad de obstrucciones por exopolímeros 				

* CC-2	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	5 / 8	1-6 / 4	1 / 2	1-3 / 13
<ul style="list-style-type: none"> - Microbiota anaerobia diversa - Importante formación de <i>biopelícula</i> orgánica y riesgo de ferruginosa 				

* CC-3	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	1-4 / 12	1 / 4	1 / 2	2-3 / 4
<ul style="list-style-type: none"> - Principal problema: generación de exopolímeros - Cierta anaerobiosis que puede potenciar las S.R.B. 				

* <u>MM</u>	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	5-4 / 4	6 / 2	2 / 2	1-3 / 4
<ul style="list-style-type: none"> - Abundancia de ferrobacterias y econichos anaerobios - Gran riesgo de obstrucción ferruginosa - Generación importante de <i>biopelícula</i> orgánica por <i>Pseudomonas</i> 				

* <u>MZ-0</u>	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	5-4 / 2	1-5-6 / 7	1 / 1	2-3 / 5
<ul style="list-style-type: none"> - Las reacciones H.A.B. y SLYM delatan signos de contaminación - Abundancia de ferrobacterias, en condiciones aerobias 				

* <u>MZ-20</u>	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	5-4 / 2	1 / 7	1 / 3	2-3 / 7
<ul style="list-style-type: none"> - Con respecto a la muestra anterior desaparece <i>Pseudomonas</i> 				

* <u>MZ-50</u>	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	5-4 / 2	1 / 8	1 / 1	2-3 / 5
<ul style="list-style-type: none"> - Condiciones prácticamente idénticas a la anterior 				

* <u>MZ-100</u>	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	5-4 / 2	1 / 8	1 / 3	2-3 / 6
- Disminuyen ligeramente los aerobios con respecto a la anterior				

* <u>AL</u>	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
Reacción/días	3-4 / 5	5 / 3	1 / 1	1-3 / 2
<ul style="list-style-type: none"> - Captación con alto riesgo de incrustación - Niveles altos de <i>I.R.B.</i>, enterobacterias, <i>Pseudomonas</i> y <i>S.R.B.</i> - Indicios de contaminación 				

A las muestras **H-150**, **H-225**, **F-115** y **F-130**, por tratarse de un trabajo anterior, sólo se les hizo el tratamiento microbiológico convencional de laboratorio, ya que todavía no se disponía de los tests B.A.R.T., razón por la que no se han incluido en este apartado.

6.4. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS

A la vista de los resultados microbiológicos obtenidos, tanto por las técnicas de laboratorio como por el método B.A.R.T., podríamos resumir la situación de cada una de las captaciones en función de su microbiota. Para ello agruparemos las muestras en varias categorías:

- Aquéllas que podemos considerar **en buen estado**, debido a que su contenido microbiológico es lo suficientemente bajo como para pensar que, de momento, no va a plantear problemas de incrustaciones u obstrucciones: **M-1**, **TT-9**, **TT-**

10, AP-3, AP-4, Y-2, Y-7, Y-8, Y-9, Y-10, Y-11, Y-12, Y-13.

- Captaciones con **riesgo moderado** de generación de *biopelícula*, bien sea orgánica por secreción de exopolímeros, bien ferruginosa por precipitación de óxidos e hidróxidos de hierro: **M-4, TT-4.**
- De **alto riesgo** de obstrucción por exopolímeros (*biopelícula orgánica*), debido al alto contenido en microbiota generadora de los mismos: **M-3, M-5, M-6, M-7, M-9, TT-1, TT-2, TT-5, TT-7, TT-8, TT-11, TT-12, Y-4, Y-5, Y-6, Y-14, AP-1, AP-2, AP-5, AP-6, CC-1, CC-2, CC-3, MM, AL, H, F.**
- De **alto riesgo** de obstrucción por óxidos e hidróxidos de hierro (*biopelícula ferruginosa*). Cuando el contenido en ferrobacterias y/o sulfatorreductoras es alto: **M-2, M-5, M-6, M-8, M-9, TT-2, TT-6, TT-7, TT-8, TT-11, TT-12, Y-1, Y-3, Y-6, AP-5, AP-6, CC-1, MM, MZ, AL, H, F.**
- Por último hemos añadido una categoría correspondiente a aquellas muestras en las que, debido a su contenido en enterobacterias, tienen el riesgo añadido de poseer, como mínimo, indicios de contaminación, si no de tratarse de aguas realmente contaminadas: **TT-2, TT-8, TT-11, TT-12, AP-6, MZ, AL.**

El que una determinada muestra pertenezca a uno de los grupos, no quiere decir que no vaya a pertenecer a algún otro. De hecho hay algunas de ellas que, además de su contenido en ferrobacterias, presentan indicios de contaminación y riesgo de precipitación orgánica.

- Entre las consideradas **en buen estado** (tabla 6.11) se encuentran gran cantidad de fuentes carbónicas, éstas son, precisamente, las que pertenecen a manantiales en explotación. Algunas de ellas, incluso, son aguas de balneario

(Baños de San Juan en Campo de Calatrava o Caldas de Malavella en Gerona), por lo que están sometidas a tratamientos periódicos. Junto a estas se encuentra la muestra **M-1** (Hogar de San Enrique y Santa Rita), cuya agua se utiliza para beber y, por lo tanto, es una captación igualmente sometida a revisiones periódicas.

Las muestras **TT-9**, **TT-10**, **AP- 3** y **AP-4** pertenecen, todas ellas a la mina de *As Pontes*. A pesar de que otras captaciones de la mina se encuentran en peores condiciones microbiológicas, no es de extrañar que algunas de ellas se encuentren entre las que menos problemas presentan de incrustación, dado que *Endesa*, gestora de la mina, efectúa un mantenimiento periódico de las mismas, razón por la cual nos ha sido posible acceder a estos pozos.

TABLA 6.11.- Muestras en buen y moderado estado microbiológico

Código muestra	Naturaleza acuífero	Uso
M-1	Detrítico	Consumo
TT-9	Detrítico	Drenaje mina
TT-10	Detrítico	Drenaje mina
AP-3	Detrítico	Drenaje mina
AP-4	Detrítico	Drenaje mina
Y-2	Metamórfico/Volcánico	Fuente urbana
Y-7	Plutónico/Volcánico	Balneario
Y-8	Plutónico/Volcánico	Balneario
Y-9	Plutónico/Volcánico	Fuente
Y-10	Plutónico/Volcánico	Fuente
Y-11	Plutónico/Volcánico	Fuente
Y-12	Plutónico/Volcánico	Fuente
Y-13	Plutónico/Volcánico	Fuente
M-4	Detrítico	Riego
TT-4	Carbonatado	Piezómetro

- Dos captaciones se encuentran en buen estado microbiológico en general pero con una microbiota que podría empezar a plantear problemas de obstrucción de las rejillas si no se toman las medidas pertinentes (tabla 6.11). Estas son las

correspondientes a las muestras **M-4** y **TT-4**. La primera es un pozo de riego del Parque de la Alcazaba de Madrid en el que, además, se observan indicios de enterobacterias. La segunda pertenece a uno de los pozos de *Las Tablas de Daimiel*, tal vez el pozo en mejor estado de todo el Parque.

El resto de las muestras presentan contenidos microbiológicos que sugieren problemas serios de formación de *biopelículas*. En todos ellos sería necesaria la realización de tratamientos desinfectantes y desincrustantes. Algunos tienen problemas sólo de un tipo, mientras que en otros aparecen microorganismos diversos y en gran cantidad.

- Hay algunas captaciones que no presentan problemas de incrustación ferruginosa, dado que su contenido en ferrobacterias y/o sulfatorreductoras es insignificante, pero, sin embargo, presentan alto riesgo de obstrucción de las rejillas por **sustancias orgánicas** (exopolímeros) segregadas por la microbiota presente en el pozo (tabla 6.12). Estas son las correspondientes a las muestras: **M-3, M-7, TT-1, TT-5, Y-4, Y-5, Y-14, AP-1, AP-2, CC-2, CC-3**. Como puede verse, la afección afecta tanto a acuíferos detríticos (M-3, M-7, AP-1, AP-2) como carbonatados (TT-1, TT-5, CC-2, CC-3) o aguas carbónicas (serie Y).

TABLA 6.12.- Captaciones con riesgo de incrustación orgánica

Código muestra	Naturaleza acuífero	Uso
M-3	Detrítico	Riego
M-7	Detrítico	Riego
TT-1	Carbonatado	Recarga P.N.
TT-5	Carbonatado	Recarga P.N.
Y-4	Metamórfico/Volcánico	Manantial abandonado
Y-5	Metamórfico/Volcánico	Manantial abandonado
Y-14	Plutónico/Volcánico	Manantial
AP-1	Detrítico	Drenaje mina
AP-2	Detrítico	Drenaje mina
CC-2	Carbonatado	Riego
CC-3	Carbonatado	Industria Alimentaria

- Con alto contenido en ferrobacterias y/o sulfatorreductoras (tabla 6.13) únicamente y, por tanto, cuyo único riesgo es la formación de **depósitos ferruginosos** se encuentran: **M-2, M-8, TT-6, Y-1 e Y-3**. Al igual que en el caso anterior es independiente del tipo de acuífero. En la misma situación se encuentra la muestras **MZ**, pero en ella se han detectado enterobacterias por lo que al problema de la incrustación ferruginosa hay que añadirle un problema de contaminación del agua.

TABLA 6.13.- Captaciones con riesgo de incrustación ferruginosa

Código muestra	Naturaleza acuífero	Uso
M-2	Detrítico	Riego
M-8	Detrítico	Riego
TT-6	Carbonatado	Riego
Y-1	Metamórfico/Volcánico	Manantial abandonado
Y-3	Metamórfico/Volcánico	Manantial abandonado
MZ	Detrítico	Riego

- Hay, igualmente, una cantidad significativa de captaciones con problemas de **incrustación ferruginosa y orgánica** al tiempo (tabla 6.14). Estas captaciones deberían necesitar un proceso de regeneración que incluya ambas variantes de las *biopelículas*. En este caso podría, incluso, haber algún pozo cuya regeneración no fuese viable debido al alto estado de incrustación, sobre todo si tenemos en cuenta que ésta suele llevar asociado el correspondiente proceso de corrosión (ver capítulo 2). Las muestras en este estado son: **M-5, M-6, M-9, TT-7, Y-6, AP-5, CC-1, MM, H, F**.

TABLA 6.14.- Captaciones con riesgo de incrustación ferruginosa y orgánica

Código muestra	Naturaleza acuífero	Uso
M-5	Detrítico	Riego
M-6	Detrítico	Riego
M-9	Detrítico	Riego
TT-7	Detrítico	Consumo
Y-6	Metamórfico/Volcánico	Manantial abandonado
AP-5	Detrítico	Drenaje mina
CC-1	Carbonatado	Industria alimentaria
MM	Detrítico	Control piezométrico
H	Detrítico	Riego
F	Detrítico	Riego

- Hay seis muestras en las que además de presentar problemas de obstrucción ferruginosa y orgánica aparecen cantidades significativas de enterobacterias, por lo que podríamos decir que pertenecen a captaciones en un avanzado estado de deterioro (tabla 6.15). Éstas son: **TT-2, TT-8, TT-11, TT-12, AP-6 y AL.**

TABLA 6.15.- Captaciones con riesgo de incrustación orgánica y ferruginosa e indicios de contaminación

Código muestra	Naturaleza acuífero	Uso
TT-2	Carbonatado	Recarga P.N.
TT-8	Detrítico	Consumo
TT-11	Carbonatado	Industrial
TT-12	Detrítico	Riego
AP-6	Detrítico	Drenaje mina
AL	Carbonatado	Riego

Observando las tablas 6.11 a 6.15, se puede apreciar que las captaciones que se encuentran en mejores condiciones son aquellas que, por una causa u otra, están sometidas a un mantenimiento periódico (captaciones para consumo, balnearios, fuentes...). Así mismo es destacable el estado de abandono general en que se encuentran los pozos para regadío. Sólo uno de ellos se encuentra entre las captaciones en buen estado, mientras que son mayoría entre los que presentan riesgo de incrustación tanto orgánica como ferruginosa.

Creemos interesante destacar las captaciones **TT-7** (*Partida de la Frontera*) y **CC-1** (*Cruzcampo-1*) que, siendo captaciones para consumo humano, manifiestan un estado de incrustación avanzado. La muestra **TT-8** (*Santos Patronos*), igualmente para consumo humano, tiene además indicios de contaminación por enterobacterias.

Por último, un caso significativo lo constituyen los pozos de la mina *As Pontes*. Nos consta que en dicha mina se efectúa un mantenimiento periódico de las captaciones para drenaje, fruto de lo cual es que la mayor parte de las muestra tomadas pertenecen al grupo de las captaciones en buen estado. Sin embargo, hay algunas de ellas que presentan riesgo de incrustación. Creemos que sería interesante, en un futuro, poder hacer el seguimiento de unas pocas captaciones a lo largo del tiempo, pues a la vista de este ejemplo cabría pensar que, tal vez, el proceso de colonización de un determinado pozo por parte de ferrobacterias o grupos afines es un proceso relativamente rápido, lo que podría explicar que pozos próximos, con un mantenimiento idéntico, presenten diferentes estados de conservación. En cualquier caso, el hecho del mantenimiento de las captaciones hace que estos problemas se puedan solucionar antes de que sean insolubles.

7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

7.1. TIPO DE DATOS Y ELECCIÓN DE LOS TESTS

Una vez obtenidos todos los datos químicos, microbiológicos, técnicos e hidrogeológicos hay que proceder a su tratamiento estadístico. Para ello tendremos que responder a dos preguntas: ¿qué tipo de datos tenemos? y ¿qué tratamiento matemático les queremos dar?

En cuanto al tipo de datos, hemos seleccionado aquéllos que *a priori* hemos considerado más interesantes. Además, por razones de eficacia y para obtener resultados comparables, se han tenido en cuenta sólo datos cuantitativos. De los datos cualitativos, básicamente de tipo hidrogeológico y, sobre todo, técnico, se han establecido deducciones a partir de los anteriores.

De esta manera, los datos a tener en cuenta son:

- Microbiológicos:
 - Ferrobacterias - I.R.B.
 - Sulfatorreductoras - S.R.B.
 - Generadoras de exopolímeros - SLYM
- Químicos:
 - pH
 - Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
 - O_2 disuelto (mg/L)
 - Eh (mV)
 - Hierro (mg/L)
 - HCO_3^- (mg/L)
 - $\text{SO}_4^{=}$ (mg/L)
- Hidrogeológicos
 - Tipo de acuífero

- Nivel estático en el pozo
- Técnicos
 - Profundidad del pozo
 - Edad de la captación (año de realización)

Algunos parámetros que podrían haber sido interesantes no se han incluido por diversos motivos. Por ejemplo, alguna característica hidrogeológica, como la transmisividad del acuífero, o técnicas, como la capacidad de la bomba y volumen de los bombeos, por falta de datos e imposibilidad de obtenerlos dadas las características específicas del trabajo. En otros casos por no aportar diferencias significativas entre unas captaciones y otras, como por ejemplo los datos referentes a las poblaciones de *aerobios totales (H.A.B.)*, por ser omnipresentes, o al material del entubado, por ser todos de acero. De otros datos, como el uso a que se dedica cada captación, se ha hecho una valoración cualitativa (ver apartado 6.4.)

En cuanto al tratamiento matemático, lo vamos a referir siempre al contenido microbiológico, dado que ese es el objetivo fundamental del trabajo. Nos encontramos con la necesidad de dos tipos de aplicaciones estadísticas. Por un lado el establecimiento de correlaciones entre poblaciones de datos, tal es el caso de la correlación entre poblaciones microbiológicas con el resto de parámetros, para averiguar qué factores, si es que hay alguno, condicionan la mayor o menor presencia de algún microorganismo. Por otro, la comparación entre poblaciones con datos diferenciados claramente por algún parámetro, como es el caso del diferente contenido microbiológico en función del tipo de acuífero.

Las poblaciones de datos a correlacionar son I.R.B., S.R.B. y SLYM, cada uno de ellos con todos los demás, es decir pH, conductividad, oxígeno disuelto, Eh, hierro, hidrogenocarbonatos, sulfatos, nivel estático en el pozo, profundidad de la captación y año de construcción.

Las poblaciones entre las que se va a comparar su contenido microbiológico son: los distintos tipos de acuífero y los resultados obtenidos en los cultivos de laboratorio con los obtenidos mediante el método B.A.R.T.

Para elegir el test apropiado en cada caso es necesario, previamente, comprobar la **normalidad de las distribuciones**. Para ello se ha recurrido al **test de normalidad** incluido en el “paquete informático” de estadística **Statgraphics**. Se aplicó el test a los datos microbiológicos y, como era de esperar, ninguna de las poblaciones de datos es normal, por lo que habrá que aplicar, en los dos casos, **tests no paramétricos**.

El hecho de que ninguna de las distribuciones sea normal se debe a que cada pozo es, por sí mismo, toda una población. Al tener un dato o, como en las muestras MZ, H y F, unos pocos, de cada pozo, lo que obtenemos son datos aislados de poblaciones diferentes, por lo que no se van a ajustar a una distribución normal como si de datos de una sola población se tratase. A pesar de ello, para nuestros objetivos es válido el muestreo, ya que lo que vamos a comparar son situaciones diferentes con poblaciones microbiológicas diferentes para poder establecer conclusiones aplicadas a los casos concretos.

Los tests no paramétricos elegidos son:

- **Test de la U de Mann-Whitney** (*Siegel, 1956*), para comparar poblaciones con características diferenciadas. Se ha utilizado para ver si hay diferencias en el contenido microbiológico entre los distintos tipos de acuífero y para establecer si los resultados obtenidos en laboratorio y los obtenidos mediante el método B.A.R.T. son comparables. Para su aplicación se ha utilizado el programa, en lenguaje *FORTRAN*, elaborado por el **Dr. D. Pedro Emilio Martínez Alfaro**.

- **Test de Spearman** (Till, 1974), para el establecimiento de correlaciones no paramétricas. Se ha utilizado para correlacionar las poblaciones de los distintos tipos microbiológicos con el resto de los parámetros. Para su aplicación se ha utilizado el ya mencionado paquete informático **Statgraphics**.

7.2. VARIACIONES MICROBIOLÓGICAS ENTRE ACUÍFEROS

La primera comprobación es verificar si el tipo de acuífero condiciona la presencia de determinados microorganismos o, si por el contrario, son independientes de la litología.

Los acuíferos muestreados los podemos agrupar en **detríticos**, **carbonatados** y acuíferos en **hard-rocks** (igneo-metamórfico), según se expresa en la tabla 7.1.

TABLA 7.1.- Tipos de acuíferos y muestras de cada uno de ellos

Litología	Acuíferos	Muestras
Detríticos	Terciario Detrítico de Madrid	M-1 a M-9
	Plana de Castellón-Sagunto	TT-7 y TT-8
	Cuenca Terciaria de As Pontes	TT-9, TT-10 y AP1 a AP-6
	Terciario Detrítico Central del Duero	TT-12, MM, MZ, H y F
Carbonatados	Mancha Occidental	TT-1, TT-2, TT-4 y TT-5
	Mancha Oriental	TT-6
	Lisboa	TT-11
	Plana de Valencia	CC-1 y CC-3
	Javalambre-Maestrazgo	CC-2
	Campo de Dalías	AL
Hard-Rocks	Metamórfico del Campo de Calatrava	Y-1 a Y-6
	Plutónico-Metamórfico de Cataluña	Y-7 a Y-14

Los valores de la microbiota correspondiente a cada tipo de acuífero se expresan en las tablas 7.2, 7.3 y 7.4

TABLA 7.2.- Microbiología en acuíferos detríticos

Muestra	I.R.B. (céls/ml)	S.R.B. (céls/ml)	SLYM (céls/ml)
M-1	0	0	0
M-2	100	10	1000
M-3	100	10	10000
M-4	100	10	100
M-5	0	10	10000
M-6	1000	100	10000
M-7	100	0	1000
M-8	500	10	100
M-9	1000	10	10000
TT-7	5000	100	50000
TT-8	10000	1000	100000
TT-9	1100	100	10
TT-10	100	100	100
TT-12	100000	10	10000
AP-1	100	500	10000
AP-2	10000	10	10000
AP-3	200	0	100
AP-4	10000	10	10000
AP-5	10000	1000	10000
AP-6	5000	10	10000
MM	5000	50	10000
MZ-0	2000	1000	100
MZ-20	1500	500	100
MZ-50	1000	1000	100
MZ-100	1000	500	100
H-150	5200	50	1900
H-225	1400	1000	0
F-115	4400000	10	70000
F-130	16000	10	3300

TABLA 7.3.- Microbiología en acuíferos carbonatados

Muestra	I.R.B. (céls/ml)	S.R.B. (céls/ml)	SLYM (céls/ml)
TT-1	0	100	10000
TT-2	1000	10	10000
TT-4	1000	10	0
TT-5	1300	100	10000
TT-6	1300	1000	0
TT-11	2200	1000	100
CC-1	750	5	1000
CC-2	2000	5	10000
CC-3	5	1000	500
AL	100000	5000	100000

TABLA 7.4.- Microbiología en acuíferos tipo *Hard-Rocks*

Muestra	I.R.B. (céls/ml)	S.R.B. (céls/ml)	SLYM (céls/ml)
Y-1	100	10	10000
Y-2	0	0	0
Y-3	180	100	10000
Y-4	260	100	100
Y-5	3200	1000	5000
Y-6	5300	100	10000
Y-7	0	0	10
Y-8	0	0	0
Y-9	90	0	0
Y-10	0	0	10
Y-11	80	0	100
Y-12	0	0	0
Y-13	0	0	100
Y-14	100	0	10000

Aplicando el **Test de la U de Mann-Whitney** a los valores anteriores, obtenemos un valor de correlación, z , tal que para valores de $z < 1,96$ **no hay diferencia entre ambas poblaciones con un nivel de significación del 95%**. Por el contrario, si $z > 1,96$ podemos considerarlas como **poblaciones diferentes con una significación del 95 %**.

Los resultados del test se muestran en la tabla 7.5:

TABLA 7.5.- Comparación de la microbiota de los diferentes acuíferos mediante el test de la U

		Valor - z	Estimación
Detríticos / Carbonatados	I.R.B.	0,48245	Sin diferencia
	S.R.B.	0,82017	Sin diferencia
	SLYM	0,08041	Sin diferencia
<i>Hard-Rocks</i> / Resto de acuíferos	I.R.B.	2,02789	Diferentes
	S.R.B.	2,85466	Diferentes
	SLYM	1,96699	Diferentes

De los resultados se desprende que no hay diferencia significativa entre acuíferos carbonatados y detríticos. Sí la hay, sin embargo, entre éstos y las aguas carbónicas de los acuíferos ígneo-metamórficos. En estos últimos se observan poblaciones menores, en general, lo que podría indicar una cierta dificultad de desarrollo de microflora en estas aguas. Si tenemos en cuenta que estas aguas se caracterizan por el bajo contenido en O_2 queda plenamente justificada esta diferencia, ya que se trata de microorganismos aerobios salvo las sulfatorreductoras.

Del caso más general, que es la comparación entre acuíferos detríticos y carbonatados, se desprende que ningún grupo se ve favorecido o dificultado por la litología. Como primera conclusión, por tanto, podríamos afirmar que el desarrollo de microbiota generadora de *biopelículas* o bioobstrucción **es independiente del tipo de acuífero**.

Ojeando los datos microbiológicos de las aguas carbónicas da la impresión de haber diferencias significativas entre las muestras del *Campo de Calatrava* y las de *Cataluña*. Tras verificarlo aplicando el test para ambos grupos de muestras, se confirma que, efectivamente son distintas (tabla 7.6):

TABLA 7.6.- Aplicación del test de la U a los dos grupos de muestras de aguas carbónicas

	Valor - z	Estimación
I.R.B.	2,32379	Diferentes
S.R.B.	2,58199	Diferentes
SLYM	1,67829	Sin diferencia

Como puede observarse, hay diferencia en el contenido de ferrobacterias y de sulfatorreductoras. En este caso, en que se trata de acuíferos similares, creemos que la diferencia está en el hecho de que los manantiales del *Campo de Calatrava* están, en su mayoría, en desuso y, por tanto en estado de abandono, mientras que la explotación de los de *Cataluña* lleva consigo un mantenimiento de las captaciones responsable, con toda seguridad, de la eliminación sistemática de los microorganismos no deseados.

	I.R.B. célis/ml	S.R.B. célis/ml	SLYM célis/ml	pH	Condu ct.	O ₂ mg/l	Eh mV	Fe mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	SO ₄ ⁼ mg/l
M-1	0	0	0	7.56	258	7	-33	0.01	149	4.51
M-2	100	10	1000	7.18	712	7	-11	0.06	336	109
M-3	100	10	10000	7.0	1433	5.6	0	0.12	351	242
M-4	100	10	100	6.96	525	6.8	1	7	152	95.7
M-5	0	10	10000	7.34	688	7	-20	0	207	159
M-6	1000	100	10000	7.59	1257	7.5	-33	0.1	190	188
M-7	100	0	1000	8.6	494	9.6	-94	0	215	76
M-8	500	10	100	8.1	333	8	-65	0.05	163	76.8
M-9	1000	10	10000	8.63	1029	8	-92	0.04	207	212
TT-1	0	100	10000	6.96	3900	3.8	217	1.6	72	871
TT-2	1000	10	10000	7.14	3000	10	-190	7.98	151	680
TT-4	1000	10	0	7.45	3800	0	-150	1.35	151	680
TT-5	1300	100	10000	7.04	1660	0.5	40	1.77	28	54
TT-6	1300	1000	0	7.6	867	6.4	-56	11.9	205	260
TT-7	5000	100	50000	7.66	1727	0.6	18	0.67	329.4	1009
TT-8	10000	1000	100000	7.2	1059	1.3	92	0.09	281	1059
TT-9	1100	100	10	8.07	75	3.7	186	0.12	45	32
TT-10	100	100	100	7.89	73	7.4	166	0.12	86	81
TT-11	2200	1000	100	7.05	285	3.2	88	0.39	160	62
TT-12	100000	10	10000	7.60	82	7.6	99	0.03	204	4
Y-1	100	10	10000	6.4	3080	0	156	4.1	2106	567
Y-2	0	0	0	6.1	1072	0	176	9.2	626	240
Y-3	180	100	10000	6.3	1080	0	176	4.5	501	251
Y-4	260	100	100	6.4	1973	0.4	166	0.1	1002	461
Y-5	3200	1000	5000	6.7	3460	0	149	2.04	1406	1233
Y-6	5300	100	10000	6.6	1402	0	166	0.5	544	353
Y-7	0	0	10	7.6	4760	0	131	0	2098	667
Y-8	0	0	0	7.4	4780	0.2	128	0.16	2056	896
Y-9	90	0	0	7	4550	0	162	4.92	3435	1034
Y-10	0	0	10	6.8	2000	0.3	175	6.2	1421	224
Y-11	80	0	100	6.6	2390	0	189	1.37	1775	505
Y-12	0	0	0	7.2	6390	0	115	9.82	3055	1106
Y-13	0	0	100	7.4	7230	0	107	2.84	3494	1251
Y-14	100	0	10000	5.5	256	0.4	171	0.15	54	38
AP-1	100	500	10000	6.68	1938	0.1	409	3.85	215.9	1131
AP-2	10000	10	10000	6.45	1741	3.5	392	3.01	107.3	1023
AP-3	200	0	100	6.38	146	2.4	435	3.63	43.9	18.8
AP-4	10000	10	10000	5.6	80	7.7	460	0.25	15.8	7.5
AP-5	10000	1000	10000	7.89	331	8.1	373	0.7	162.2	26.6
AP-6	5000	10	10000	6.84	380	5	470	5.5	106.1	91
CC-1	750	5	1000	7.74	1275	4.4	319	1.15	276	449
CC-2	2000	5	10000	7.5	956	6	358	2.2	221	345
CC-3	5	1000	500	7.7	1043	3.5	76	1.23	242	248
MM	5000	50	10000	7.81	380	5.4	184	0.39	285	13
MZ-0	2000	1000	100	7.68	500	6.3	264	0.22	430	19
MZ-20	1500	500	100	7.68	500	6.3	264	0.22	430	19
MZ-50	1000	1000	100	7.68	500	6.3	264	0.22	430	19
MZ-100	1000	500	100	7.68	500	6.3	264	0.22	430	19
AL	100000	5000	100000	9.2	1630	2.3	-624	9.6	45.2	513.6
H-150	5200	50	1900	7.55	475	5.7	0.123	0.35	249	9.6
H-225	1400	1000	0	7.25	520	4.2	0.02	0.12	278.2	10.4
F-115	4400000	10	70000	7.8	333	4.6	0.005	1.03	169.6	6
F-130	16000	10	3300	7.8	341	5	0.007	0.99	167.2	5.6

TABLA 7.7.- Características químicas/microbiológicas de las muestras

7.3. RELACIÓN ENTRE MICROBIOTA Y VALORES QUÍMICOS

Una vez verificado que el tipo de acuífero no condiciona la microbiota de las captaciones, pasamos a correlacionar los distintos grupos microbiológicos con los parámetros químicos medidos. Para ello, y en vista de las conclusiones del apartado anterior, se decidió no hacer distinciones entre acuíferos y tomar todos los datos como poblaciones estadísticas únicas. Los datos, para todas las muestras, son los que aparecen en la tabla 7.7.

En este caso lo que se trata de establecer son correlaciones entre cada una de las tres primeras columnas de la tabla (microbiología) con cada una de las restantes (parámetros químicos), para ello, tal como se dijo anteriormente, se ha recurrido al **Test de Spearman**. Se ha aplicado el test, también, a los tres grupos microbiológicos entre ellos para comprobar si la presencia de alguno de los grupos puede estar condicionando a los otros.

El test calcula un coeficiente de correlación y establece la **hipótesis nula**, que consiste en suponer el coeficiente de correlación poblacional *cero* y la alternativa *distinto de cero*. Para ello se calcula un número **P** tal que si **P-valor < 0,05 se puede rechazar la hipótesis nula**, es decir admitir **correlación lineal** entre las variables en juego. Si **P-valor > 0,05 no hay evidencia estadística contra la hipótesis nula**, por lo tanto no hay evidencias de que exista correlación. Los resultados del test se muestran en la tabla 7.8.

A la vista de los resultados podemos concluir, en primer lugar, que la formación de las *biopelículas* no se debe a la acción en exclusiva de un solo grupo de bacterias, sino que, con toda seguridad, se produce una sinergia entre ellos. Este efecto sinérgico ya ha sido mencionado con anterioridad, sobre todo, entre ferrobacterias y sulfatorreductoras (*Chanterreau, 1985; Matía, 1981*). La fuerte correlación observada entre ferrobacterias y bacterias generadoras de exopolímeros nos sugiere un comportamiento similar entre ambos grupos, no así entre

sulfatorreductoras y éstas últimas, pues los valores de correlación están en el límite del rechazo de la “hipótesis nula”. Posiblemente la relación entre estos dos grupos sea más casual que entre el resto de los pares de grupos. Si tenemos en cuenta la fuerte correlación entre I.R.B./S.R.B. y entre I.R.B./SLYM, la correlación S.R.B./SLYM puede ser simplemente porque ambas se asocian con las ferrobacterias.

TABLA 7.8.- Correlación microbiota/parámetros químicos mediante el *Test de Spearman*

Pares de variables	Coef. Correlación	P-valor	Estimación	
IRB/SRB	0,5143	0,0002	Correlación	
IRB/SLYM	0,5037	0,0002	Correlación	
SRB/SLYM	0,2592	0,0591	Correlación*	
I.R.B. /	nH	0,2497	0,069	No Correlación
	Conduct.	- 0,4014	0,0035	Correlación
	O₂	0,2623	0,0562	Correlación*
	Eh	0,0552	0,6877	No Correlación
	Fe	-0,0031	0,9818	No Correlación
	HCO₃⁻	-0,35	0,0108	Correlación
	SO₄⁼	-0,3282	0,0169	Correlación
S.R.B. /	nH	0,2494	0,0694	No Correlación
	Conduct.	-0,1639	0,2329	No Correlación
	O₂	0,153	0,2652	No Correlación
	Eh	0,022	0,8728	No Correlación
	Fe	-0,0418	0,7608	No Correlación
	HCO₃⁻	-0,1546	0,2604	No Correlación
	SO₄⁼	-0,0727	0,5964	No Correlación
SLYM /	nH	-0,016	0,9072	No Correlación
	Conduct.	-0,0722	0,599	No Correlación
	O₂	0,1637	0,2333	No Correlación
	Eh	0,0233	0,865	No Correlación
	Fe	-0,0308	0,8227	No Correlación
	HCO₃⁻	-0,3234	0,0186	Correlación
	SO₄⁼	0,0518	0,7062	No Correlación

Como puede apreciarse, son muy escasas las correlaciones entre microorganismos con los parámetros químicos medidos en las captaciones, incluso incluyendo como correlacionados dos casos, marcados con asterisco, en que P-valor está en el límite.

Las ferrobacterias se correlacionan negativamente con la conductividad, hidrogenocarbonatos y sulfatos. Si tenemos en cuenta que la correlación con la conductividad es más fuerte que con los otros dos parámetros, podemos deducir que éstos son sólo consecuencia de su influencia en el valor global de la conductividad. Por tanto, podemos concluir que **las ferrobacterias únicamente ven dificultado su desarrollo por la conductividad del agua**, siendo indiferentes al resto de las condiciones químicas, incluido el contenido en hierro.

Se aprecia "cierta" correlación entre las ferrobacterias y el oxígeno disuelto. En este caso ocurre como ocurría con la correlación entre las bacterias de los grupos SRB y SLYM, que el valor está en el límite del rechazo de la "hipótesis nula".

En cuanto a los otros dos grupos, únicamente se aprecia correlación entre las bacterias generadoras de exopolímeros (SLYM) y el contenido en hidrogenocarbonatos. Esta correlación es, además, negativa, tal como ocurre con las ferrobacterias. Por otro lado, en **las sulfatorreductoras** no aparece ningún parámetro que podamos correlacionar con la mayor o menor presencia de estos microorganismos, lo que nos lleva a concluir que **son independientes de las condiciones químicas del medio**.

En principio sería lógico pensar que pudiera haber una correlación negativa entre S.R.B. y el contenido en oxígeno disuelto, dado que son anaerobias. El hecho de que no sea así se explica por su capacidad de ocupar los nichos anaerobios en las incrustaciones, asociados a las I.R.B. que ocuparían las zonas más superficiales aerobias (*Matía, 1981; Chanterreau, 1985*).

Podemos concluir, por tanto, que el desarrollo de microorganismos generadores de obstrucción en las captaciones de agua subterránea es independiente de las características químicas a excepción de la conductividad, que dificulta ligeramente el desarrollo tanto de ferrobacterias como de generadores de exopolímeros. Si tenemos en cuenta que para los usos más habituales, como son el abastecimiento humano y el regadío cuanto menos salinidad tenga el agua tanta mejor será su calidad, **ninguna captación está exenta** de la colonización de este tipo de microorganismos.

7.4. RELACIÓN ENTRE MICROBIOTA Y PARÁMETROS TÉCNICOS-HIDROGEOLÓGICOS

Como en el apartado anterior utilizaremos el *Test de Spearman*, dado que se trata de ver si alguno de los parámetros técnicos de los pozos o hidrogeológicos condicionan la presencia de microorganismos formadores de *biopelícula*.

En el apartado 7.1 ya se hizo la justificación de los parámetros elegidos. De todas formas sí habría que añadir que ahora, lógicamente, se han desechado las muestras de manantiales, es decir las aguas carbónicas pertenecientes a la serie de muestras **Y** (acuíferos en *Hard-Rocks*).

Los parámetros a correlacionar son, por tanto:

- Profundidad del pozo
- Nivel estático
- Edad de la captación

Como no tenemos los tres datos de todas las muestras, el test se ha realizado exclusivamente para aquellas de las que se dispone del dato en cuestión (tabla 7.9)

TABLA 7.9.- Parámetros técnicos-hidrogeológicos

Muestra	Profundidad (m)	Nivel estático (m)	Año construcción
M-1	200	16	1981
M-2	150		1993
M-3	122		1983
M-4	150	39	1992
M-5	156	65	1992
M-6	50		1993
M-7	248		1974
M-8	111		1980
M-9	198		1970
CC-1	100		
CC-2	202		
CC-3	99		
AL	735	104	1993
MM	181	77,3	
MZ	606	35,6	1990
H	238		1988
F	155,5	102	1986
TT-1	85,6	8	1987
TT-2	50	6	1987
TT-4		6	1987
TT-5	80		1988
TT-6	900	30	1987
TT-7	270		
TT-8	138,5	138,2	
TT-9	210	76	1988
TT-10	300	110	1986
TT-11	330	0,5	1992
TT-12	232	45	1985
AP-1	208	31,4	1984
AP-2	320	44,5	1986
AP-3	212	80,3	1988
AP-4	330	84	1987
AP-5	180	48,1	1987
AP-6	150	49,4	1989

Los resultados de la aplicación del test se expresan en la tabla 7.10:

TABLA 7.10.- Correlación microbiota/parámetros técnicos-hidrogeológicos mediante el *Test de Spearman*

Pares de variables		Coef. Correlación	P-valor	Estimación
I.R.B. /	Profundidad	0,1699	0,3365	No Correlación
	Nivel agua	0,4784	0,0284	Correlación
	Edad pozo	0,1479	0,44	No Correlación
S.R.B /	Profundidad	0,1699	0,3365	No Correlación
	Nivel agua	0,1067	0,6249	No Correlación
	Edad pozo	0,3805	0,048	Correlación
SLYM /	Profundidad	-0,17	0,31	No Correlación
	Nivel agua	0,4457	0,0411	Correlación
	Edad pozo	0,08	0,6739	No Correlación

Observamos que hay correlación directa entre el nivel del agua en el pozo (nivel estático) y la abundancia de ferrobacterias y de bacterias generadoras de exopolímeros. Al ser directa la correlación cabe pensar que a mayor zona de aireación en la captación mayor probabilidad de colonización por parte de estos microorganismos. Esto es un dato importante a tener en cuenta, pues aquellas captaciones realizadas en zonas con niveles piezométricos más profundos necesitarán una mayor atención a nivel de mantenimiento.

En contra de lo que cabría esperar, la edad del pozo no se correlaciona nada más que con las sulfatorreductoras. Esto quiere decir

que incluso las captaciones con, relativamente, pocos años necesitan de un mantenimiento periódico, pues no están exentas de la colonización por ferrobacterias ni bacterias del tipo SLYM. Sí parece ser que cuantos más años tiene una captación, tanta más probabilidad de colonización por sulfatorreductoras.

7.5. VALIDEZ DEL MÉTODO B.A.R.T.

Aunque ya se desarrolló el método B.A.R.T. para la identificación y cuantificación de los microorganismos generadores de *biopelícula* en el apartado 6.3, quedaba pendiente la comparación estadística entre los resultados obtenidos con dicho método y los obtenidos mediante el análisis microbiológico convencional de laboratorio. Esta comparación la hemos dejado para el capítulo de estadística, dado que los tests a aplicar para comparar ambas poblaciones de datos son los mismos que se han empleado en el presente capítulo para la comparación de poblaciones microbiológicas.

Los datos que vamos a manejar son los resultados obtenidos mediante ambos métodos, para lo que habrá que establecer, en primer lugar, si alguna de las poblaciones de datos (siembra en placa y B.A.R.T.) siguen una distribución normal o no. Una vez realizada esta prueba habrá que elegir un test estadístico adecuado para comparar ambas poblaciones y deducir si los resultados obtenidos por ambos sistemas son equivalentes o no. En caso de que sean equivalentes, para reducir al máximo la posibilidad de error en el desarrollo de alguno de los dos métodos, se dará como población de cada uno de los grupos microbiológicos un valor ponderado entre los resultados de ambos. Por el contrario, si no fueran equivalentes habrá que determinar con cuál de las cuantificaciones trabajamos para el resto de los análisis estadísticos (dado que el método B.A.R.T. es más subjetivo nos quedaríamos con los resultados obtenidos en laboratorio).

TABLA 7.11.- Recuentos, en céls/ml, de ferrobacterias y sulfatorreductoras en laboratorio y por el método B.A.R.T.

	I.R.B.		S.R.B.			I.R.B.		S.R.B.	
	Placa	BART	Placa	BART		Placa	BART	Placa	BART
M-1	0	0	0	0	Y-6	5300	5000	10	100
M-2	10	100	10	10	Y-7	0	0	0	0
M-3	100	100	10	10	Y-8	0	0	0	0
M-4	1000	100	10	10	Y-9	90	0	0	0
M-5	1000	0	10	10	Y-10	0	0	0	0
M-6	570	1000	0	0	Y-11	80	0	0	0
M-7	500	100	0	0	Y-12	120	0	0	0
M-8	0	500	5	10	Y-13	0	0	0	0
M-9	1000	1000	10	10	Y-14	0	10	0	0
TT-1	0	0	5	100	AP-1	70	100	1000	1000
TT-2	0	1000	0	1000	AP-2	15100	100	7	10
TT-4	0	1000	2	100	AP-3	310	0	7	0
TT-5	1300	1000	2	100	AP-4	15100	1000	50	0
TT-6	1310	1000	1000	1000	AP-5	13600	1000	1000	1000
TT-7	63000	5000	10	100	AP-6	4200	5000	15	0
TT-8	238000	100000	1000	1000	CC-1	610	1000	3	5
TT-9	1100	1000	5	0	CC-2	2210	1000	1	3
TT-10	100	100	110	0	CC-3	0	0	1000	1000
TT-11	2220	1000	1000	1000	MM	4100	10000	21	100
TT-12	197000	10000	10	100	MZ-0	1980	1000	1000	1000
Y-1	0	0	10	100	MZ-20	1060	1000	500	500
Y-2	0	0	100	0	MZ-50	710	1000	1000	1000
Y-3	180	1000	100	100	MZ100	860	1000	110	1000
Y-4	260	100	110	100	AL	102000	100000	5000	5000
Y-5	3200	3000	1000	1000					

En la tabla 7.11 se reflejan los recuentos obtenidos por los métodos convencionales de laboratorio y con el método B.A.R.T. Se ha simplificado sólo para ferrobacterias y sulfatorreductoras por ser los medios más específicos para siembra y por tanto lo que menos dudas plantean a la hora de definir los microorganismos que están desarrollándose. No se han incluido las muestras de las series **H** y **F** porque, tal como se dijo anteriormente, pertenecen a unos trabajos anteriores y no se les aplicó el método B.A.R.T. por no estar disponible todavía.

Lo primero que se hizo fue comprobar si, tal como ocurría con el resto de los datos, en ambos casos las distribuciones eran **no paramétricas**. Tras la comprobación por medio de *Statgraphics* se verifica que, efectivamente son distribuciones no paramétricas, por lo tanto el test a aplicar, dado que se trata de comparar dos poblaciones de datos entre sí, será el **Test de la U de Mann-Whitney**. Los resultados de dicho test se expresan en la tabla 7.12

TABLA 7.12.- Comparación de los recuentos microbiológicos Laboratorio/B.A.R.T. mediante el test de la U

	Valor - z	Estimación
Recuentos I.R.B.	0,46189	Sin diferencia
Recuentos S.R.B.	0,30333	Sin diferencia

Como puede observarse, los valores **z** son, en ambos casos, inferiores a **1,96**, por lo que podemos concluir que ambas series de datos son equivalentes.

El hecho de que sean equivalentes supone que, aunque los valores poblacionales que sugiere el método B.A.R.T. son una aproximación poco objetiva, es lo suficientemente buena como para establecer niveles poblacionales de forma fiable. Si a esto le añadimos la facilidad de uso y la fiabilidad en la determinación de los diferentes grupos microbiológicos, es un buen sistema para controlar periódicamente el estado de las captaciones.

En las figuras 7.1, 7.2 y 7.3 se muestra la relación sugerida por el Dr. D.R. Cullimore (Cullimore, 1992) entre las poblaciones de I.R.B., SLYM y S.R.B., respectivamente, con el día en que aparece la reacción B.A.R.T. en cada muestra.

Para concluir, tal como señalábamos anteriormente, el hecho de que no haya diferencia estadística entre ambos recuentos lo utilizaremos para hacer una estimación entre ambos a la hora de definir el valor en células/ml en cada muestra y para cada tipo de microorganismo. Estos valores son los que aparecen en la tabla 7.7 y las parciales extraídas a partir de ella 7.2, 7.3 y 7.4.

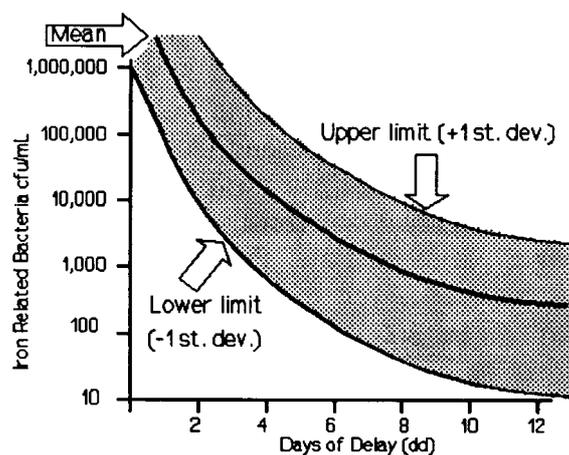


Fig. 7.1.- Estimación del número de células/ml de ferrobacterias en función del día en que se empieza a desarrollar la reacción B.A.R.T. (Cullimore, 1992)

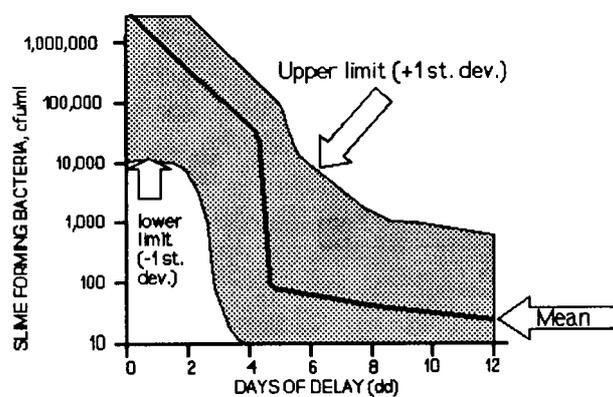


Fig. 7.2.- Estimación del número de células/ml de Bacterias Generadoras de Exopolímeros (SLYM) en función del día en que se empieza a desarrollar la reacción B.A.R.T. (Cullimore, 1992)

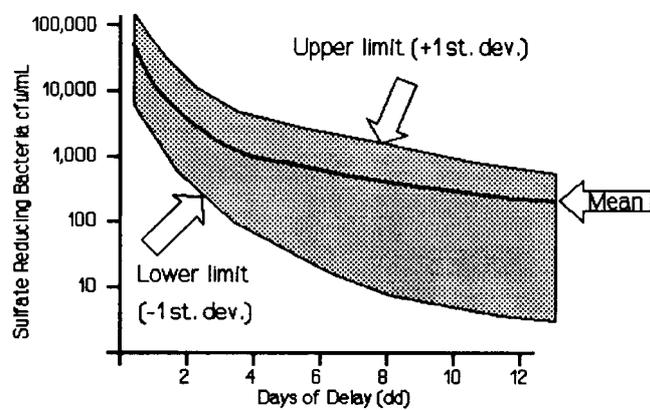


Fig. 7.3.- Estimación del número de células/ml de sulfatorreductoras en función del día en que se empieza a desarrollar la reacción B.A.R.T. (Cullimore, 1992)

8. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

8. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Antes de hacer un resumen general vamos a hacer un resumen parcial de cada una de las captaciones analizadas en el que se establezca su estado a nivel de corrosiones y, sobre todo, incrustaciones, así como la influencia que la microbiota ha podido tener en dicho estado. Para ello creemos suficiente información el tipo de acuífero y quimismo del agua, tipo y desarrollo de los depósitos incrustantes y grupos microbiológicos y abundancia relativa de cada uno.

En las captaciones de las que se dispone de R.O.T.V., el tipo de las incrustaciones se estima en función de la imagen y de los resultados del programa WATEQF y de los diagramas de *Pourbaix*. En aquéllas en las que no fue posible realizar el registro de vídeo, el tipo de incrustaciones se deduce exclusivamente de los datos químicos.

A continuación elaboramos una "ficha resumen" con los datos mencionados así como un breve diagnóstico de cada captación.

M-1 (U.H. 03.05)	
Tipo de acuífero	Detrítico
Tipo de agua	Hidrogenocarbonatada sódica
Depósitos	Fe(OH) ₃ , Hematites, Goethita
Microbiota	Niveles no detectables Poca agresividad
Captación en muy buen estado	
Pocos depósitos, si acaso, de origen químico	

M-2 (U.H. 03.05)	
Tipo de acuífero	Detrítico
Tipo de agua	Hidrogenocarbonatada cálcica
Depósitos	Goethita, Hematites, Calcita
Microbiota	<i>Leptothrix/Sphaerotilus, S.R.B.</i> Agresividad moderada
Incrustaciones predominantemente de origen químico Empiezan a tener importancia las incrustaciones biológicas	

M-3 (U.H. 03.05)	
Tipo de acuífero	Detrítico
Tipo de agua	Hidrogenocarbonatada cálcica
Depósitos	Goethita, Hematites, Calcita
Microbiota	Abundancia de <i>SLYM</i>
Peligro de obturación por geles orgánicos Convendría desinfectar el pozo	

M-4 (U.H. 03.05)	
Tipo de acuífero	Detrítico
Tipo de agua	Hidrogenocarbonatada cálcica
Depósitos	Hematites, Goethita
Microbiota	<i>Pseudomonas</i> , enterobacterias, <i>I.R.B.</i> , <i>S.R.B.</i> Agresividad moderada
Poco desarrollo de las incrustaciones	
Problemas de contaminación. Necesidad de desinfección y control	

M-5 (U.H. 03.05)	
Tipo de acuífero	Detrítico
Tipo de agua	Hidrogenocarbonatada cálcica
Depósitos	Hematites, Goethita, Calcita
Microbiota	<i>SLYM</i> y <i>S.R.B.</i> Las <i>S.R.B.</i> responsables de la agresividad
Alto riesgo de <i>bioincrustación</i>	
Peligro de desarrollo de geles orgánicos	

M-6 (U.H. 03.05)	
Tipo de acuífero	Detrítico
Tipo de agua	Hidrogenocarbonatada cálcica
Depósitos	Hematites, Goethita, Calcita
Microbiota	<i>I.R.B.</i> , <i>S.R.B.</i> y <i>SLYM</i> De alta agresividad
Incrustaciones con importante contribución biológica	
Necesidad de desinfección	

M-7 (U.H. 03.05)	
Tipo de acuífero	Detrítico
Tipo de agua	Hidrogenocarbonatada sódica
Depósitos	Hematites, Goethita, Calcita
Microbiota	Abundantes <i>SLYM</i>
Incrustaciones de origen químico	
Desarrollo de geles orgánicos	

M-8 (U.H. 03.05)	
Tipo de acuífero	Detrítico
Tipo de agua	Hidrogenocarbonatada sódica
Depósitos	Hematites, Goethita, Calcita
Microbiota	<i>Leptothrix/Sphaerotilus, S.R.B.</i> Alta agresividad
Influencia de los microorganismos en las incrustaciones	
Necesidad de desinfección	

M-9 (U.H. 03.05)	
Tipo de acuífero	Detrítico
Tipo de agua	Sulfatada sódica
Depósitos	Hematites, Goethita, Calcita
Microbiota	<i>I.R.B., S.R.B. y SLYM</i> De alta agresividad
Incrustaciones y corrosiones de origen biológico	
Necesidad de limpieza y desinfección	

TT-1 (U.H. 04.04)	
Tipo de acuífero	Carbonatado
Tipo de agua	Sulfatada cálica
R.O.T.V.	Costras terrosas rojizas
Depósitos	Fe(OH) ₃ , Hematites
Microbiota	<i>S.R.B.</i> , <i>SLYM</i> Abundantes ambas
Incrustaciones de origen biológico	
Peligro de formación de geles orgánicos	

TT-2 (U.H. 04.04)	
Tipo de acuífero	Carbonatado
Tipo de agua	Sulfatada cálica
R.O.T.V.	Incrustaciones pardas
Depósitos	Goethita, Siderita
Microbiota	<i>I.R.B.</i> , <i>S.R.B.</i> , enterobacterias Alta agresividad
Influencia de microorganismos en las incrustaciones	
Peligro de corrosiones por <i>S.R.B.</i>	

TT-4 (U.H. 04.04)	
Tipo de acuífero	Carbonatado
Tipo de agua	Sulfatada cálcica
R.O.T.V.	Nódulos pardos
Depósitos	Goethita, carbonatos
Microbiota	<i>I.R.B., S.R.B.</i> Agresividad moderada
Incrustaciones predominantemente químicas	
Necesidad de control del pozo	

TT-5 (U.H. 04.04)	
Tipo de acuífero	Carbonatado
Tipo de agua	Clorurada cálcica
R.O.T.V.	Nódulos pardos
Depósitos	Goethita
Microbiota	<i>Gallionella, Citrobacter</i> Abundancia de <i>SLYM</i>
Incrustaciones de origen químico	
Peligro de formación de geles orgánicos	

TT-6 (U.H. 08.29)	
Tipo de acuífero	Carbonatado
Tipo de agua	Sulfatada cálcica
R.O.T.V.	Película fina de óxidos (< 360 m) Recubrimiento total por nódulos negros
Depósitos	Fe(OH) ₃ , Hematites, Goethita
Microbiota	Abundancia de <i>S.R.B.</i>
Óxidos de origen químico	
Bioincrustación intensa en profundidad. Peligro de corrosiones	

TT-7 (U.H. 08.12)	
Tipo de acuífero	Detrítico
Tipo de agua	Sulfatada cálcica
R.O.T.V.	Chorreras y nódulos ferruginosos Tubérculos pardos
Depósitos	Hematites, Goethita
Microbiota	<i>I.R.B.</i> , <i>S.R.B.</i> Agresividad moderada
Depósitos de origen químico	
Riesgo potencial de bioincrustación	

TT-8 (U.H. 08.12)	
Tipo de acuífero	Detrítico
Tipo de agua	Sulfatada cálcica
R.O.T.V.	Costras calcáreas (< 102 m) Obstrucción ferruginosa total (> 102 m)
Depósitos	Calcita, Hematites
Microbiota	<i>S.R.B.</i> , <i>Pseudomonas</i> , enterobacterias Agresivas
Contribución importante de microorganismos en las incrustaciones	
Problemas de contaminación	
Necesidad de regeneración de la captación	

TT-9 (As Pontes)	
Tipo de acuífero	Detrítico
Tipo de agua	Hidrogenocarbonatada sódica
R.O.T.V.	Gel orgánico. Obstrucción total
Depósitos	Orgánicos, Fe(OH) ₃
Microbiota	Escasa, en general Mayor abundancia de <i>SLYM</i>
Obstrucción predominantemente de origen biológico	
Necesidad de limpieza y desinfección	

TT-10 (<i>As Pontes</i>)	
Tipo de acuífero	Detrítico
Tipo de agua	Hidrogenocarbonatada cálcica
R.O.T.V.	Costras terrosas rojas Nódulos negros
Depósitos	Hematites, Goethita
Microbiota	Escasa, en general
Incrustación predominantemente química	

TT-11 (<i>Vila Franca da Xira</i>)	
Tipo de acuífero	Carbonatado
Tipo de agua	Hidrogenocarbonatada cálcica
R.O.T.V.	Costras ferruginosas nodulares
Depósitos	Goethita
Microbiota	<i>Pseudomonas</i> , <i>S.R.B.</i> , enterobacterias Agresividad moderada
Peligro potencial de incrustación biológica	
Indicios de contaminación	

TT-12 (U.H. 02.17)	
Tipo de acuífero	Detrítico
Tipo de agua	Hidrogenocarbonatada sódica
R.O.T.V.	Incrustaciones sólo en las uniones
Depósitos	Inexistentes
Microbiota	Muy abundante <i>Crenothrix, Sphaerotilus, S.R.B., Enterob.</i>
Pozo en muy buenas condiciones	
Origen electrolítico de las incrustaciones	

Y-1 (Campo de Calatrava)	
Tipo de acuífero	Metamórfico
Tipo de agua	Hidrogenocarbonatada sódica
Depósitos	Fe(OH) ₃ , carbonatos
Microbiota	Abundantes <i>S.R.B., Citrobacter</i>
Bioincrustación con peligro de corrosión	
Formación de geles orgánicos	

Y-2 (Campo de Calatrava)	
Tipo de acuífero	Metamórfico
Tipo de agua	Hidrogenocarbonatada sódica
Depósitos	Goethita, Hematites
Microbiota	Muy escasa
Incrustaciones de origen químico	

Y-3 (Campo de Calatrava)	
Tipo de acuífero	Metamórfico
Tipo de agua	Hidrogenocarbonatada sódica
Depósitos	Goethita, Hematites
Microbiota	<i>Crenothrix, Sphaerotilus, S.R.B.</i> Gran agresividad
Gran influencia de los microorganismos en las incrustaciones	
Posibilidad de corrosiones	
Necesidad de desinfección	

Y-4 (Campo de Calatrava)	
Tipo de acuífero	Metamórfico
Tipo de agua	Hidrogenocarbonatada sódica
Depósitos	Fe(OH) ₃
Microbiota	<i>SLYM</i> moderadamente abundantes
Depósitos de origen químico	
Peligro de formación de geles orgánicos	

Y-5 (Campo de Calatrava)	
Tipo de acuífero	Metamórfico
Tipo de agua	Hidrogenocarbonatada sódica
Depósitos	Goethita, Hematites, carbonatos
Microbiota	<i>Citrobacter</i> Alta agresividad
Incrustaciones de origen químico	
Abundancia de geles orgánicos	

Y-6 (Campo de Calatrava)	
Tipo de acuífero	Metamórfico
Tipo de agua	Hidrogenocarbonatada magnésica
Depósitos	Goethita, Hematites
Microbiota	<i>S.R.B.</i> , <i>SLYM</i> Agresividad alta
Incrustaciones de origen biológico	
Peligro de obstrucción por geles orgánicos	

Y-7 (Cataluña)	
Tipo de acuífero	Plutónico-Metamórfico
Tipo de agua	Hidrogenocarbonatada sódica
Depósitos	Carbonatos
Microbiota	Escasa
Captación en muy buen estado tanto químico como biológico	

Y-8 (Cataluña)	
Tipo de acuífero	Plutónico-Metamórfico
Tipo de agua	Hidrogenocarbonatada sódica
Depósitos	Fe(OH) ₃ , carbonatos
Microbiota	Apenas detectable
Pocas incrustaciones, de origen químico	
Control de la microbiota	

Y-9 (Cataluña)	
Tipo de acuífero	Plutónico-Metamórfico
Tipo de agua	Hidrogenocarbonatada sódica
Depósitos	Fe(OH) ₃ , carbonatos
Microbiota	Poca agresividad
Depósitos de origen químico	
Control de la microbiota	

Y-10 (Cataluña)	
Tipo de acuífero	Plutónico-Metamórfico
Tipo de agua	Hidrogenocarbonatada cálcica
Depósitos	Fe(OH) ₃ , carbonatos
Microbiota	<i>SLYM</i> poco abundantes
Óxidos de origen químico	
Posibilidad de formación de geles orgánicos	

Y-11 (Cataluña)	
Tipo de acuífero	Plutónico-Metamórfico
Tipo de agua	Hidrogenocarbonatada cálcica
Depósitos	Goethita, Hematites, carbonatos
Microbiota	<i>Proteus</i> en cantidad moderada
Incrustaciones de origen químico	
Posibilidad de formación de geles orgánicos	

Y-12 (Cataluña)	
Tipo de acuífero	Plutónico-Metamórfico
Tipo de agua	Hidrogenocarbonatada sódica
Depósitos	Fe(OH) ₃ , carbonatos
Microbiota	Muy baja agresividad
Buen estado de la captación	
Óxidos de origen químico	

Y-13 (Cataluña)	
Tipo de acuífero	Plutónico-Metamórfico
Tipo de agua	Hidrogenocarbonatada sódica
Depósitos	Fe(OH) ₃ , carbonatos
Microbiota	<i>SLYM</i> en cantidad moderada
Óxidos de origen químico	
Posibilidad de formación de geles orgánicos	

Y-14 (Cataluña)	
Tipo de acuífero	Plutónico-Metamórfico
Tipo de agua	Hidrogenocarbonatada sódica
Depósitos	Hematites, Goethita
Microbiota	<i>Citrobacter</i> muy abundante
Incrustaciones químicas Posibilidad de generación de geles orgánicos Necesidad de desinfección	

AP-1 (As Pontes)	
Tipo de acuífero	Detrítico
Tipo de agua	Hidrogenocarbonatada cálcica
R.O.T.V.	Geles orgánicos Costras ferruginosas piritizadas
Depósitos	Orgánicos, Fe(OH) ₃ , Hematites
Microbiota	Abundancia de <i>SLYM</i>
Costras de origen químico y geles orgánicos Necesidad de desinfección y limpieza	

AP-2 (As Pontes)	
Tipo de acuífero	Detrítico
Tipo de agua	Sulfatada cálcica
R.O.T.V.	Geles orgánicos Nódulos ferruginosos
Depósitos	Orgánicos, Goethita
Microbiota	<i>SLYM</i> abundantes <i>S.R.B.</i> escasos
<i>Biopelículas</i> orgánicas y minerales	
Riesgo de corrosión	

AP-3 (As Pontes)	
Tipo de acuífero	Detrítico
Tipo de agua	Sulfatada sódica
R.O.T.V.	Sólo algunos geles orgánicos
Depósitos	Orgánicos
Microbiota	<i>SLYM</i> con agresividad moderada
Pozo en buen estado general	
Necesidad de desinfección	

AP-4 (As Pontes)	
Tipo de acuífero	Detrítico
Tipo de agua	Sulfatada sódica
R.O.T.V.	Costras ferruginosas (< 280 m) Tubérculos negros (> 280 m)
Depósitos	Hematites, Goethita
Microbiota	Agresividad moderada
Predominio de los depósitos de origen químico	
Necesidad de limpieza del sondeo	

AP-5 (As Pontes)	
Tipo de acuífero	Detrítico
Tipo de agua	Hidrogenocarbonatada cálcica
R.O.T.V.	Depósitos terrosos Nódulos ferruginosos
Depósitos	Fe(OH) ₃ , Hematites
Microbiota	<i>SLYM</i> , <i>S.R.B.</i> Agresividad de moderada a alta
Depósito químicos con influencia biológica	
Peligro de corrosiones	

AP-6 (As Pontes)	
Tipo de acuífero	Detrítico
Tipo de agua	Sulfatada cálcica
R.O.T.V.	Geles orgánicos Tubérculos ferruginosos
Depósitos	Orgánicos, Hematites, Goethita
Microbiota	<i>Crenothrix</i> , <i>Sphaerotilus</i> , enterobacterias Actividad orgánica
Bioincrustación importante <i>Biopelículas</i> orgánicas Necesidad de desinfección y limpieza	

CC-1 (U.H. 08.25)	
Tipo de acuífero	Carbonatado
Tipo de agua	Sulfatada cálcica
R.O.T.V.	Depósitos ferruginosos poco adhesivos Tubérculos. Obstrucción parcial
Depósitos	Fe(OH) ₃ , Goethita
Microbiota	<i>S.R.B.</i> abundantes <i>SLYM</i> en cantidad moderada
Contribución biológica en las incrustaciones Necesidad de limpieza y desinfección	

CC-2 (U.H. 08.07)	
Tipo de acuífero	Carbonatado
Tipo de agua	Sulfatada cálcica
R.O.T.V.	Partículas limo-arcillosas
Depósitos	Arcillas
Microbiota	Muy diversa Agresividad alta
Entrada de partículas procedentes del acuífero	
Necesidad de desinfección y limpieza	

CC-3 (U.H. 08.25)	
Tipo de acuífero	Carbonatado
Tipo de agua	Sulfatada cálcica
R.O.T.V.	Costra de óxidos Obstrucción casi total (> 83 m)
Depósitos	Hematites
Microbiota	Abundantes <i>SLYM</i> <i>S.R.B.</i> en pequeña cantidad
Costra de origen químico	
Necesidad de regeneración del sondeo	

AL (U.H. 06.14)	
Tipo de acuífero	Carbonatado
Tipo de agua	Clorurada sódica
R.O.T.V.	Tubérculos ferruginosos Costras negras Corrosión muy avanzada
Depósitos	Hematites, Goethita
Microbiota	<i>I.R.B.</i> , <i>S.R.B.</i> , <i>Pseudomonas</i> , Enterobacts. Muy alta agresividad
Captación en muy mal estado	
Incrustación orgánica e indicios de contaminación	

MM (U.H. 02.17)	
Tipo de acuífero	Detrítico
Tipo de agua	Clorurada sódica
R.O.T.V.	Costras terrosas rojizas
Depósitos	Fe(OH) ₃ , Hematites
Microbiota	<i>I.R.B.</i> , <i>S.R.B.</i> , <i>Pseudomonas</i> Alta agresividad
Bioincrustación y <i>biopelícula</i> orgánica	
Necesidad de desinfección	

MZ (U.H. 02.17)	
Tipo de acuífero	Detrítico
Tipo de agua	Hidrogenocarbonatada cálcica
R.O.T.V.	Costras ferruginosas poco desarrolladas
Depósitos	Fe(OH) ₃ , Hematites
Microbiota	<i>Pseudomonas</i> , <i>I.R.B.</i> Agresividad alta
Las costras de origen biológico	
Desinfección y limpieza	

H (U.H. 02.17)	
Tipo de acuífero	Detrítico
Tipo de agua	Hidrogenocarbonatada cálcica
R.O.T.V.	Costras rojas amorfas Depósitos globulares negros
Depósitos	Hematites, Goethita
Microbiota	<i>I.R.B.</i> , <i>S.R.B.</i> Agresividad moderada
Empieza a tener importancia la incrustación biológica	
Posibilidad de corrosiones	

F (U.H. 02.17)	
Tipo de acuífero	Detrítico
Tipo de agua	Hidrogenocarbonatada cálcica
R.O.T.V.	Depósitos rojo-claro terrosos
Depósitos	Hematites, $\text{Fe}(\text{OH})_3$
Microbiota	<i>Leptothrix/Sphaerotilus</i> Agresividad alta
Importancia de los microorganismos en las incrustaciones	
Necesidad de desinfección y limpieza	

Podemos comprobar que, si bien en cierta cantidad de pozos, las incrustaciones no son necesariamente de origen biológico, en muchas otras, o son de origen biológico o al menos la microbiota es tan abundante que su contribución al proceso de envejecimiento es fundamental.

Captaciones en las que la contribución de los microorganismos en los procesos de incrustación y, en su caso, de corrosión es fundamental son: M-5, M-6, M-8, M-9, TT-1, TT-2, TT-6, TT-8, TT-9, TT-11, Y-1, Y-3, Y-6, AP-2, AP-5, AP-6, CC-1, CC-2, AL, MM, MZ, H, F, es decir, un 48 % del total de las muestras analizadas.

Además, hay otras en las que la abundancia de bacterias formadoras de exopolímeros es tal que los geles orgánicos presentes llegan a taponar, a veces por completo, las rejillas de la captación. Estas son: M-3, M-5, M-7, TT-1, TT-5, Y-1, Y-4, Y-5, Y-6, Y-10, Y-11, Y-13, Y-

14, AP-1, AP-2, AP-3, AP-6, MM, concretamente el 37,5 % del total de muestras estudiado.

Como puede observarse, son pocas realmente las captaciones en las que las incrustaciones son de origen químico exclusivamente. Podemos señalar las siguientes: M-2, TT-4, TT-7, TT-10, Y-2, Y-8, Y-9, AP-4, CC-3, lo que supone, igualmente, el 19 % del total de las muestras.

Captaciones en buen estado en las que, de momento, no hay formación de incrustaciones suficiente como para suponer alteraciones en el funcionamiento de las mismas son: M-1, M-4, TT-12 e Y-12, es decir, sólo un 8 %.

En resumen:

- El 48 % son muestras vinculadas a procesos de corrosión e incrustación debida a microorganismos.
- El 37,5 % son muestras en las que la abundancia de geles orgánicos (polímeros extracelulares generados por microorganismos) puede dificultar el funcionamiento de las captaciones.
- Un 19 % son captaciones con problemas de incrustación y corrosión, en principio, no influenciadas por la microbiota del pozo.
- Sólo un 8 % de las muestras refleja un estado de conservación aceptable desde el punto de vista de las corrosiones e incrustaciones.

La suma excede el 100 % porque algunas de las muestras presentan tanto problemas de incrustación biológica como de obturación por abundancia de geles, estas son: M-5, TT-1, Y-1, Y-6, AP-2, AP-6 y MM, el 14,5 % del total de las muestras analizadas.

9. PREVENCIÓN DE INCRUSTACIONES

9. PREVENCIÓN DE INCRUSTACIONES

9.1. PRECAUCIONES EN LAS EXPLOTACIONES NUEVAS

Tal como apuntábamos en trabajos anteriores (*Senderos, 1995*), únicamente con un tratamiento estadístico adecuado se podría relacionar el desarrollo de incrustaciones de origen biológico con parámetros químicos, hidrogeológicos o técnicos, y esto es lo que se ha pretendido, con los resultados ya mencionados. Independientemente de dichos resultados, desde el mismo momento de la construcción del pozo se deberían tomar las primeras precauciones, como puede ser la cloración de todo el material y aparatos que se van a introducir desde la perforación hasta el momento en que el pozo sea sellado y puesto fuera de uso. La mayoría de los autores coinciden en que una de las principales vías de contaminación es el exterior, ya que las ferrobacterias pueden ir adheridas al material metálico (entubados, triconos, bombas, etc. —*Driscoll, 1986; Caldwell, 1987; Cullimore, 1990*), lo cual no quiere decir que una porción importante de estos microorganismos no venga a través del acuífero (*Cullimore, 1990; Smith, 1995*).

Como consecuencia de lo anterior, habrá que tener especial cuidado en áreas con cierta densidad de captaciones. Por un lado porque, cuantas más vías abiertas tenga el acuífero, tanto más riesgo habrá de entrada de microorganismos desde el exterior. Por otro lado, la abundancia de captaciones acelera el movimiento a través del acuífero, haciendo que las bacterias se desplacen por él y lleguen a colonizar cualquier captación, por reciente que ésta sea (*Borch et al., 1993*).

De acuerdo con los resultados estadísticos que hemos obtenido, podremos estimar qué características harán a algunas captaciones más propensas a la formación de incrustaciones y, por tanto, habrá que extremar los cuidados:

- Tipos de acuíferos: sólo parecen más proclives a la colonización por este tipo de microorganismos las captaciones en terrenos ígneos y metamórficos (*hard-rocks*).
- Características químicas: aparentemente, la abundancia de sulfatorreductoras es independiente de las características químicas del agua. Las *bacterias formadoras de exopolímeros (SLYM)* pueden causar mayores problemas en aguas con contenidos bajos en hidrogenocarbonatos. Las ferrobacterias ven dificultado su desarrollo con la conductividad. De esto deducimos que, salvo que las aguas tengan conductividades ligeramente altas, **cualquier captación está igualmente expuesta a la colonización.**
- Parámetros técnicos e hidrogeológicos: de los datos obtenidos se deduce que captaciones con niveles estáticos más profundos están más expuestas a la colonización por ferrobacterias y por las que habíamos denominado como *SLYM*, es decir, las **aerobias**. Las poblaciones de bacterias sulfatorreductoras son las únicas que parece que tienden a aumentar con la edad del pozo.

Si tenemos en cuenta lo puntual de estos condicionantes casi podemos asegurar que no existen captaciones a salvo de estos microorganismos, por lo que en cualquier caso habrá que tener en cuenta unas precauciones mínimas. Estas precauciones en las captaciones nuevas, según *Smith-1999*, deberían ser:

1. Características locales que pueden incidir en el desarrollo de *biopelículas* y problemas de bioincrustación:
 - Áreas donde existen otras captaciones con problemas de incrustación, corrosión o calidad del agua.
 - Proximidad de pozos abandonados **sin sellar** u otras posibles fuentes de contaminación biótica.

- Acuíferos especialmente vulnerables, como pueden ser aquéllos que llegan a tener contacto con la superficie por la facilidad que supone el arrastre de cualquier microorganismo exterior.
 - Captaciones en áreas fracturadas, tanto carbonáticas como en *hard-rocks* o en arenas y gravas de gran transmisividad.
 - Zonas con yesos o hidrocarburos pueden generar problemas con bacterias de tipo *SLYM* o con *Sulfooxidantes*.
2. Minimizar las prácticas que introducen o favorecen el desarrollo de bacterias durante la perforación, cementación o desarrollo del pozo. El ambiente, torre de perforación, herramientas, etc., están colonizados por bacterias, incluso estando limpios:
 - Toda maquinaria o herramienta debe ser clorada, esta cloración puede ser más efectiva si, además, se usa agua ligeramente clorada para los lodos de perforación.
 - No introducir nunca agua sin tratar en el interior de la captación.
 3. Hay que tener especial cuidado en los desarrollos con polímeros o con polifosfatos, ya que suponen una fuente de carbono para las bacterias. Se aconseja mejor la utilización de ***polímeros de acrilamida***.
 4. Realizar un desarrollo exhaustivo después de la perforación y clorar después del desarrollo.
 5. Clorar después de cada periodo de bombeo. Se recomienda una concentración de 100 ppm de cloro y mantener, al

menos, 24 h sin bombear. Esta práctica requiere un control extremadamente cuidadoso de la calidad del agua tras la cloración, por lo que no es siempre recomendable.

6. Mantener las herramientas lo más limpias posible.
7. Realizar test microbiológicos y químicos periódicamente.

9.2. SEGUIMIENTO Y CONTROL DE LAS EXPLOTACIONES EN USO

9.2.1. Profilaxis y prevención de incrustaciones en los pozos

La mejor profilaxis para prevenir los problemas de *bioincrustación*, como ya se apuntó en el apartado anterior, es la cloración más o menos periódica del pozo. Sin embargo, en muchas ocasiones no es posible debido a sus efectos, a corto plazo, sobre la calidad del agua. En estos casos se puede realizar un tratamiento oxidante, por ejemplo con ácidos orgánicos, como el ácido acético, siendo este tipo de actuaciones muy interesantes desde el punto de vista de la prevención de incrustaciones de origen biológico y formación de *biopelículas*. Algunos tratamientos preventivos pueden ser (Smith, 1995):

- Ácido acético, en solución del 70%. Es importante que carezca de todo tipo de impurezas.
- Ácido sulfámico en forma sólida. Es estable, fácil y seguro de manejar. El único problema que plantea es que, en algunas ocasiones, puede formar amoníaco, pudiendo plantear problemas ambientales si no se controla.
- Soluciones a base de peróxido (H₂O₂), poseen el poder desinfectante y la capacidad oxidante del cloro, pero sin el poder contaminante de éste ni los problemas de los ácidos orgánicos. Su interacción con la calidad del agua del pozo es

reducida en el tiempo, ya que se disipa rápidamente con el agua. El problema que plantea es que las soluciones recomendadas (50-75 % de H₂O₂) acarrearán cierto peligro en su manejo.

Se pueden realizar, así mismo, otras acciones periódicamente para evitar la formación de *biopelículas*, como es la *pasteurización* del pozo. Consiste en calentar el agua y hacerla recircular. Tiene el problema de que no se puede aplicar a los pozos entubados con P.V.C., pues este material no resiste temperaturas superiores a 60° C (Smith, 1995). Una buena opción es la combinación de tratamientos por calor con tratamientos químicos, pero esto se usa más frecuentemente para la regeneración que como medida profiláctica (ver apartado 9.2.2).

En zonas especialmente proclives a la bioincrustación, se puede prevenir ésta induciendo la precipitación fuera de la captación. Esto se consigue bombeando agua aireada en el entorno de la captación, lo que favorece el desarrollo de ferrobacterias y *bacterias aerobias* en general. El beneficio es doble, por un lado la actividad de estos microorganismos en el medio poroso, fuera del ambiente del pozo, disminuye la posibilidad de precipitación en el interior; por otro, la aireación dificulta la instalación en el entorno de la captación de bacterias sulfatorreductoras, dado que son *anaerobias*. Este sistema de prevención de incrustaciones de origen biológico está patentado con la denominación VYREDOX™ (Borch et al., 1993).

Por último, otra medida preventiva que se está usando, sobre todo en Estados Unidos es la radiación. La radiación *gamma* genera peróxido de hidrógeno *in situ*, reduciendo los riesgos de manejo del H₂O₂ mencionados anteriormente.

A modo de resumen y de manera sencilla y, sobre todo, práctica, podemos enumerar qué acciones convendría realizar de manera periódica en cualquier captación para evitar problemas con

ferrobacterias o cualquier otro tipo de bacterias incrustantes o formadoras de *biopelícula* (Tyrrel y Howsan, 1990):

- Bombeo y restablecimiento de los niveles de agua **mensualmente**
- Control, de la productividad del pozo **mensualmente**
- Análisis microbiológico estándar **mensualmente**
- Control de compuestos nitrogenados, fosfatos y hierro total **mensualmente**
- Registro de vídeo (ROTV) **cada dos años**

9.2.2. Sistemas de regeneración

Entre los objetivos originales del proyecto CICYT **HID 96-1309** se encontraba la regeneración de, al menos, una captación afectada por *bioincrustación*. Un recorte presupuestario en la concesión de dicho proyecto dejó esta parte del trabajo postergada al futuro, recomendándose que, en otro momento, se pidiera un nuevo proyecto exclusivamente para realizar pruebas de regeneración. A pesar de ello, creemos que el trabajo quedaría incompleto si no se hace un breve repaso a algunos sistemas de regeneración, aunque éste no pase de ser una recopilación bibliográfica con las consideraciones pertinentes sobre la viabilidad de cada uno de ellos.

Idealmente, no debería ser necesaria la rehabilitación si se ha seguido un mantenimiento periódico de la captación (Smith, 1995). En cualquier caso, previo a la operación de regeneración habrá que plantearse una serie de cuestiones:

- ¿Es viable económicamente la regeneración?
- ¿Qué problemas, a nivel local, presentan las captaciones adyacentes?
- ¿Es técnicamente efectiva la regeneración?

- ¿Es más cara la sustitución completa del pozo?
- ¿Qué grado de deterioro tiene el pozo?
- ¿Qué ganancia obtendremos tras la rehabilitación? ¿Es rentable dicha ganancia con respecto al coste de la operación?

Una vez decidida la regeneración, son varios los métodos posibles y, por tanto, habrá que valorar cuál es el más adecuado, tanto económica como técnicamente, para nuestra captación. Los podemos agrupar en: **físicos, químicos, hidrodinámicos, operativos y mecánicos**, aunque últimamente se vienen haciendo rehabilitaciones con métodos múltiples, que combinan dos o más de los sistemas anteriores (*Howsan, 1990*).

- **Métodos físicos:**

- Cepillado: se realiza con un cepillo circular acoplado al varillaje de rotación. Es un método sencillo y barato, efectivo para incrustaciones suaves y medias, pero no para incrustaciones fuertes, entubados con variación de diámetro o incrustaciones internas.
- Vibración: mediante vibraciones bruscas se pueden desincrustar depósitos agarrados más fuertemente a la pared del pozo. Se pueden utilizar explosivos o dióxido de carbono sólido, de tal forma que el paso brusco de sólido a líquido genera las vibraciones que desestabilizan las incrustaciones.
- Pasteurización: consiste en calentar el agua del pozo, al menos, a 60° C durante 30 minutos. En estas condiciones queda eliminada la microbiota y las incrustaciones tienden a desprenderse.
- Ultrasonidos: es una buena técnica para limpiar la captación de incrustaciones, pero puede afectar a la propia estructura del pozo, como las soldaduras.

- Irradiación: aplicable, sobre todo a la incrustación de origen biológico. Lógicamente hay que tener en cuenta que la radiación no debe nunca sobrepasar los límites establecidos para productos de consumo humano.

- **Métodos químicos:**

- Ácidos: muy útiles cuando la incrustación alcanza al empaque de gravas e, incluso, a la propia formación acuífera. Es útil tanto para incrustaciones de origen químico como de origen biológico. Son frecuentemente utilizados en estos tratamientos los ácidos sulfámico, acético e hidrocórico. Tienen el problema de que pueden dar lugar a residuos orgánicos que faciliten la aparición de otro tipo de bacterias, como las generadoras de exopolímeros.
- Biocidas: los biocidas más comúnmente utilizados son sustancias con un alto poder oxidante, como compuestos a base de cloro (hipoclorito cálcico) o peróxido de hidrógeno (H_2O_2). El ácido hidroxiacético es una buena opción, ya que actúa como ácido y como biocida. Es importante, a la hora de utilizar biocidas, conocer la naturaleza de la *biopelícula*, ya que ésta puede hacer de protección para las bacterias.
- Agentes dispersantes: ayudan a romper y dispersar las incrustaciones. Los más utilizados son los polifosfatos y detergentes.

- **Métodos hidrodinámicos:**

- Agitación: se puede conseguir mediante bombeos intermitentes, sistemas de aireación o bombeo mecánico. Los mejores resultados se obtienen induciendo un flujo inverso en el pozo capaz de alcanzar la rejilla, empaque de gravas e, incluso la formación porosa, con la finalidad de romper y dispersar las incrustaciones.

- Inyección de agua: similar a la agitación, consiste en inyectar agua a alta presión, de modo que alcance la rejilla, gravas y formación. Tiene el problema del cálculo de la presión necesaria para desincrustar las paredes del pozo, empaque de gravas y formación en el entorno de la captación sin dañar la estructura metálica. Solucionados estos problemas, su efectividad es muy alta.

- **Métodos operativos**

- En ocasiones la variación de los flujos o de los periodos de bombeo puede reducir el grado de bioincrustación, aunque estos métodos son más aptos para otro tipo de problemas de envejecimiento de las captaciones, como pueden ser los bombeos de arena.
- Cuando se produce incrustación en la propia bomba, sustituirla por una de menor flujo puede resolver el problema.

- **Métodos mecánicos**

- Reparación: cuando la corrosión llega a perforar el entubado del pozo, éste se puede reparar "recementando" el anular en las proximidades de la rotura y perforando el "tapón" de cemento con un diámetro ligeramente menor.
- Sustitución: si los problemas tanto de corrosión como de incrustación afectan a la totalidad del pozo, se puede reemplazar el entubado por completo.

Tal como comentamos anteriormente, es frecuente que uno solo de estos sistemas de regeneración no sea suficiente para dejar en estado aceptable una captación afectada por corrosión y/o incrustación, por lo que es frecuente la necesidad de combinar dos o más de ellos.

La propuesta más clásica de regeneración combinada se basa en la acción de métodos químicos, físicos e hidrodinámicos, concatenados de la siguiente manera (*Driscoll, 1986*):

1. Inyección de **HCl** junto a un agente quelante, como el **ácido hidroxiacético**
2. Agitar la solución en el pozo
3. Sobrebombear al menos tanto volumen de agua como el contenido estático del pozo
4. Determinar el pH del agua bombeada. Si es mayor de 3 repetir los pasos, de 1 a 3, hasta alcanzar valores menores o iguales a 3
5. Inyectar **cloro** hasta que alcance una concentración del 1% en el pozo
6. Agitar de nuevo el agua del pozo
7. Bombear de nuevo tanto volumen como el contenido en el pozo
8. Determinar la concentración de cloro en al agua bombeada. Si es menor del 10% de la concentración conseguida en el punto 5, repetir los pasos 5 a 7
9. Determinar la **capacidad específica** del pozo. Si no ha mejorado en, al menos, un 5%, repetir el proceso

Habitualmente se suele emplear un método más sencillo que no es más que una simplificación del descrito anteriormente (*Casas, 1994*):

- Inyección de **HCl**
- Agitación del agua
- Extracción de la solución
- Limpieza con cepillos

Un sistema más sofisticado pero que tiene la ventaja de estar diseñado específicamente para incrustaciones de origen biológico (bioincrustaciones y biopelículas) es el denominado *Blended Chemical Heat Treatment (BCHT™)* desarrollado en Estados Unidos (*Alford y Cullimore, 1996*). Se basa en la acción conjunta del calor y ciertas

sustancias químicas inyectadas a alta presión. El proceso incluye tres fases: **ataque** (1), **alteración** (2) y **dispersión** (3).

1. La fase de ataque combina el calor con una combinación de desinfectantes y agentes humectantes. En esta fase se consigue:
 - Reducir los requerimientos de sustancias químicas durante la segunda fase
 - Ablandar las incrustaciones, permitiendo una mayor penetración del calor y sustancias químicas durante la segunda fase
 - Disminuir la viabilidad de los microorganismos
2. La fase de alteración utiliza calor junto con una mezcla de detergentes, desinfectantes y agentes humectantes aplicados a alta presión, seguido de agitación física para permitir la penetración de los agentes químicos en la formación. Esta fase sirve para:
 - Aumentar el ablandamiento de las incrustaciones y permitir una mayor penetración de los ácidos mediante el calor
 - Diluir las incrustaciones de origen químico y biológico retenidas por la biomasa de los microorganismos gracias a la acción de los ácidos
 - Facilitar la suspensión de partículas en el agua por medio de los agentes humectantes
 - Provocar un lavado, mediante agitación física, que afecte tanto al pozo como al entorno próximo a él, disgregando las incrustaciones
3. La última fase consiste en dispersar los restos de incrustaciones e, incluso, de la biomasa de las paredes del pozo y de la formación. Esta fase consiste en la realización de desarrollo convencional del pozo con lo que se arrastran las partículas en suspensión procedentes de las fases anteriores.

La combinación de sustancias químicas utilizadas incluye sustancias de uso habitual no sólo en los procesos de regeneración de captaciones, como por ejemplo:

- Ácido acético (vinagre)
- Ácido oxálico (el agente urticante de las ortigas)
- Ácido fórmico (el picante de las hormigas)
- Ácido cítrico (conservante común en alimentación)
- Ácido sulfámico (un ácido con función detergente)

La selección de estos productos se debe a su falta de peligrosidad medioambiental. Son fácil y rápidamente absorbidos por la Naturaleza y, además, carecen de efectos cancerígenos, como, por ejemplo, el *trihalometano*. El agente humectante (*polielectrolito*) es una mezcla de nutrientes todos ellos homologados legalmente.

A modo de conclusión es importante tener en cuenta que no existe un método que sea la panacea universal para la regeneración de pozos. Un método que ha funcionado bien en una determinada localidad puede no funcionar en otra; incluso se da el caso de pozos situados a menos de 15 m de distancia que han requerido distintas concentraciones de ácidos y, aún así, los resultados no han sido comparables (*Alford et al., 1989*).

10. RESUMEN Y CONCLUSIONES

10. RESUMEN Y CONCLUSIONES

10.1. RESUMEN

La presente tesis doctoral podríamos dividirla en dos grandes apartados uno teórico y otro práctico. Una tercera parte en la que estaba previsto realizar la regeneración de un sondeo, por razones presupuestarias relativas a los proyectos que han servido de apoyo al trabajo (CICYT AMB 94-0997-C02-02 Y CICYT HID 96-1309), ha tenido que quedar en una mera propuesta teórica, aunque ello no supone que, en un futuro próximo, se pueda realizar.

En la primera parte teórica, se hace un repaso a los mecanismos de desarrollo de incrustaciones en las captaciones de agua subterránea, haciendo especial hincapié en la influencia que los microorganismos pueden tener en dicho desarrollo, tanto por precipitación directa de óxidos e hidróxidos de hierro consecuencia de su propio metabolismo (**mecanismos enzimáticos**), como por modificación de los parámetros químicos del entorno que hacen que el hierro precipite (**mecanismos no enzimáticos**). Hay una tercera causa de formación de incrustaciones ligada a la actividad biológica, que es la precipitación pasiva que se produce por parte de microorganismos como *Klebsiella* y *Pseudomonas*.

Dentro de esta primera parte se incluye un pequeño estudio de las características ambientales en el interior de las captaciones que nos va a decir qué microorganismos se espera que sean dominantes en los diferentes ambientes existentes en un pozo, así como las condiciones de formación de las bioincrustaciones.

En la parte práctica, se muestrearon 48 sondeos. De algunos de ellos se tomaron muestras de diferentes profundidades, por lo que el total de las mismas es de 53. La procedencia es diversa, pues se ha pretendido conseguir la máxima variedad posible de ambientes y características.

La mayor parte de los datos se han tomado en colaboración con la empresa *TRAGSATEC*, la cual, además, ha realizado una filmación del estado de cada captación. Esto no ha sido posible en las muestras en las que dicha empresa no participó (*Acuífero de Madrid y fuentes carbónicas de Campo de Calatrava y Cataluña*).

Dadas las características requeridas por cada muestra de agua (esterilidad para el estudio microbiológico y recogida de incrustación del mismo punto) ha sido necesario diseñar un aparato tomamuestras específico capaz de ir acoplado a la cámara de vídeo. El aparato se ha patentado con el número de registro 9901208/1 de la Oficina de Registro de Patentes, dentro del proyecto HID 96-1309.

Los análisis químicos han confirmado la variedad de aguas pretendida desde el primer momento, de esta manera, aunque predominan las aguas hidrogenocarbonatadas, también hay muestras de aguas sulfatadas e, incluso, alguna clorurada.

Todas las muestras se han representado en diagramas de *Pourbaix* específicos para el hierro, observándose que la mayoría caen dentro del campo de estabilidad del $\text{Fe}(\text{OH})_3$, lo que favorece la precipitación química. A pesar de ello, algunas de las muestras caen fuera de este campo y no por ello las captaciones a las que pertenecen carecen de incrustaciones, por lo que la actividad biológica deberá tener cierta importancia en su formación.

Mineralógicamente, predominan las incrustaciones de *hematites* y *goethita*, aunque también hay depósitos de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ amorfo. En menor medida, aparecen depósitos de carbonatos. En la identificación de estos depósitos ha sido fundamental la imagen que proporciona el vídeo, pues no sólo nos sirve para observar lo avanzado del proceso de incrustación y/o corrosión, sino que es una ayuda inestimable en la determinación *de visu* de las mineralogías. Se quiso conocer con más exactitud la mineralogía de las incrustaciones mediante *difracción de rayos-X*, pero

al hacer las difracciones, salieron cristalinidades tan bajas que los resultados no eran fiables.

Para el estudio microbiológico se han realizado cultivos clásicos de laboratorio y un sistema de detección por colorimetría patentado por el *Dr. D.R. Cullimore* de la Universidad de *Regina (Canadá)* y que ha sido utilizado, por primera vez en España, en esta tesis doctoral. Los resultados de ambas determinaciones se han comparado estadísticamente, resultando equiparables. La microbiología confirma la existencia de bacterias formadoras de depósitos ferruginosos (tanto por vía enzimática como no enzimática) en la práctica totalidad de las captaciones, así como una cantidad suficiente de microorganismos heterótrofos capaces de potenciar la precipitación química.

Tras los análisis estadísticos se observa que la presencia de determinados tipos de microorganismos es prácticamente independiente de las características de la captación, por lo que ninguna está exenta *a priori* de sufrir alteraciones de este tipo. Esto confirma la necesidad de aconsejar el mantenimiento periódico de las captaciones sean cual sean sus características químicas y utilización. Únicamente la conductividad dificulta el desarrollo de ferrobacterias y de *bacterias formadoras de exopolímeros*. La edad del pozo únicamente tiene correlación directa con las bacterias sulfatorreductoras, por lo que ni siquiera la "juventud" del pozo puede asegurar la ausencia de microorganismos.

Por último, se hace un repaso a los sistemas más habituales de regeneración de sondeos afectados por incrustación, donde se aconsejan sistemas mixtos, aunque siempre en función de cuál sea la causa predominante de las incrustaciones, si el origen químico o biológico. Así mismo, se plantean ciertos tratamientos preventivos que ahorrarían la necesidad de operaciones costosas de regeneración.

10.2. CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS

Al principio nos planteábamos una serie de objetivos de diverso tipo que ahora, al final del trabajo habrá que plantear en qué medida se han cumplido y si no es así cuáles han sido las causas. Quizá lo más rápido sea hacer un breve comentario de cada uno de ellos:

A.1. *Estudio de los microorganismos implicados en los procesos de envejecimiento de los pozos* — el mecanismo bioquímico se estudia en el apartado 2.2; el tipo de depósito generado por cada uno en el 3.3.2. **Los microorganismos detectados en el trabajo son:**

- **Ferrobacterias:** *Leptothrix*, *Sphaerotilus*, *Gallionella* y *Crenothrix*
- **Sulfatorreductoras**
- **Formadoras de exopolímeros:** *Pseudomonas*, *Proteus*
- **Otras:** *Citrobacter*, enterobacterias

A.2. *Conocimiento de los procesos que dan como resultado la obstrucción de origen biológico* — los mecanismos bioquímicos se estudian en el apartado 2.3, mientras que el desarrollo de la obstrucción de origen biológico se hace en el capítulo 3.

A.3. *Identificación de las mineralogías con que se desarrollan las incrustaciones* — en el apartado 5.3 se estudian las incrustaciones, tanto por imagen (5.3.1) como su mineralogía mediante el programa informático WATEQF (5.3.2). **Aparecen como mineralogía más habituales hematites, goethita, $Fe(OH)_3$ amorfo y carbonatos diversos.**

A.4. *Estudio de los factores que pueden influir en el desarrollo de la microbiota generadora de biopelículas* — en el capítulo 7 se realizan las correlaciones estadísticas entre los grupos

microbiológicos detectados y las características químicas, hidrogeológicas y técnicas del pozo. **Son tan escasas las correlaciones que podemos deducir que no hay factores determinantes en el desarrollo de las poblaciones microbianas.**

B.1. *Desarrollar un protocolo adecuado para la toma de muestras, teniendo en cuenta la diferente analítica a desarrollar* — en el apartado 4.4.1 se describe el protocolo de toma de muestras, **teniendo en cuenta que es necesario tomar suficiente cantidad de agua para la analítica de campo, para los análisis químicos de laboratorio, para los análisis microbiológicos y para la determinación de la mineralogía, que, además, para la microbiología el recipiente donde se recoja el agua ha de ser estéril y que todo ello ha de pertenecer al mismo punto de muestreo.**

B.2. *Diseño de un aparato “tomamuestras” específico* — dadas las características que deben de cumplir las muestras se decide diseñar un aparato cuyas características se describen en el apartado 4.4.3. En este cometido ha sido determinante la colaboración de la empresa TRAGSATEC.

B.3. *Valoración de la importancia de los registros ópticos de vídeo-TV (ROTV) en la elección del punto de muestreo en cada pozo* — **la imagen de vídeo ha resultado ser útil, no sólo en la elección del punto de muestreo (apartado 4.4.2), sino también a la hora de describir el estado del pozo (capítulo 8) e identificar la mineralogía (apartado 5.3).**

B.4. *Estudio de los diversos métodos disponibles para estimar la estabilidad mineralógica de las incrustaciones en función de las características químicas del agua* — los diagramas Eh/pH de Pourbaix han resultado útiles, sobre todo, para establecer en qué medida va a ser importante la precipitación química y, por tanto,

la contribución de los microorganismos en el desarrollo de las incrustaciones (apartado 5.2). El programa WATEQF nos da idea de la estabilidad mineralógica, lo que unido a la imagen de vídeo nos da una idea más que aproximada de la mineralogía existente en las incrustaciones (apartado 5.3).

B.5. Elección de las técnicas microbiológicas adecuadas a las bacterias generadoras de biopelículas — en el capítulo 6 se describen las técnicas de laboratorio utilizadas y cuáles, a nuestro juicio, son las más efectivas para este tipo de microorganismos **(por ejemplo se descarta la microscopía convencional en favor de la de contraste de fases)**.

B.6. Valoración de la viabilidad de los métodos cualitativos de identificación microbiológica (método B.A.R.T.™) por comparación con los métodos tradicionales de laboratorio — en el apartado 6.3. se describen los fundamentos del método, así como los resultados obtenidos mediante su uso. En el 7.5, **mediante el test estadístico aplicado, se verifica la equivalencia entre estos resultados y los obtenidos mediante los cultivos tradicionales de laboratorio.**

B.7. Elección de los tests estadísticos adecuados al tipo de datos — al ser datos procedentes de un punto de muestreo elegido mediante la imagen de vídeo, siempre que ésta ha sido posible, las poblaciones de datos obtenidas no se ajustan a una distribución normal, por lo que es necesario la aplicación de los denominados “tests no paramétricos”. Su justificación, uso y resultados de cada uno se describen en el capítulo 7.

C.1. Establecer las propuestas adecuadas de actuación preventiva a la vista de los resultados obtenidos — en las fichas del capítulo 8 se comenta lo que sería necesario realizar en los pozos más problemáticos (limpieza, desinfección, regeneración).

C.2. *Valoración de los métodos de regeneración de las captaciones más usados y de algunos más novedosos* — en el capítulo 9 se describen diversos métodos de control y regeneración. No ha podido realizarse ninguno de ellos por la razón presupuestaria ya comentada referente al proyecto CICYT HID 96-1309, quedando emplazada la realización y seguimiento de alguna regeneración, limpieza y desinfección para trabajos futuros.

C.3. *Justificar científicamente los beneficios de las actitudes de conservación periódica de las captaciones frente a las actitudes de abandono* — de los resultados estadísticos (capítulo 7) **se deduce que no hay, prácticamente, ninguna característica de la captación que la prevenga de la formación de biopelículas y bioincrustaciones.** Por otro lado (apartado 5.3.1) se observa que los pozos que tienen mantenimientos periódicos se encuentran en un estado notablemente mejor que los que no las tienen. En el apartado 9.2 se exponen algunas actuaciones de control y mantenimiento periódico relativamente sencillas y de bajo coste.

10.3. CONCLUSIONES

Para terminar enumeraremos, muy brevemente, las principales conclusiones que se extraen del presente trabajo:

- Las bacterias formadoras de *biopelículas* y *bioincrustación* están presentes en todas las captaciones. Únicamente no se detectan, en cantidad alarmante, en aquellas que están sometidas a tratamientos periódicos.
- Las ferrobacterias y las bacterias formadoras de exopolímeros (*SLYM*) ven limitado su desarrollo, exclusivamente, por la

conductividad del agua, mientras que se ve favorecido por el oxígeno disuelto.

- Con respecto a las bacterias sulfatorreductoras, no hay ningún parámetro químico que condicione su presencia/ausencia.
- El único parámetro hidrogeológico con el que parece estar correlacionada la microbiota es la mayor abundancia de ferrobacterias en las captaciones en las que el nivel estático del pozo se encuentra a mayor profundidad.
- La edad del pozo sólo favorece el desarrollo de bacterias sulfatorreductoras, siendo independiente para el resto.
- Se produce cierta compatibilidad entre distintos grupos microbiológicos, de tal modo que las poblaciones de ferrobacterias y de bacterias formadoras de exopolímeros suelen ir parejas.
- Los métodos cualitativos de identificación de microorganismos suponen una aproximación suficientemente buena en la determinación de la microbiota existente en el interior de las captaciones.
- Las captaciones en las que se realizan maniobras de mantenimiento más o menos periódicas se encuentran, en general, en mejor estado de incrustación.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- ALFORD, G.; COOKSEY, K.; CULLIMORE, D.R.; GAFFNEY, P.; HOWSAN, P.; MANSUY, N.; WOJCIK, W. (1987). *Restoration of Wells by Radiation Therapy*. Think Tank on Biofilms and Biofouling in Wells and Groundwater Systems. D.R. Cullimore editor. Regina.
- ALFORD, G.; MANSUY, N.; CULLIMORE, D.R. (1989). *The utilization of the Blended Chemical Heat Treatment (BCHT)*. Third National Outdoor Action Conference. Association of Ground Water Scientists and Engineers. Orlando (Florida).
- ALFORD, G.; CULLIMORE, D.R. (1996). *Biological Clogging and Rehabilitation of Drains and Well Systems and the Implications on Groundwater Quality*. North American Water and Environment Congress. Editado en CD-ROM. California.
- ALLER, L.; LEHR, J. (1987). *Iron Bacteria: not unlike the common cold*. Water Well Journal. Vol. 41-2, pp: 4-5.
- ALONSO, B. (1994). *Manejo de las muestras y toma del inóculo*. Manual práctico de Microbiología, pp: 8-10. Ed. Masson. Barcelona.
- ARAGÓN, V.; BENGOCHEA, J.A. (1994). *Recuento de microorganismos por diluciones seriadas*. Manual práctico de Microbiología, pp: 51-54. Ed. Masson. Barcelona.
- BACELAR, J. (1988). *La Cuenca Terciaria de As Pontes (La Coruña): su desarrollo asociado a inflexiones contractivas de una falla direccional*. II Congreso Geológico de España. Tomo Simposio, pp: 113-121. Granada.
- BALOWS, A.; TRÖPER, H.G.; DWORKIN, M.; HARDER, W.; SCHLEIFER, K.H. (1991). *The Prokaryotes*. 2ª edición. 4 Vols. 4126 pp. Springer-Verlag. New York.

- BÉTEKHTINE, A. (1968). *Manuel de Minéralogie Descriptive*. 736 pp. Ed. Mir. Moscú.
- B.O.E. (13-8-1983). *Orden nº 21936 de 27 de julio de 1983 por la que se establecen los métodos oficiales de análisis microbiológicos de aguas potables de consumo público*.
- BORCH, M.A.; SMITH, S.; NOBLE, N. (1993). *Evaluation and Restoration of Water Supply Wells*. 272 pp. American Water Works Association. U.S.A.
- BROCK, T. (1998). *Biología de los Microorganismos*. 986 pp. Ed. Omega. Barcelona.
- BROOKINS, D.G. (1988). *Eh-pH Diagrams for Geochemistry*. 176 pp. Ed. Springer-Verlag. New-York.
- CALDWELL, D.E. (1987). *Microbial Colonization of Surfaces. International Symposium on Biofouled Aquifers*, pp: 7-9. D.R. Cullimore editor. American Water Resources Association. Bethesda.
- CARLSON, L.; VUORINEN, A.; LAHERMO, P.; TOUVINEN, O. (1980). *Mineralogical, Geochemical and Microbiological Aspects of Iron Deposition from Groundwater*. Biogeochemistry of Ancient and Modern Environments. Trudinger et al. editores. Australian Academy of Science and Springer Verlag. Nueva Gales del Sur.
- CARRIÓN, P. (1996). *Estudio geoambiental del envejecimiento de tuberías metálicas. Aplicación a los pozos de agua*. Tesis Doctoral. ETSI-Minas. Universidad Politécnica de Madrid.
- CARRIÓN, P.; MALDONADO, A. (2000-a). *Fundamentos científicos del envejecimiento de pozos de agua entubados metálicamente. Actualidad de las Técnicas Geofísicas Aplicadas en Hidrogeología*. pp: 301-305. Olmo-Alarcón y López-Geta editores. ITGE. Granada.

- CARRIÓN, P.; MALDONADO, A. (2000-b). *Medidas en los parámetros químico-físicos como diagnóstico del envejecimiento de pozos de agua*. Actualidad de las Técnicas Geofísicas Aplicadas en Hidrogeología. pp: 325-331. Olmo-alarcón y López-Geta editores. ITGE. Granada.
- CASAS, G. (1994). *Métodos para la regeneración de sondeos*. Curso sobre nuevas técnicas de regeneración de pozos en terrenos no consolidados. Editor Fermín Villarroya. I.C.O.G.-A.I.H. Madrid.
- CHANTEREAU, J. (1985). *Corrosión bacteriana*. 212 pp. Ed Limusa. México D.F.
- CLARKE, F.E. (1980). *Corrosion and Encrustation in Water Wells*. Irrigation and Drainage Paper. 95 pp. F.A.O. Roma.
- CLOKE, P.L. (1966). *The Geochemical Application of Eh-pH diagrams*. Journal of Geological Education. Vol XIV, nº 4, pp: 140-148.
- COSGROVE, T. (1990). *The use of borehole CCTV surveys*. Water Wells. Monitoring, Maintenance, Rehabilitation. pp: 82-86. P. Howsam editor. E. & F.N. Spon. Londres.
- CULLIMORE, D.R. Y McCANN (1977). *The identification, Evolution and Control of Iron Bacteria in Groundwater*. Aquatic Microbiology. pp. 219-261. F.A. Skinner and J.M. Sewan Editors. Academic Press. New York.
- CULLIMORE, D.R. (1990). *An Evaluation of the Risk of Microbial Clogging and Corrosion in Boreholes*. Water Wells: Monitoring, Maintenance, Rehabilitation, pp: 24-34. P. Howsam editor. E. & F.N. Spon. Londres.
- CULLIMORE, D.R. (1992). *Practical Manual of Groundwater Microbiology*. 412 pp. Lewis Publishers. Michigan.

- CULLIMORE, D.R. (1996). *Potential Microbial Impacts on Groundwater Quality*. North American Water and Environment Congress. (Editado en CD-ROM). American Society of Civil Engineers. California.
- CULLIMORE, D.R. (1999). *Chronological Sequences in the Biofouling Process*. <http://www.dbi.sk.ca/droycon/clog2.html>. 8 pp.
- CUSTODIO, E. (1968). *Corrosión e incrustación de pozos*. 1^{er} Seminario de técnicas modernas para la construcción de pozos. pp. 295-324. S.G.O.P., Instituto Nacional de Colonización y Centro de Estudios y Aplicaciones del Agua. Barcelona.
- CUSTODIO, E; LLAMAS, M.R. (1975). *Hidrología Subterránea*. 1157 pp. Ed. Omega. Barcelona.
- DÍAZ, R.; GAMAZO, C.; LÓPEZ-GOÑI, I. (1995). *Manual práctico de Microbiología*. 200 pp. Ed. Masson. Barcelona.
- DRISCOLL, F. (1986). *Groundwater and Wells*. 2ª edición. 1089 pp. Johnson Filtration System Inc., St. Paul. Minnesota.
- DUCHAFOUR, Ph. (1987). *Manual de Edafología*. 214 pp. Masson, S.A. Barcelona.
- ENDESA (1999). *El agua y las explotaciones a cielo abierto. Tecnología aplicada para el desarrollo de la mina de As Pontes de García Rodríguez (La Coruña)*. 28 pp. Documento interno (inédito).
- ESNAOLA, J.M.; MARTÍNEZ-ALFARO, P.E.; MONTERO, E.; LUNA, E. (1995). *Evolución hidrológica, regadíos y sobreexplotación de la Unidad Hidrogeológica 04-04 (Mancha Occidental) en el marco legislativo de las aguas subterráneas*. Las Aguas Subterráneas en la Ley de Aguas Española: un decenio de experiencia, tomo II, pp: 141-150. Edita AIH-Grupo Español. Murcia.

- FERNÁNDEZ-ARECES, J. F.; LÓPEZ-VÍLCHEZ, L.; RUIZ-CELAÁ, C. (1983). *Evolución piezométrica en los acuíferos del Subsistema Terciario Detrítico de Madrid-Toledo*. III Simposio de Hidrogeología. Hidrogeología y Recursos Hidráulicos. Vol. 9. Editado por AEHS.
- GARCÍA-BERRIO, F.; BONED, M.; ÁLVAREZ, C.; ROIZ, G.; ROLANDI, M. (1987). *La red de control automatizado: una herramienta para la gestión de acuíferos con problemas de sobreexplotación*. 7ª Conferencia sobre Hidrología General y Aplicada. pp: 285-292. Zaragoza.
- GARCÍA-RODRÍGUEZ, M. (1996). *Hidrogeología de Las Tablas de Daimiel y de Los Ojos del Guadiana. Bases hidrogeológicas para una clasificación funcional de los Humedales Ribereños*. Tesis doctoral. 412 pp. + anexos. Dpto. Geodinámica-U.C.M.
- GHIORSE, N.C. (1984). *Biology of Iron and Manganese Depositing Bacteria*. Annual Review of Microbiology, nº 38. pp. 515-550
- GRIEBLER, C. (1999). *Microbial Ecology of Subsurface Ecosystems. Groundwater Ecology: A Tool for Management of Water Resources*, pp: 109-124. *Danielopol, Griebler, Gibert, Nachtnebel y Notenboom* editores. Programa de Medio Ambiente y Clima de la Comisión Europea. Viena.
- HAECKET, G. (1987). *A review of Chemical Treatment Strategies for Iron Bacteria in Wells*. Water Well Journal. Vol. 41-2, pp. 39-45.
- HALLBECK, E.V.; PEDERSEN, K. (1987). *The Biology of Gallionella*. Internatioanl Symposium on Biofouled Aquifers: Prevention and Restoration. pp: 87-96. D.R. Cullimore editor/American Water Resources Association. Bethesda.
- HANERT, H. (1986). *Galionella-Bergey's Manual of Systematic Microbiology*. pp: 1974-1979. Williams and Wilkins. Baltimore.

- HERNÁNDEZ-GARCÍA. M.E. (1999). *Impacto de la ciudad de Madrid sobre la calidad de las aguas subterráneas del Acuífero Detrítico del Terciario*. Tesis doctoral. Dpto Geodinámica-U.C.M.
- HERRÁEZ, I.; LLAMAS, M.R. (1982). *Estudio preliminar de las variaciones en la composición isotópica del Acuífero Terciario de la Fosa del Tajo*. III Semana de Hidrogeología, pp: 193-204. Lisboa.
- HIRSCH, P. (1986). *Crenothrix/Clonothrix-Bergey's Manual of Systematic Microbiology*. pp:2006-2009. Williams and Wilkins. Baltimore.
- HOWSAN, P. (1990). *Well Performance Deterioration: An Introduction to Cure Processes*. Water Wells. Monitoring, Maintenance, Rehabilitation, pp. 151-157. P. Howsan editor. E.& F.N. Spon. Londres.
- HURLBURT, S. (1987). *Pump installer does research to "zap" Iron Bacteria*. Water Well Journal. Vol 41-2, pp: 33-36.
- I.T.G.E. (1988). *Las Aguas Subterráneas en España. Estudio de síntesis*. 591 págs. + 12 mapas. Madrid.
- JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN (1986). *Proyecto de abastecimiento de una red básica automatizada de control de los recursos hidráulicos subterráneos en la zona de La Moraña*. J.C.L. Valladolid. (Informe inédito de TRAGSATEC).
- KARLSON, P. (1973). *Manual de Bioquímica*. 472 pp. Ed. Marín, S.A. Barcelona.
- KELLY, D.P.; HARRISON, A.P. (1986). *Thiobacillus-Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*, pp: 1842-1852. Williams and Wilkins. Baltimore.

- KLEIN, C.; HURLBUT, C, Jr. (1999). *Manual of Mineralogy (after James D. Dana), 21st edition*. 681 pp. Ed. John Wiley and Sons. Inc. New York.
- KLOTZ, I.M.; ROSEMBERG, R.M. (1981). *Termodinámica Química*. 485 pp. Ed. A.C. Madrid.
- LEHNINGER, A. (1978). *Bioquímica*. 1117 pp. Ed. Omega. Barcelona.
- LÓPEZ-CAMACHO, B.; BASCONES, M.; BUSTAMANTE, I. de (1986). *El Agua Subterránea en Madrid. Boletín de Informaciones y Estudios N° 46*. 128 pp. Servicio Geológico. M.O.P.U.
- LÓPEZ-VERA, F. (1977). *Modelo de sedimentación de los materiales detríticos de la Fosa de Madrid*. *Tecniterrae*, n° 18. pp: 64-69.
- LLAMAS, M.R. (1976). *La utilización de aguas subterráneas en Madrid: de los Mayrat musulmanes a los modelos digitales*. *Estudios Geológicos* n° 32, pp: 121-139.
- LLAMAS, M.R. (1986). *Las Aguas Subterráneas de Madrid: Esperanzas y Preocupaciones, Datos e Incertidumbres, Posibles Líneas de Acción*. Jornadas sobre explotación de aguas subterráneas en la Comunidad de Madrid. Plan Integral de Aguas de Madrid. Vol 12, pp: 11-36. Canal de Isabel II y C.A.M.
- LLAMAS, M.R. (1993). *Sequía, elevación de tarifas de agua y uso de las aguas subterráneas en la Comunidad de Madrid*. Equipamientos y Servicios Municipales, septiembre-octubre, pp: 23-24.
- MADSEN, E.L.; GHIORSE, W.C. (1993). *Groundwater Microbiology: Subsurface Ecosystem Processes. Aquatic Microbiology, an Ecological Approach*, pp: 167-204. Timothy E. Ford editor. Blackwell Scientific Publications. Boston.

- MALDONADO, A.; CARRIÓN, P.(2000). *Envejecimiento abiótico en pozos de agua entubados metálicamente. Actualidad de las Técnicas Geofísicas Aplicadas en Hidrogeología.* pp: 313- 318. Olmo-Alarcón y López-Geta editores. ITGE. Granada.
- MARTÍNEZ-ALFARO (1977). *Hidrogeología de los materiales terciarios y cuaternarios de la Cuenca del Río manzanares.* Tesis doctoral. 300 pp + anexos. Fac. CC. Geológicas-U.C.M. Madrid.
- MARTÍNEZ-RUBIO (1994). *Registros ópticos de sondeos con vídeo-TV. Curso sobre nuevas técnicas de construcción de pozos en terrenos no consolidados.* Editor Fermín Villarroya. I.C.O.G.-A.I.H. Madrid.
- MARTÍNEZ-RUBIO, J.; RUANO, P. (1998). *Aguas subterráneas. Captación y aprovechamiento.* 404 pp. Ed. Progenisa. Sevilla.
- MARTÍNEZ-RUBIO, J.; RUANO, P.; VILLARROYA, F.; SENDEROS, A.; YÉLAMOS, J.G.; CASTRO, F. de; REBOLLO, L.; GALVÁN, M.A. (2000). *Dispositivo para la toma de muestras de incrustaciones en tuberías de sondeos en la captación de aguas subterráneas.* Tecnología del Agua nº 199, pp: 72-78.
- MATÍA, L. (1981). *Polución por Ferrobacterias en Agua Subterránea. Un métodos útil y sencillo en su determinación. Consecuencias. Jornadas sobre Análisis y Evolución de las Aguas Subterráneas en España.* pp: 699-711. CIHS/AIH-E Barcelona.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE (1996). *Evaluación de usos de agua subterránea y realización de un modelo de flujo del Acuífero Detrítico de Madrid.* Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas. Estudio 2/96, 262 pp + anexos.
- M.O.P.U. (1990). *Mapa de las Unidades Hidrogeológicas de la España Peninsular e Islas Baleares.* Dirección general de Obras Hidráulicas. Servicio Geológico. Madrid.

- MOSES, C.O.; HERMAN, J.S. (1986). *WATIN-A Computer Program for generating Input Files for WATEQF*. Groundwater, Vol. 24, nº 1, pp: 83-89.
- MULDER, E.G. (1986). *Leptothrix/Sphaerotilus-Bergey's Manual of Systematic Microbiology*. pp: 1994-2003. Williams and Wilkins. Baltimore.
- PLUMMER, J.N.; JONES, B.F.; TRUESDELL, A.H. (1986). *WATIN/WATEQF*. 70 pp. International Ground-Water Modelling Center. Indianapolis.
- REDONDO, R.; YÉLAMOS, J.G. (2000). *Hidrogeoquímica convencional e isotópica de las aguas carbónicas de Cataluña*. Geogaceta nº 27, pp 100-103.
- ROLANDI, M.; BONED, M.; JIMÉNEZ, S.; GARCÍA, F. (1987). *La red automatizada de recursos hídricos subterráneos de La Moraña (Comunidad de Castilla y León)*. IV Simposio de Hidrogeología. pp: 339-351. Asociación Española de Hidrología Subterránea. Palma de Mallorca.
- ROLANDI, M.; BONED, M.; JIMÉNEZ, S. (1989). *Primeros resultados en la red automatizada de control de los recursos hídricos subterráneos de La Moraña, tras dos años de funcionamiento (1986-1988)*. Tomo Homenaje a Jorge Porras Martín. pp: 263-286. Asociación Española de Hidrología Subterránea. I.T.G.E. Madrid.
- RUIZ, R. (1993). *Sólo el 50% de las 2.000 ha del Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel tienen agua*. Diario El País-24.12.93, pág. 22.
- SASTRE, A.; PINTADO, J.L.; MONTERO, F. (1981). *Presencia y Actividad de Bacterias Reductoras de Sulfatos en las Aguas Subterráneas de la Cuenca de Madrid*. Jornadas sobre Análisis y

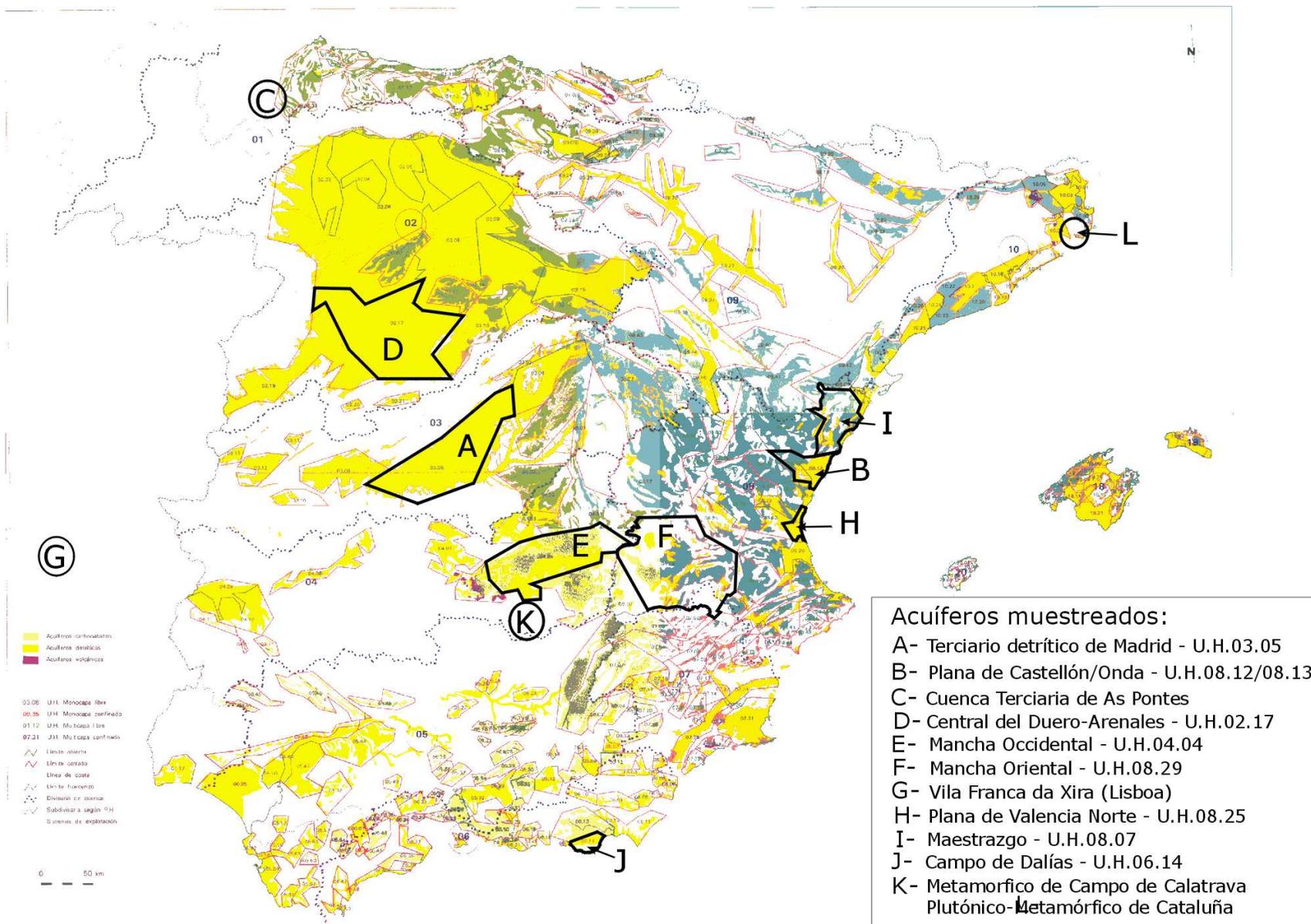
Evolución de las Aguas Subterráneas en España. pp: 785-795.
CIHS/AIH-E. Barcelona.

- SENDEROS, A. (1995). *Influencia de la Microflora en el desarrollo de incrustaciones en pozos de agua subterránea de La Moraña*. Tesis de Licenciatura. Departamento de Geodinámica. Fac. CC. Geológicas. U.C.M. Memoria 122 pp + anexos.
- SENDEROS, A.; VILLARROYA, F.; CASTRO, F. de; ÁLVAREZ-CHAÍN, M.; LÓPEZ-MENDIETA, F.; MARTÍNEZ-RUBIO, J.; RUANO, P. (1995). *Estudio de las incrustaciones desarrolladas en tres pozos de La Moraña y su posible origen biológico*. Hidrogeología y Recursos Hidráulicos, Vol XIX, pp: 117-129. VI Simposio de Hidrogeología. Sevilla.
- SENDEROS, A.; CASTRO, F. de; VILLARROYA, F.; GALVÁN, A.; YÉLAMOS, J.G.; MARTÍNEZ-RUBIO, J.; REBOLLO, L.; RUANO, P.; HERNÁNDEZ-GARCÍA, M.E. (1998). *Conservación y rehabilitación de pozos para regadío*. Congreso ibérico sobre planificación y gestión de aguas-Simposio "El agua y sus usos agrarios". Editado en CD-ROM. Zaragoza.
- SENDEROS, A.; VILLARROYA, F.; CASTRO, F. de; GALVÁN, A.; YÉLAMOS, J.G.; MARTÍNEZ-RUBIO, J.; RUANO, P.; REBOLLO, L. (2000). *Detección de incrustaciones de origen biológico en captaciones de agua subterránea*. Actualidad de las técnicas geofísicas aplicadas a la hidrogeología. pp: 295-300. Olmo-Alarcón y López-Geta editores. I.T.G.E. Granada.
- SIEGEL, S. (1956). *Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences*. 312 pp. McGraw-Hill. New York.
- SMITH, S. (1982). *Una guía a los problemas de bacterias del hierro en pozos*. Water Well Journal (edición anual en español). Pp. 42-45.

- SMITH, S. (1987). *Case Histories of Iron Bacteria and other Biofouling*. Water Well Journal. Vol. 42-2, pp. 30-32
- SMITH, S. (1995). *Monitoring and Remediation Wells: Problem Prevention, Maintenance and Rehabilitation*. 183 pp. Lewis Publishers. New York.
- SMITH, S. (1999). *Primer on Microbial Problems in Water Wells*. <http://www.groundwatersystems.com/bioprimr.html>. 8 pp.
- STEVENS, T.O. (1997). *Subsurface Microbiology and the Evolution of The Biosphere*. The Microbiology of the Terrestrial Deep Subsurface, pp: 205-223. Amy y Haldeman editores. Lewis Publishers, Boca Raton.
- SUMMERS, A.O.; SILVER, S. (1978). *Microbial Transformations of Metals*. Annual Review of Microbiology. N° 32, pp: 637-672.
- TILL, R. (1974). *Statistical Methods for the Earth Scientists*. 154 pp. Macmillan Student Editions. London.
- TRAGSA (1993). *Limpieza y regeneración de sondeos en El Carpio* (Valladolid). 111 pp + anexos. I.R.Y.D.A. Plan sur de Valladolid. Valladolid
- TRAGSATEC (1993). *Aplicación de los registros ópticos de video-TV para la rehabilitación-regeneración de sondeos*. 22 pp. I.R.Y.D.A. Madrid.
- TYRREL, S.F.; HOWSAN, P. (1990). *Monitoring and Prevention of Iron Biofouling in Groundwater Abstraction Systems*. Water Wells. Monitoring, Maintenance, Rehabilitation, pp: 100-106. P. Howsan editor. E. & F.N. Spon. Londres.
- VELASCO, J. (1995). *La tinción de Gram*. Manual Práctico de Microbiología, pp: 33-35. Ed. Masson. Barcelona.

- VELASCO, J.; ALONSO-URMENETA, B. (1995). *El Microscopio. Manual Práctico de Microbiología*. pp: 21-24. Ed. Masson. Barcelona.
- WALSH, E.; MITCHELL, R.. (1972). *A pH-Dependent Succession of Iron Bacteria*. Environmental Science and Technology. Vol. 6-pp. 809-812.
- YÉLAMOS, J.G.; REDONDO, R.; CASTRO, F. de; GALVÁN, A.; MARTÍNEZ-RUBIO, J.; REBOLLO, L.; RUANO, P.; SENDEROS, A.; VILLARROYA, F. (1999). *Hidrogeoquímica y Microbiología en los Hervideros del Campo de Calatrava (Ciudad Real)*. Geogaceta, nº 26, pp. 115-118.

ANEXO 1:
Mapa de los acuíferos muestreados



Fuente:

Modificado de MOPTMA 1995. Libro Blanco de las Aguas Subterráneas

ANEXO 2:
Columnas de los pozos

Relación de columnas técnicas/litológicas de las diferentes captaciones

- **M-1**

Arcillas, arenas y gravas 0 a 69 m, a partir de aquí alternancia de arenas y arcillas.

Cementado de 0 a 10 m. Perforación de 500 mm. Tubería de 300 mm. Profundidad total: 200 m.

Filtros de tipo puente en los metros: 25, 30, 37.5, 51-53, 60.5, 67-69, 81, 51-53, 60,5, 67-69, 81, 101-103, 106-109, 116.5, 120-123, 126.5, 138, 145.5, 155.5, 165-168, 181.5, 195.

- **M-2**

Alternancia de arenas y arcillas. A los 79 y 100 m arcilla petrificada.

Cementado de 0 a 12 m. Empaque de gravas silíceas. Perforación de 450 mm. Tubería de 250 mm. Profundidad total: 150 m.

Filtro tipo puente en los metros: 26, 34-37, 41.5-47, 62.5-65.5, 70, 79, 92.5, 100, 103, 105, 112-115, 121-124.

- **M-3**

Alternancia de arcillas y arenas.

Perforación de 450 mm. Tubería de 300 mm. Engravillado. Profundidad total: 122 m.

Filtro puentecillo en los metros: 45-47, 50-52, 64-70, 90-92, 110-112, 115-117.

- **M-4**

Arcilla gredosa en su mayor parte.

Perforación de 500 mm. Tubería de 300 mm. Profundidad: 150 m.

Filtro puentecillo en los metros: 42-44, 96-98, 74-78, 116-120.

Tubería ranurada en los metros: 62-68, 84-90, 98-110, 120-126, 132-138.

- **M-5**

Escombros y suelos de 0 a 6 m; arenas y limos de 6 a 66 m; arcillas y limos de 66 a 150 m.

Perforación de 0 a 6 m de 600 mm, de 6 a 156 de 500 mm. Tubería de 300 mm. Empaque de grava silíceas. Profundidad total: 156 m.

Filtro puentecillo en los metros: 37-39, 48-51, 57-63, 66-70, 80-82, 85-87, 96-104, 110-112, 118-120, 126-130, 136-142, 148-150.

- **M-6**

Arcilla arenosa y arena de 0 a 7 m; margoso con niveles arenosos de 7 a 50 m.

Perforación de 450 mm. Tubería de 200 mm. Empaque de grava silíceas. Profundidad total: 50 m.

Filtro tipo puente en los metros: 6-12, 15-18, 21-24, 36-37.5.

- **M-7**

Arenas y gravas de 0 a 12 m; arcilla con niveles de arena y grava de 12 a 67 m; gravas con arenas de 67 a 76 m; arcillas y arenas de 76 a 97 m; arenas y gravas de 97 a 117; arenas y arcillas de 117 a 158; grava de 158 a 162; arcilla con arenas de 162 a 248.

Perforación de 1200 mm de 0 a 2,5 m, de 050 mm de 2,5 a 10 m; de 750 mm de 10 a 248 m. Tubería de 1200 mm de 0 a 2,5 m, de 850 mm de 2,5 a 10 m; de 450 mm de 10 a 248 m. Empaque de gravas. Profundidad total: 248 m.

Filtro dúplex en los metros: 43-45, 48-50, 57-58, 67-72, 86-88, 93-95, 101-103, 109-117, 121-123, 128-130, 137-139, 158-162, 169-171, 185-187, 197-199, 208-210, 223-225, 232-234.

- **M-8**

Alternancia de arcillas y gravas con pocos niveles arenosos.

Perforación de 500 mm de 0 a 6 m; de 450 mm de 6 a 111 m. Tubería de 300 mm. Macizo de grava silíceo. Profundidad total: 111 m.

Filtro tipo puente en los metros: 34-36, 40-42, 52-56, 60-62, 78-80, 88-90, 96-98, 100-104.

- **M-9**

Limo de 0 a 2 m; resto alternancia de arcillas y arenas.

Perforación de 1000 mm de 0 a 83 m., resto desconocida. Profundidad total: 197 m.

Tubería ranurada en los metros: 72-78, 82-86, 109-115, 132-144, 150-162, 179-185.

- **TT-1**

Alternancia de calizas y margas.

Tubería de 400 mm. Empaque de grava. Profundidad total: 85,6 m.

Filtro puentecillo en los metros: 4-6.5, 25 en adelante varios tramos.

- **TT-2 y TT-4**

Alternancia de margas grises y rojas.

Filtros de tipo puentecillo. Profundidad total: 32,1 m.

- **TT-5**

Arcillas de 0 a 11 m; turba de 11 a 15 m., calizas y margocalizas de 11 a 80 m.

Profundidad total: 80m. Rejillas: 27 m entre los 29 y los 70 m del sondeo.

- **TT-6**

Hasta 717 m margocalizas de baja permeabilidad, a partir de aquí dolomías muy productivas con termalismo.

Profundidad total: 900 m. Entubado hasta los 726 m, con tubería de 500, 400 y 293 mm.

- **TT-7**

Profundidad total: 270 m. tubería de 647 mm. Se carece de datos litológicos.

- **TT-8**

Profundidad total: 138,3 m. Tubería de chapa, ranurada en las zonas filtrantes.

- **TT-9**

Profundidad total: 210 m. Tubería de 416 mm. Espacio anular cementado en los primeros 10 m. Empaque de grava.

Filtro puentecillo en los metros: 17-21, 27-31, 37-40, 47-51, 57-61, 67-71, 77-81, 87-91, 103-107, 113-117, 123-127, 132-136, 142-

146, 152-156, 162-166, 172-176, 182-186, 198-202, 208-212, 218-222, 228-232, 238-242, 248-252, 258-262.

- **TT-10**

Profundidad total: 295 m. tubería de 400 mm. Filtros de tipo puentecillo. Anular cementado en los primeros 10 m. empaque de grava.

- **TT-11**

Acuífero multicapa con niveles carbonatados y detríticos.

Entubado telescópico de 250 mm hasta los 183,2 m y 200 mm a partir de aquí. Filtros de tipo puentecillo.

- **TT-12**

Arcillas con arenas, gravas y conglomerados. De 100 a 109 m y de 112 a 113, calizas.

Profundidad total: 232 m. tubería de 339 mm.

Filtros de tipo *Johnson* en los metros: 60, 61-69, 71-77, 81-85, 88-92, 111-113, 129-131, 169-171.

- **AP-1**

Filitas y cuarzofilitas en su totalidad.

Perforación a 12,5". Tubería de 12". Cementados los 10 primeros metros. empaque de grava silícea. Filtros de tipo puentecillo.

- **AP-2**

Filitas oscuras con pirita abundante hasta los 50 m. De 50 m hasta 230 m, cuarzofilitas. De 230 a 233 m cuarcita. Resto cuarzofilitas.

Profundidad total: 320 m. Cementado el anular en los 10 primeros metros. Empaque de grava silíceas. Filtros de tipo puentecillo.

- **AP-3**

Materiales paleozoicos en su totalidad.

Perforación de 32". tubería de 16". Cementados los 15 primeros metros. Empaque de gravas silíceas. Filtros de tipo puentecillo.

- **AP-4**

De 0 a 283 m, materiales detríticos terciarios formados por arena arcillosa y arcillas gris verdosas. Frecuentes niveles de carbón (lignito). De 283 hasta el final (335 m), pizarras paleozoicas.

Anular cementado en los 10 primeros metros. Filtros de tipo puentecillo. Gravas silíceas.

- **AP-5**

De 0 a 114 m paleozoico formado por filitas hasta los 67 m, cuarcita de 67 a 70 m y filita de nuevo. De 114 a 128 m materiales terciarios formados por arcillas grises y verdes. De 128 m hasta el final (180 m), filitas paleozoicas. El paleozoico superior es cabalgante sobre el terciario.

Anular cementado en los 10 primeros metros. Empaque de gravas silíceas. Filtros de tipo puentecillo.

- **AP-6**

Paleozoico con niveles de carbón.

Perforación de 22". Tubería de 16". Filtros de tipo puentecillo en los metros: 15-18, 102-105, 117-120, 129-129, 141-144.

- **CC-1**

Profundidad total: 111 m. Hasta 60 m tubería ciega; de 60 hasta el final, tubería ranurada. Diámetro de la entubación: 350 mm hasta los 70 m y 300 mm de 70 m hasta el final.

- **CC-2**

Profundidad total: 350 m. Entubado hasta los 248 m, por debajo sin entubar. Tramos ranurados sólo a partir de 180 m.

- **CC-3**

Profundidad total: 102 m. Tubería de 350 mm hasta los 98,4 m. Espacio anular cementado en los primeros 50 m. Empaque de grva en los últimos 48 m.

Filtros de tipo puentecillo en los metros: 61.5-67.5, 75.8-79.8, 83-94.4.

- **AL**

Profundidad total: 735 m. Tubería de 450, 400 y 350 mm hasta los 624 m. De 624 hasta 735 m, perforación de 220 mm sin entubar.

- **MM**

Materiales detríticos, con presencia de acuíferos colgados (metro 55).

Profundidad total: 184 m. Tubería ranurada.

- **MZ**

Materiales detríticos en general.

Profundidad total: 606m. Entubado con reducción a los 227,3 m. Filtros de tipo *Johnson*.

- **H**

Niveles de arenas y gravas en un conjunto arcillo-arenoso.

Profundidad total: 238 m. Perforación de 300 mm. Tubería ranurada desde los 104 hasta los 228 m.

- **E**

Serie detrítica tericaria del Duero.

Profundidad total: 155,5 m. Filtros de tipo puentecillo en los metros: 38-40, 113-115, 127-129, 141-143, 155.

ANEXO 3:
Salida del programa WATEQF

Estabilidad mineralógica

M-1

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	1.392E-08	5.111E-05	-7.856	-4.292	2.724E-04	-3.565
22	ARAGONIT	1.331E-09	5.167E-09	-8.876	-8.287	2.576E-01	-.589
151	ARTIN	1.989E-26	4.361E-19	-25.701	-18.360	4.560E-08	-7.341
20	BRUCITE	7.098E-18	3.730E-12	-17.149	-11.428	1.903E-06	-5.721
13	CALCITE	1.331E-09	3.658E-09	-8.876	-8.437	3.639E-01	-.439
12	DOLOMITE	8.418E-19	1.297E-17	-18.075	-16.887	6.490E-02	-1.188
113	FEOH3A	7.642E+05	7.674E+04	5.883	4.885	9.958E+00	.998
111	GOETH			-36.968	-44.747		7.779
19	GYPSUM	1.392E-08	2.471E-05	-7.856	-4.607	5.633E-04	-3.249
65	HALITE	5.245E-07	3.650E+01	-6.280	1.562	1.437E-08	-7.843
109	HEMATI	5.841E+11	4.534E-04	11.766	-3.344	1.288E+15	15.110
118	HUNTITE	3.366E-37	1.107E-30	-36.473	-29.956	3.041E-07	-6.517
39	HYDMAG			-53.945	-37.271		-16.674
110	MAGHEM	5.841E+11	2.344E+06	11.766	6.370	2.492E+05	5.396
11	MAGNESIT	6.323E-10	7.811E-09	-9.199	-8.107	8.096E-02	-1.092
108	MAGNET	1.956E+06	2.040E-09	6.291	-8.690	9.590E+14	14.982
67	MIRABI	5.810E-11	3.010E-02	-10.236	-1.521	1.930E-09	-8.714
59	NAHCOL	2.989E-06	2.355E-01	-5.524	-.628	1.269E-05	-4.896
61	NATRON	5.556E-12	2.240E-02	-11.255	-1.650	2.480E-10	-9.606
150	NESQUE	6.322E-10	8.194E-06	-9.199	-5.086	7.715E-05	-4.113
10	SIDERITE	1.425E-13	3.648E-11	-12.846	-10.438	3.907E-03	-2.408
66	THENAR	5.815E-11	6.812E-01	-10.235	-.167	8.536E-11	-10.069
62	THRAT	5.560E-12	1.532E+00	-11.255	.185	3.629E-12	-11.440
60	TRONA	1.662E-17	3.910E-01	-16.779	-.408	4.250E-17	-16.372

M-2

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	8.024E-07	5.111E-05	-6.096	-4.292	1.570E-02	-1.804
22	ARAGONIT	3.715E-09	5.167E-09	-8.430	-8.287	7.190E-01	-.143
151	ARTIN	3.014E-26	4.361E-19	-25.521	-18.360	6.910E-08	-7.161
20	BRUCITE	2.166E-18	3.730E-12	-17.664	-11.428	5.807E-07	-6.236
13	CALCITE	3.715E-09	3.658E-09	-8.430	-8.437	1.016E+00	.007
12	DOLOMITE	3.683E-18	1.297E-17	-17.434	-16.887	2.840E-01	-.547
113	FEOH3A	1.274E+06	7.674E+04	6.105	4.885	1.660E+01	1.220
111	GOETH			-36.746	-44.747		8.001
19	GYPSUM	8.020E-07	2.471E-05	-6.096	-4.607	3.246E-02	-1.489
65	HALITE	3.413E-06	3.650E+01	-5.467	1.562	9.352E-08	-7.029
109	HEMATI	1.625E+12	4.534E-04	12.211	-3.344	3.584E+15	15.554
118	HUNTITE	3.621E-36	1.107E-30	-35.441	-29.956	3.271E-06	-5.485
39	HYDMAG			-53.680	-37.271		-16.409
110	MAGHEM	1.625E+12	2.344E+06	12.211	6.370	6.931E+05	5.841
11	MAGNESIT	9.914E-10	7.811E-09	-9.004	-8.107	1.269E-01	-.896
108	MAGNET	9.018E+06	2.040E-09	6.955	-8.690	4.421E+15	15.646
67	MIRABI	5.179E-09	3.010E-02	-8.286	-1.521	1.720E-07	-6.764
59	NAHCOL	1.408E-05	2.355E-01	-4.851	-.628	5.981E-05	-4.223
61	NATRON	2.398E-11	2.240E-02	-10.620	-1.650	1.070E-09	-8.970
150	NESQUE	9.907E-10	8.194E-06	-9.004	-5.086	1.209E-04	-3.918
10	SIDERITE	1.213E-12	3.648E-11	-11.916	-10.438	3.326E-02	-1.478
66	THENAR	5.192E-09	6.812E-01	-8.285	-.167	7.621E-09	-8.118
62	THR NAT	2.403E-11	1.532E+00	-10.619	.185	1.569E-11	-10.804
60	TRONA	3.384E-16	3.910E-01	-15.471	-.408	8.656E-16	-15.063
172	MANGANO	6.581E+07	2.849E+18	7.818	18.455	2.310E-11	-10.636
173	PYROLUST	3.015E+04	3.081E+16	4.479	16.489	9.789E-13	-12.009
174	BIRNSITE	3.015E+04	1.233E+18	4.479	18.091	2.445E-14	-13.612
175	NUSTITE	3.015E+04	3.192E+17	4.479	17.504	9.448E-14	-13.025
176	BIXBYITE	1.724E-14	5.211E-01	-13.763	-.283	3.309E-14	-13.480
177	HAUSMITE			46.177	63.264		-17.087
178	MNOH2	1.781E-21	9.996E-14	-20.749	-13.000	1.782E-08	-7.749
179	MNOH3			-49.733	-36.076		-13.657
180	MANGANIT	1.313E-07	5.781E-01	-6.882	-.238	2.271E-07	-6.644
181	RHODOCHR	8.153E-13	3.204E-11	-12.089	-10.494	2.545E-02	-1.594
183	MNCL2	3.951E-13	1.377E+09	-12.403	9.139	2.869E-22	-21.542
184	MNCL2,1W	3.950E-13	4.746E+05	-12.403	5.676	8.324E-19	-18.080
185	MNCL2,2W	3.949E-13	8.654E+03	-12.403	3.937	4.564E-17	-16.341
186	MNCL2,4W	3.947E-13	2.169E+02	-12.404	2.336	1.820E-15	-14.740
190	MNSO4	1.761E-10	1.005E+03	-9.754	3.002	1.753E-13	-12.756
191	MN2SO4,3			-66.481	-4.871		-61.610

M-3

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	2.580E-06	5.071E-05	-5.588	-4.295	5.087E-02	-1.294
22	ARAGONIT	4.287E-09	5.149E-09	-8.368	-8.288	8.326E-01	-.080
151	ARTIN	2.731E-26	4.347E-19	-25.564	-18.362	6.284E-08	-7.202
20	BRUCITE	1.734E-18	3.736E-12	-17.761	-11.428	4.642E-07	-6.333
13	CALCITE	4.287E-09	3.646E-09	-8.368	-8.438	1.176E+00	.070
12	DOLOMITE	4.997E-18	1.275E-17	-17.301	-16.894	3.918E-01	-.407
113	FEOH3A	5.004E+06	7.674E+04	6.699	4.885	6.521E+01	1.814
111	GOETH			-36.119	-44.727		8.607
19	GYPSUM	2.578E-06	2.473E-05	-5.589	-4.607	1.043E-01	-.982
65	HALITE	2.673E-06	3.656E+01	-5.573	1.563	7.312E-08	-7.136
109	HEMATI	2.506E+13	4.289E-04	13.399	-3.368	5.843E+16	16.767
118	HUNTITE	6.789E-36	1.057E-30	-35.168	-29.976	6.425E-06	-5.192
39	HYDMAG			-53.495	-37.291		-16.204
110	MAGHEM	2.506E+13	2.344E+06	13.399	6.370	1.069E+07	7.029
11	MAGNESIT	1.166E-09	7.725E-09	-8.933	-8.112	1.509E-01	-.821
108	MAGNET	7.423E-02	1.896E-09	-1.129	-8.722	3.915E+07	7.593
67	MIRABI	5.341E-09	3.115E-02	-8.272	-1.507	1.715E-07	-6.766
59	NAHCOL	1.057E-05	2.371E-01	-4.976	-.625	4.458E-05	-4.351
61	NATRON	8.875E-12	2.305E-02	-11.052	-1.637	3.851E-10	-9.414
150	NESQUE	1.165E-09	8.110E-06	-8.934	-5.091	1.436E-04	-3.843
10	SIDERITE	9.821E-22	3.608E-11	-21.008	-10.443	2.722E-11	-10.565
66	THENAR	5.358E-09	6.805E-01	-8.271	-.167	7.873E-09	-8.104
62	THR NAT	8.900E-12	1.524E+00	-11.051	.183	5.839E-12	-11.234
60	TRONA	9.403E-17	3.785E-01	-16.027	-.422	2.484E-16	-15.605
172	MANGANO	1.068E+07	2.729E+18	7.029	18.436	3.913E-12	-11.407
173	PYROLUST	2.776E+23	2.923E+16	23.443	16.466	9.495E+06	6.978
174	BIRNSITE	2.776E+23	1.233E+18	23.443	18.091	2.251E+05	5.352
175	NUSTITE	2.776E+23	3.192E+17	23.443	17.504	8.697E+05	5.939
176	BIXBYITE	2.697E+04	5.070E-01	4.431	-.295	5.320E+04	4.726
177	HAUSMITE			63.541	63.201		.340
178	MNOH2	3.038E-22	1.007E-13	-21.517	-12.997	3.017E-09	-8.520
179	MNOH3			-40.603	-36.060		-4.543
180	MANGANIT	1.642E+02	5.781E-01	2.215	-.238	2.840E+02	2.453
181	RHODOCHR	2.042E-13	3.192E-11	-12.690	-10.496	6.396E-03	-2.194
183	MNCL2	1.639E-13	1.334E+09	-12.785	9.125	1.228E-22	-21.911
184	MNCL2,1W	1.638E-13	4.685E+05	-12.786	5.671	3.497E-19	-18.456
185	MNCL2,2W	1.638E-13	8.681E+03	-12.786	3.939	1.887E-17	-16.724
186	MNCL2,4W	1.637E-13	2.237E+02	-12.786	2.350	7.315E-16	-15.136
190	MNSO4	1.229E-10	9.770E+02	-9.911	2.990	1.258E-13	-12.900
191	MN2SO4,3			-46.386	-4.901		-41.485

M-4

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	6.749E-07	5.085E-05	-6.171	-4.294	1.327E-02	-1.877
22	ARAGONIT	9.228E-10	5.155E-09	-9.035	-8.288	1.790E-01	-.747
151	ARTIN	2.499E-27	4.352E-19	-26.602	-18.361	5.743E-09	-8.241
20	BRUCITE	7.982E-19	3.734E-12	-18.098	-11.428	2.138E-07	-6.670
13	CALCITE	9.228E-10	3.650E-09	-9.035	-8.438	2.528E-01	-.597
12	DOLOMITE	2.509E-19	1.282E-17	-18.601	-16.892	1.956E-02	-1.709
113	FEOH3A	2.759E+08	7.674E+04	8.441	4.885	3.595E+03	3.556
111	GOETH			-34.389	-44.733		10.345
19	GYP SUM	6.747E-07	2.472E-05	-6.171	-4.607	2.729E-02	-1.564
65	HALITE	7.115E-07	3.654E+01	-6.148	1.563	1.947E-08	-7.711
109	HEMATI	7.614E+16	4.369E-04	16.882	-3.360	1.743E+20	20.241
118	HUNTITE	1.854E-38	1.073E-30	-37.732	-29.969	1.728E-08	-7.763
39	HYDMAG			-56.361	-37.284		-19.076
110	MAGHEM	7.614E+16	2.344E+06	16.882	6.370	3.248E+10	10.512
11	MAGNESIT	2.719E-10	7.753E-09	-9.566	-8.111	3.506E-02	-1.455
108	MAGNET	1.150E+04	1.943E-09	4.061	-8.712	5.919E+12	12.772
67	MIRABI	6.671E-10	3.080E-02	-9.176	-1.512	2.166E-08	-7.664
59	NAHCOL	2.396E-06	2.365E-01	-5.620	-.626	1.013E-05	-4.994
61	NATRON	9.121E-13	2.283E-02	-12.040	-1.641	3.995E-11	-10.398
150	NESQUE	2.717E-10	8.138E-06	-9.566	-5.089	3.339E-05	-4.476
10	SIDERITE	2.510E-20	3.621E-11	-19.600	-10.441	6.932E-10	-9.159
66	THENAR	6.680E-10	6.808E-01	-9.175	-.167	9.812E-10	-9.008
62	THR NAT	9.133E-13	1.527E+00	-12.039	.184	5.981E-13	-12.223
60	TRONA	2.188E-18	3.826E-01	-17.660	-.417	5.718E-18	-17.243
172	MANGANO	3.704E+06	2.769E+18	6.569	18.442	1.338E-12	-11.874
173	PYROLUST	1.108E+23	2.975E+16	23.045	16.473	3.725E+06	6.571
174	BIRNSITE	1.108E+23	1.233E+18	23.045	18.091	8.987E+04	4.954
175	NUSTITE	1.108E+23	3.192E+17	23.045	17.504	3.472E+05	5.541
176	BIXBYITE	3.678E+03	5.116E-01	3.566	-.291	7.189E+03	3.857
177	HAUSMITE			62.230	63.222		-.992
178	MNOH2	1.037E-22	1.004E-13	-21.984	-12.998	1.032E-09	-8.986
179	MNOH3			-41.047	-36.066		-4.981
180	MANGANIT	6.064E+01	5.781E-01	1.783	-.238	1.049E+02	2.021
181	RHODOCHR	3.530E-14	3.196E-11	-13.452	-10.495	1.105E-03	-2.957
183	MNCL2	1.957E-14	1.349E+09	-13.708	9.130	1.451E-23	-22.838
184	MNCL2,1W	1.956E-14	4.705E+05	-13.709	5.673	4.158E-20	-19.381
185	MNCL2,2W	1.956E-14	8.672E+03	-13.709	3.938	2.256E-18	-17.647
186	MNCL2,4W	1.956E-14	2.214E+02	-13.709	2.345	8.832E-17	-16.054
190	MNSO4	2.582E-11	9.861E+02	-10.588	2.994	2.618E-14	-13.582
191	MN2SO4,3			-47.905	-4.891		-43.013

M-5

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	1.417E-06	5.058E-05	-5.849	-4.296	2.802E-02	-1.553
22	ARAGONIT	4.189E-09	5.142E-09	-8.378	-8.289	8.146E-01	-.089
151	ARTIN	9.593E-26	4.342E-19	-25.018	-18.362	2.209E-07	-6.656
20	BRUCITE	5.829E-18	3.738E-12	-17.234	-11.427	1.559E-06	-5.807
13	CALCITE	4.189E-09	3.643E-09	-8.378	-8.439	1.150E+00	.061
12	DOLOMITE	4.463E-18	1.268E-17	-17.350	-16.897	3.520E-01	-.454
113	FEOH3A	4.056E+06	7.674E+04	6.608	4.885	5.285E+01	1.723
111	GOETH			-36.200	-44.720		8.520
19	GYPSUM	1.417E-06	2.473E-05	-5.849	-4.607	5.727E-02	-1.242
65	HALITE	2.378E-06	3.658E+01	-5.624	1.563	6.501E-08	-7.187
109	HEMATI	1.646E+13	4.211E-04	13.216	-3.376	3.909E+16	16.592
118	HUNTITE	5.066E-36	1.041E-30	-35.295	-29.983	4.869E-06	-5.313
39	HYDMAG			-53.125	-37.298		-15.827
110	MAGHEM	1.646E+13	2.344E+06	13.216	6.370	7.021E+06	6.846
11	MAGNESIT	1.065E-09	7.696E-09	-8.972	-8.114	1.384E-01	-.859
108	MAGNET	3.771E-02	1.850E-09	-1.423	-8.733	2.038E+07	7.309
67	MIRABI	2.578E-09	3.150E-02	-8.589	-1.502	8.182E-08	-7.087
59	NAHCOL	5.134E-06	2.376E-01	-5.290	-.624	2.161E-05	-4.665
61	NATRON	7.619E-12	2.327E-02	-11.118	-1.633	3.275E-10	-9.485
150	NESQUE	1.065E-09	8.082E-06	-8.973	-5.093	1.318E-04	-3.880
10	SIDERITE	2.089E-22	3.595E-11	-21.680	-10.444	5.811E-12	-11.236
66	THENAR	2.583E-09	6.803E-01	-8.588	-.167	3.797E-09	-8.421
62	THR NAT	7.633E-12	1.522E+00	-11.117	.182	5.016E-12	-11.300
60	TRONA	3.918E-17	3.745E-01	-16.407	-.427	1.046E-16	-15.980
172	MANGANO	1.527E+07	2.690E+18	7.184	18.430	5.677E-12	-11.246
173	PYROLUST	4.423E+23	2.873E+16	23.646	16.458	1.540E+07	7.187
174	BIRNSITE	4.423E+23	1.233E+18	23.646	18.091	3.587E+05	5.555
175	NUSTITE	4.423E+23	3.192E+17	23.646	17.504	1.386E+06	6.142
176	BIXBYITE	6.242E+04	5.024E-01	4.795	-.299	1.242E+05	5.094
177	HAUSMITE			64.048	63.180		.867
178	MNOH2	4.417E-22	1.009E-13	-21.355	-12.996	4.376E-09	-8.359
179	MNOH3			-40.410	-36.055		-4.355
180	MANGANIT	2.498E+02	5.781E-01	2.398	-.238	4.321E+02	2.636
181	RHODOCHR	8.074E-14	3.188E-11	-13.093	-10.496	2.532E-03	-2.596
183	MNCL2	5.981E-14	1.320E+09	-13.223	9.121	4.529E-23	-22.344
184	MNCL2,1W	5.979E-14	4.665E+05	-13.223	5.669	1.282E-19	-18.892
185	MNCL2,2W	5.978E-14	8.690E+03	-13.223	3.939	6.880E-18	-17.162
186	MNCL2,4W	5.976E-14	2.261E+02	-13.224	2.354	2.643E-16	-15.578
190	MNSO4	2.732E-11	9.680E+02	-10.564	2.986	2.822E-14	-13.549
191	MN2SO4,3			-48.447	-4.911		-43.536

M-6

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	2.067E-06	5.071E-05	-5.685	-4.295	4.075E-02	-1.390
22	ARAGONIT	9.485E-09	5.149E-09	-8.023	-8.288	1.842E+00	.265
151	ARTIN	7.029E-25	4.347E-19	-24.153	-18.362	1.617E-06	-5.791
20	BRUCITE	5.466E-17	3.736E-12	-16.262	-11.428	1.463E-05	-4.835
13	CALCITE	9.485E-09	3.646E-09	-8.023	-8.438	2.601E+00	.415
12	DOLOMITE	6.632E-17	1.275E-17	-16.178	-16.894	5.200E+00	.716
113	FEOH3A	1.145E+07	7.674E+04	7.059	4.885	1.492E+02	2.174
111	GOETH			-35.760	-44.727		8.967
19	GYP SUM	2.066E-06	2.473E-05	-5.685	-4.607	8.354E-02	-1.078
65	HALITE	3.472E-06	3.656E+01	-5.459	1.563	9.497E-08	-7.022
109	HEMATI	1.312E+14	4.289E-04	14.118	-3.368	3.060E+17	17.486
118	HUNTITE	3.241E-33	1.057E-30	-32.489	-29.976	3.067E-03	-2.513
39	HYDMAG			-48.885	-37.291		-11.594
110	MAGHEM	1.312E+14	2.344E+06	14.118	6.370	5.598E+07	7.748
11	MAGNESIT	6.991E-09	7.725E-09	-8.155	-8.112	9.051E-01	-.043
108	MAGNET	8.159E-01	1.896E-09	-.088	-8.722	4.303E+08	8.634
67	MIRABI	4.320E-09	3.115E-02	-8.365	-1.507	1.387E-07	-6.858
59	NAHCOL	6.889E-06	2.371E-01	-5.162	-.625	2.906E-05	-4.537
61	NATRON	1.982E-11	2.305E-02	-10.703	-1.637	8.601E-10	-9.065
150	NESQUE	6.985E-09	8.110E-06	-8.156	-5.091	8.614E-04	-3.065
10	SIDERITE	3.922E-22	3.608E-11	-21.406	-10.443	1.087E-11	-10.964
66	THENAR	4.332E-09	6.805E-01	-8.363	-.167	6.365E-09	-8.196
62	THR NAT	1.987E-11	1.524E+00	-10.702	.183	1.304E-11	-10.885
60	TRONA	1.369E-16	3.785E-01	-15.864	-.422	3.616E-16	-15.442
172	MANGANO	8.433E+06	2.729E+18	6.926	18.436	3.090E-12	-11.510
173	PYROLUST	2.606E+23	2.923E+16	23.416	16.466	8.914E+06	6.950
174	BIRNSITE	2.606E+23	1.233E+18	23.416	18.091	2.113E+05	5.325
175	NUSTITE	2.606E+23	3.192E+17	23.416	17.504	8.164E+05	5.912
176	BIXBYITE	2.000E+04	5.070E-01	4.301	-.295	3.944E+04	4.596
177	HAUSMITE			63.309	63.201		.108
178	MNOH2	2.399E-22	1.007E-13	-21.620	-12.997	2.382E-09	-8.623
179	MNOH3			-40.668	-36.060		-4.608
180	MANGANIT	1.414E+02	5.781E-01	2.150	-.238	2.446E+02	2.388
181	RHODOCHR	3.068E-14	3.192E-11	-13.513	-10.496	9.611E-04	-3.017
183	MNCL2	1.860E-14	1.334E+09	-13.730	9.125	1.394E-23	-22.856
184	MNCL2,1W	1.860E-14	4.685E+05	-13.731	5.671	3.969E-20	-19.401
185	MNCL2,2W	1.859E-14	8.681E+03	-13.731	3.939	2.142E-18	-17.669
186	MNCL2,4W	1.858E-14	2.237E+02	-13.731	2.350	8.305E-17	-16.081
190	MNSO4	6.685E-12	9.770E+02	-11.175	2.990	6.843E-15	-14.165
191	MN2SO4,3			-50.002	-4.901		-45.100

M-7

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	6.070E-08	5.058E-05	-7.217	-4.296	1.200E-03	-2.921
22	ARAGONIT	5.351E-09	5.142E-09	-8.272	-8.289	1.041E+00	.017
151	ARTIN	2.730E-24	4.342E-19	-23.564	-18.362	6.287E-06	-5.202
20	BRUCITE	2.107E-16	3.738E-12	-15.676	-11.427	5.636E-05	-4.249
13	CALCITE	5.351E-09	3.643E-09	-8.272	-8.439	1.469E+00	.167
12	DOLOMITE	1.182E-17	1.268E-17	-16.927	-16.897	9.321E-01	-.031
113	FEOH3A	4.551E+06	7.674E+04	6.658	4.885	5.931E+01	1.773
111	GOETH			-36.150	-44.720		8.570
19	GYPSUM	6.068E-08	2.473E-05	-7.217	-4.607	2.453E-03	-2.610
65	HALITE	2.709E-06	3.658E+01	-5.567	1.563	7.406E-08	-7.130
109	HEMATI	2.072E+13	4.211E-04	13.316	-3.376	4.922E+16	16.692
118	HUNTITE	5.766E-35	1.041E-30	-34.239	-29.983	5.541E-05	-4.256
39	HYDMAG			-50.300	-37.298		-13.003
110	MAGHEM	2.072E+13	2.344E+06	13.316	6.370	8.840E+06	6.946
11	MAGNESIT	2.209E-09	7.696E-09	-8.656	-8.114	2.870E-01	-.542
108	MAGNET	5.023E-02	1.850E-09	-1.299	-8.733	2.715E+07	7.434
67	MIRABI	1.243E-08	3.150E-02	-7.905	-1.502	3.946E-07	-6.404
59	NAHCOL	1.474E-05	2.376E-01	-4.831	-.624	6.206E-05	-4.207
61	NATRON	1.096E-09	2.327E-02	-8.960	-1.633	4.711E-08	-7.327
150	NESQUE	2.207E-09	8.082E-06	-8.656	-5.093	2.732E-04	-3.564
10	SIDERITE	1.267E-23	3.595E-11	-22.897	-10.444	3.525E-13	-12.453
66	THENAR	1.245E-08	6.803E-01	-7.905	-.167	1.831E-08	-7.737
62	THR NAT	1.098E-09	1.522E+00	-8.960	.182	7.214E-10	-9.142
60	TRONA	1.618E-14	3.745E-01	-13.791	-.427	4.321E-14	-13.364
172	MANGANO	1.887E+08	2.690E+18	8.276	18.430	7.014E-11	-10.154
173	PYROLUST	6.151E+24	2.873E+16	24.789	16.458	2.141E+08	8.331
174	BIRNSITE	6.151E+24	1.233E+18	24.789	18.091	4.988E+06	6.698
175	NUSTITE	6.151E+24	3.192E+17	24.789	17.504	1.927E+07	7.285
176	BIXBYITE	1.073E+07	5.024E-01	7.030	-.299	2.135E+07	7.329
177	HAUSMITE			67.375	63.180		4.194
178	MNOH2	5.458E-21	1.009E-13	-20.263	-12.996	5.407E-08	-7.267
179	MNOH3			-39.293	-36.055		-3.238
180	MANGANIT	3.275E+03	5.781E-01	3.515	-.238	5.665E+03	3.753
181	RHODOCHR	5.722E-14	3.188E-11	-13.242	-10.496	1.795E-03	-2.746
183	MNCL2	3.825E-16	1.320E+09	-15.417	9.121	2.897E-25	-24.538
184	MNCL2,1W	3.824E-16	4.665E+05	-15.417	5.669	8.197E-22	-21.086
185	MNCL2,2W	3.823E-16	8.690E+03	-15.418	3.939	4.400E-20	-19.357
186	MNCL2,4W	3.822E-16	2.261E+02	-15.418	2.354	1.691E-18	-17.772
190	MNSO4	6.490E-13	9.680E+02	-12.188	2.986	6.705E-16	-15.174
191	MN2SO4,3			-54.360	-4.911		-49.449

M-8

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	2.908E-07	5.111E-05	-6.536	-4.292	5.691E-03	-2.245
22	ARAGONIT	6.468E-09	5.167E-09	-8.189	-8.287	1.252E+00	.097
151	ARTIN	1.537E-24	4.361E-19	-23.813	-18.360	3.524E-06	-5.453
20	BRUCITE	4.847E-17	3.730E-12	-16.315	-11.428	1.299E-05	-4.886
13	CALCITE	6.468E-09	3.658E-09	-8.189	-8.437	1.768E+00	.248
12	DOLOMITE	8.529E-18	1.297E-17	-17.069	-16.887	6.576E-01	-.182
113	FEOH3A	7.121E+06	7.674E+04	6.853	4.885	9.280E+01	1.968
111	GOETH			-35.999	-44.747		8.748
19	GYPSUM	2.908E-07	2.471E-05	-6.536	-4.607	1.177E-02	-1.929
65	HALITE	1.164E-06	3.650E+01	-5.934	1.562	3.188E-08	-7.496
109	HEMATI	5.073E+13	4.534E-04	13.705	-3.344	1.119E+17	17.049
118	HUNTITE	1.483E-35	1.107E-30	-34.829	-29.956	1.340E-05	-4.873
39	HYDMAG			-51.834	-37.271		-14.563
110	MAGHEM	5.073E+13	2.344E+06	13.705	6.370	2.164E+07	7.335
11	MAGNESIT	1.319E-09	7.811E-09	-8.880	-8.107	1.688E-01	-.773
108	MAGNET	1.812E-01	2.040E-09	-.742	-8.690	8.885E+07	7.949
67	MIRABI	3.763E-09	3.010E-02	-8.424	-1.521	1.250E-07	-6.903
59	NAHCOL	6.412E-06	2.355E-01	-5.193	-.628	2.723E-05	-4.565
61	NATRON	8.368E-11	2.240E-02	-10.077	-1.650	3.735E-09	-8.428
150	NESQUE	1.318E-09	8.194E-06	-8.880	-5.086	1.609E-04	-3.794
10	SIDERITE	4.644E-23	3.648E-11	-22.333	-10.438	1.273E-12	-11.895
66	THENAR	3.768E-09	6.812E-01	-8.424	-.167	5.531E-09	-8.257
62	THRAT	8.379E-11	1.532E+00	-10.077	.185	5.469E-11	-10.262
60	TRONA	5.372E-16	3.910E-01	-15.270	-.408	1.374E-15	-14.862
172	MANGANO	5.350E+08	2.849E+18	8.728	18.455	1.878E-10	-9.726
173	PYROLUST	1.847E+25	3.081E+16	25.267	16.489	5.997E+08	8.778
174	BIRNSITE	1.847E+25	1.233E+18	25.267	18.091	1.498E+07	7.176
175	NUSTITE	1.847E+25	3.192E+17	25.267	17.504	5.788E+07	7.763
176	BIXBYITE	8.587E+07	5.211E-01	7.934	-.283	1.648E+08	8.217
177	HAUSMITE			68.784	63.264		5.521
178	MNOH2	1.448E-20	9.996E-14	-19.839	-13.000	1.449E-07	-6.839
179	MNOH3			-38.884	-36.076		-2.808
180	MANGANIT	9.266E+03	5.781E-01	3.967	-.238	1.603E+04	4.205
181	RHODOCHR	3.941E-13	3.204E-11	-12.404	-10.494	1.230E-02	-1.910
183	MNCL2	6.367E-15	1.377E+09	-14.196	9.139	4.623E-24	-23.335
184	MNCL2,1W	6.366E-15	4.746E+05	-14.196	5.676	1.341E-20	-19.872
185	MNCL2,2W	6.366E-15	8.654E+03	-14.196	3.937	7.356E-19	-18.133
186	MNCL2,4W	6.364E-15	2.169E+02	-14.196	2.336	2.935E-17	-16.532
190	MNSO4	1.772E-11	1.005E+03	-10.751	3.002	1.764E-14	-13.753
191	MN2SO4,3			-50.506	-4.871		-45.635

M-9

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	2.365E-07	5.071E-05	-6.626	-4.295	4.663E-03	-2.331
22	ARAGONIT	8.491E-09	5.149E-09	-8.071	-8.288	1.649E+00	.217
151	ARTIN	7.884E-24	4.347E-19	-23.103	-18.362	1.814E-05	-4.741
20	BRUCITE	6.488E-16	3.736E-12	-15.188	-11.428	1.737E-04	-3.760
13	CALCITE	8.491E-09	3.646E-09	-8.071	-8.438	2.329E+00	.367
12	DOLOMITE	5.033E-17	1.275E-17	-16.298	-16.894	3.947E+00	.596
113	FEOH3A	4.521E+07	7.674E+04	7.655	4.885	5.891E+02	2.770
111	GOETH			-35.163	-44.727		9.563
19	GYPSUM	2.363E-07	2.473E-05	-6.626	-4.607	9.558E-03	-2.020
65	HALITE	2.470E-05	3.656E+01	-4.607	1.563	6.758E-07	-6.170
109	HEMATI	2.046E+15	4.289E-04	15.311	-3.368	4.769E+18	18.678
118	HUNTITE	1.768E-33	1.057E-30	-32.752	-29.976	1.673E-03	-2.776
39	HYDMAG			-48.097	-37.291		-10.806
110	MAGHEM	2.046E+15	2.344E+06	15.311	6.370	8.726E+08	8.941
11	MAGNESIT	5.927E-09	7.725E-09	-8.227	-8.112	7.673E-01	-.115
108	MAGNET	4.929E+01	1.896E-09	1.693	-8.722	2.600E+10	10.415
67	MIRABI	1.073E-07	3.115E-02	-6.970	-1.507	3.443E-06	-5.463
59	NAHCOL	2.567E-05	2.371E-01	-4.591	-.625	1.083E-04	-3.966
61	NATRON	3.851E-09	2.305E-02	-8.414	-1.637	1.671E-07	-6.777
150	NESQUE	5.922E-09	8.110E-06	-8.228	-5.091	7.302E-04	-3.137
10	SIDERITE	1.086E-22	3.608E-11	-21.964	-10.443	3.009E-12	-11.522
66	THENAR	1.076E-07	6.805E-01	-6.968	-.167	1.581E-07	-6.801
62	THR NAT	3.862E-09	1.524E+00	-8.413	.183	2.534E-09	-8.596
60	TRONA	9.909E-14	3.785E-01	-13.004	-.422	2.618E-13	-12.582
172	MANGANO	7.095E+09	2.729E+18	9.851	18.436	2.600E-09	-8.585
173	PYROLUST	2.275E+26	2.923E+16	26.357	16.466	7.782E+09	9.891
174	BIRNSITE	2.275E+26	1.233E+18	26.357	18.091	1.845E+08	8.266
175	NUSTITE	2.275E+26	3.192E+17	26.357	17.504	7.128E+08	8.853
176	BIXBYITE	1.469E+10	5.070E-01	10.167	-.295	2.897E+10	10.462
177	HAUSMITE			72.100	63.201		8.899
178	MNOH2	2.018E-19	1.007E-13	-18.695	-12.997	2.004E-06	-5.698
179	MNOH3	1.839E-38	8.701E-37	-37.736	-36.060	2.113E-02	-1.675
180	MANGANIT	1.212E+05	5.781E-01	5.083	-.238	2.096E+05	5.321
181	RHODOCHR	1.844E-12	3.192E-11	-11.734	-10.496	5.776E-02	-1.238
183	MNCL2	2.913E-13	1.334E+09	-12.536	9.125	2.183E-22	-21.661
184	MNCL2,1W	2.912E-13	4.685E+05	-12.536	5.671	6.215E-19	-18.207
185	MNCL2,2W	2.911E-13	8.681E+03	-12.536	3.939	3.353E-17	-16.475
186	MNCL2,4W	2.909E-13	2.237E+02	-12.536	2.350	1.300E-15	-14.886
190	MNSO4	5.135E-11	9.770E+02	-10.289	2.990	5.257E-14	-13.279
191	MN2SO4,3			-50.254	-4.901		-45.353

TT-1

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	6.936E-06	5.313E-05	-5.159	-4.275	1.305E-01	-.884
22	ARAGONIT	6.817E-10	5.260E-09	-9.166	-8.279	1.296E-01	-.887
151	ARTIN	2.537E-27	4.435E-19	-26.596	-18.353	5.721E-09	-8.243
20	BRUCITE	4.674E-18	3.702E-12	-17.330	-11.432	1.263E-06	-5.899
13	CALCITE	6.817E-10	3.714E-09	-9.166	-8.430	1.836E-01	-.736
12	DOLOMITE	5.827E-19	1.413E-17	-18.235	-16.850	4.125E-02	-1.385
113	FEOH3A	5.312E+07	7.674E+04	7.725	4.885	6.922E+02	2.840
111	GOETH			-35.289	-44.847		9.558
19	GYP SUM	6.928E-06	2.459E-05	-5.159	-4.609	2.817E-01	-.550
65	HALITE	3.530E-05	3.620E+01	-4.452	1.559	9.752E-07	-6.011
109	HEMATI	2.827E+15	5.992E-04	15.451	-3.222	4.717E+18	18.674
118	HUNTITE	4.256E-37	1.397E-30	-36.371	-29.855	3.046E-07	-6.516
39	HYDMAG			-53.604	-37.171		-16.433
110	MAGHEM	2.827E+15	2.344E+06	15.451	6.370	1.206E+09	9.081
11	MAGNESIT	8.547E-10	8.259E-09	-9.068	-8.083	1.035E-01	-.985
108	MAGNET	6.489E+01	2.946E-09	1.812	-8.531	2.203E+10	10.343
67	MIRABI	5.207E-08	2.535E-02	-7.283	-1.596	2.054E-06	-5.687
59	NAHCOL	3.774E-06	2.277E-01	-5.423	-.643	1.657E-05	-4.781
61	NATRON	5.118E-12	1.943E-02	-11.291	-1.712	2.634E-10	-9.579
150	NESQUE	8.531E-10	8.635E-06	-9.069	-5.064	9.880E-05	-4.005
10	SIDERITE	1.703E-21	3.856E-11	-20.769	-10.414	4.415E-11	-10.355
66	THENAR	5.239E-08	6.848E-01	-7.281	-.164	7.650E-08	-7.116
62	THR NAT	5.146E-12	1.571E+00	-11.289	.196	3.275E-12	-11.485
60	TRONA	1.941E-17	4.601E-01	-16.712	-.337	4.218E-17	-16.375

TT-2

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	8.583E-06	5.177E-05	-5.066	-4.286	1.658E-01	-.780
22	ARAGONIT	3.731E-09	5.199E-09	-8.428	-8.284	7.176E-01	-.144
151	ARTIN	6.393E-26	4.386E-19	-25.194	-18.358	1.458E-07	-6.836
20	BRUCITE	1.003E-17	3.721E-12	-16.999	-11.429	2.695E-06	-5.569
13	CALCITE	3.731E-09	3.677E-09	-8.428	-8.435	1.015E+00	.006
12	DOLOMITE	8.130E-18	1.334E-17	-17.090	-16.875	6.093E-01	-.215
113	FEOH3A	4.418E+00	7.674E+04	.645	4.885	5.757E-05	-4.240
111	GOETH			-42.260	-44.780		2.520
19	GYP SUM	8.574E-06	2.467E-05	-5.067	-4.608	3.475E-01	-.459
65	HALITE	1.838E-05	3.640E+01	-4.736	1.561	5.049E-07	-6.297
109	HEMATI	1.955E+01	4.974E-04	1.291	-3.303	3.930E+04	4.594
118	HUNTITE	3.861E-35	1.196E-30	-34.413	-29.922	3.229E-05	-4.491
39	HYDMAG			-51.647	-37.238		-14.409
110	MAGHEM	1.955E+01	2.344E+06	1.291	6.370	8.339E-06	-5.079
11	MAGNESIT	2.179E-09	7.957E-09	-8.662	-8.099	2.739E-01	-.562
108	MAGNET	1.283E-02	2.305E-09	-1.892	-8.637	5.568E+06	6.746
67	MIRABI	2.821E-08	2.843E-02	-7.550	-1.546	9.921E-07	-6.003
59	NAHCOL	6.749E-06	2.329E-01	-5.171	-.633	2.898E-05	-4.538
61	NATRON	1.226E-11	2.137E-02	-10.911	-1.670	5.738E-10	-9.241
150	NESQUE	2.176E-09	8.338E-06	-8.662	-5.079	2.609E-04	-3.583
10	SIDERITE	6.454E-11	3.716E-11	-10.190	-10.430	1.737E+00	.240
66	THENAR	2.836E-08	6.824E-01	-7.547	-.166	4.156E-08	-7.381
62	THR NAT	1.232E-11	1.545E+00	-10.909	.189	7.975E-12	-11.098
60	TRONA	8.311E-17	4.127E-01	-16.080	-.384	2.014E-16	-15.696

TT-4

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	8.638E-06	5.245E-05	-5.064	-4.280	1.647E-01	-.783
22	ARAGONIT	7.474E-09	5.229E-09	-8.126	-8.282	1.429E+00	.155
151	ARTIN	4.914E-25	4.410E-19	-24.309	-18.356	1.114E-06	-5.953
20	BRUCITE	3.853E-17	3.711E-12	-16.414	-11.431	1.038E-05	-4.984
13	CALCITE	7.474E-09	3.695E-09	-8.126	-8.432	2.023E+00	.306
12	DOLOMITE	3.268E-17	1.373E-17	-16.486	-16.862	2.380E+00	.377
113	FEOH3A	3.047E+01	7.674E+04	1.484	4.885	3.970E-04	-3.401
111	GOETH			-41.476	-44.813		3.338
19	GYPSUM	8.629E-06	2.463E-05	-5.064	-4.608	3.503E-01	-.456
65	HALITE	1.839E-05	3.630E+01	-4.735	1.560	5.067E-07	-6.295
109	HEMATI	9.297E+02	5.459E-04	2.968	-3.263	1.703E+06	6.231
118	HUNTITE	6.248E-34	1.292E-30	-33.204	-29.889	4.835E-04	-3.316
39	HYDMAG			-49.852	-37.204		-12.648
110	MAGHEM	9.297E+02	2.344E+06	2.968	6.370	3.966E-04	-3.402
11	MAGNESIT	4.373E-09	8.106E-09	-8.359	-8.091	5.394E-01	-.268
108	MAGNET	4.183E-01	2.605E-09	-.378	-8.584	1.606E+08	8.206
67	MIRABI	2.839E-08	2.685E-02	-7.547	-1.571	1.057E-06	-5.976
59	NAHCOL	6.705E-06	2.303E-01	-5.174	-.638	2.912E-05	-4.536
61	NATRON	2.457E-11	2.038E-02	-10.610	-1.691	1.206E-09	-8.919
150	NESQUE	4.366E-09	8.485E-06	-8.360	-5.071	5.145E-04	-3.289
10	SIDERITE	2.188E-11	3.785E-11	-10.660	-10.422	5.780E-01	-.238
66	THENAR	2.855E-08	6.836E-01	-7.544	-.165	4.176E-08	-7.379
62	THR NAT	2.469E-11	1.558E+00	-10.608	.193	1.584E-11	-10.800
60	TRONA	1.654E-16	4.357E-01	-15.781	-.361	3.797E-16	-15.421

TT-5

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	2.749E-07	5.313E-05	-6.561	-4.275	5.173E-03	-2.286
22	ARAGONIT	1.327E-10	5.260E-09	-9.877	-8.279	2.522E-02	-1.598
151	ARTIN	2.612E-28	4.435E-19	-27.583	-18.353	5.889E-10	-9.230
20	BRUCITE	1.023E-18	3.702E-12	-17.990	-11.432	2.764E-07	-6.559
13	CALCITE	1.327E-10	3.714E-09	-9.877	-8.430	3.573E-02	-1.447
12	DOLOMITE	9.146E-21	1.413E-17	-20.039	-16.850	6.474E-04	-3.189
113	FEOH3A	7.611E+03	7.674E+04	3.881	4.885	9.918E-02	-1.004
111	GOETH			-39.133	-44.847		5.714
19	GYPSUM	2.748E-07	2.459E-05	-6.561	-4.609	1.117E-02	-1.952
65	HALITE	2.109E-06	3.620E+01	-5.676	1.559	5.826E-08	-7.235
109	HEMATI	5.794E+07	5.992E-04	7.763	-3.222	9.670E+10	10.985
118	HUNTITE			-40.362	-29.855		-10.507
39	HYDMAG			-58.637	-37.171		-21.466
110	MAGHEM	5.794E+07	2.344E+06	7.763	6.370	2.472E+01	1.393
11	MAGNESIT	6.893E-11	8.259E-09	-10.162	-8.083	8.346E-03	-2.079
108	MAGNET	8.034E+03	2.946E-09	3.905	-8.531	2.727E+12	12.436
67	MIRABI	3.476E-10	2.535E-02	-9.459	-1.596	1.371E-08	-7.863
59	NAHCOL	4.140E-07	2.277E-01	-6.383	-.643	1.818E-06	-5.740
61	NATRON	1.678E-13	1.943E-02	-12.775	-1.712	8.636E-12	-11.064
150	NESQUE	6.891E-11	8.635E-06	-10.162	-5.064	7.980E-06	-5.098
10	SIDERITE	3.791E-12	3.856E-11	-11.421	-10.414	9.830E-02	-1.007
66	THENAR	3.480E-10	6.848E-01	-9.458	-.164	5.082E-10	-9.294
62	THR NAT	1.680E-13	1.571E+00	-12.775	.196	1.069E-13	-12.971
60	TRONA	6.952E-20	4.601E-01	-19.158	-.337	1.511E-19	-18.821

TT-6

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	1.945E-06	5.245E-05	-5.711	-4.280	3.708E-02	-1.431
22	ARAGONIT	6.366E-09	5.229E-09	-8.196	-8.282	1.217E+00	.085
151	ARTIN	3.399E-25	4.410E-19	-24.469	-18.356	7.709E-07	-6.113
20	BRUCITE	3.992E-17	3.711E-12	-16.399	-11.431	1.076E-05	-4.968
13	CALCITE	6.366E-09	3.695E-09	-8.196	-8.432	1.723E+00	.236
12	DOLOMITE	3.027E-17	1.373E-17	-16.519	-16.862	2.205E+00	.343
113	FEOH3A	4.245E+04	7.674E+04	4.628	4.885	5.532E-01	-.257
111	GOETH			-38.332	-44.813		6.482
19	GYPHUM	1.944E-06	2.463E-05	-5.711	-4.608	7.893E-02	-1.103
65	HALITE	1.040E-07	3.630E+01	-6.983	1.560	2.867E-09	-8.543
109	HEMATI	1.803E+09	5.459E-04	9.256	-3.263	3.303E+12	12.519
118	HUNTITE	6.845E-34	1.292E-30	-33.165	-29.889	5.296E-04	-3.276
39	HYDMAG			-49.690	-37.204		-12.486
110	MAGHEM	1.803E+09	2.344E+06	9.256	6.370	7.690E+02	2.886
11	MAGNESIT	4.755E-09	8.106E-09	-8.323	-8.091	5.866E-01	-.232
108	MAGNET	1.827E+07	2.605E-09	7.262	-8.584	7.012E+15	15.846
67	MIRABI	1.897E-10	2.685E-02	-9.722	-1.571	7.066E-09	-8.151
59	NAHCOL	1.091E-06	2.303E-01	-5.962	-.638	4.736E-06	-5.325
61	NATRON	6.209E-13	2.038E-02	-12.207	-1.691	3.047E-11	-10.516
150	NESQUE	4.752E-09	8.485E-06	-8.323	-5.071	5.601E-04	-3.252
10	SIDERITE	5.173E-10	3.785E-11	-9.286	-10.422	1.367E+01	1.136
66	THENAR	1.901E-10	6.836E-01	-9.721	-.165	2.781E-10	-9.556
62	THR NAT	6.220E-13	1.558E+00	-12.206	.193	3.992E-13	-12.399
60	TRONA	6.783E-19	4.357E-01	-18.169	-.361	1.557E-18	-17.808

TT-7

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	1.460E-05	5.137E-05	-4.836	-4.289	2.842E-01	-.546
22	ARAGONIT	2.972E-08	5.180E-09	-7.527	-8.286	5.737E+00	.759
151	ARTIN	6.466E-24	4.371E-19	-23.189	-18.359	1.479E-05	-4.830
20	BRUCITE	5.746E-17	3.726E-12	-16.241	-11.429	1.542E-05	-4.812
13	CALCITE	2.972E-08	3.665E-09	-7.527	-8.436	8.108E+00	.909
12	DOLOMITE	2.329E-16	1.312E-17	-15.633	-16.882	1.776E+01	1.249
113	FEOH3A	5.343E+04	7.674E+04	4.728	4.885	6.963E-01	-.157
111	GOETH			-38.145	-44.760		6.615
19	GYPHUM	1.459E-05	2.469E-05	-4.836	-4.607	5.907E-01	-.229
65	HALITE	1.420E-07	3.646E+01	-6.848	1.562	3.895E-09	-8.410
109	HEMATI	2.859E+09	4.705E-04	9.456	-3.327	6.077E+12	12.784
118	HUNTITE	1.431E-32	1.142E-30	-31.844	-29.942	1.254E-02	-1.902
39	HYDMAG			-48.665	-37.258		-11.407
110	MAGHEM	2.859E+09	2.344E+06	9.456	6.370	1.220E+03	3.086
11	MAGNESIT	7.838E-09	7.869E-09	-8.106	-8.104	9.961E-01	-.002
108	MAGNET	1.626E+06	2.142E-09	6.211	-8.669	7.591E+14	14.880
67	MIRABI	1.014E-09	2.942E-02	-8.994	-1.531	3.445E-08	-7.463
59	NAHCOL	2.231E-06	2.344E-01	-5.651	-.630	9.517E-06	-5.021
61	NATRON	2.064E-12	2.199E-02	-11.685	-1.658	9.386E-11	-10.028
150	NESQUE	7.827E-09	8.252E-06	-8.106	-5.083	9.486E-04	-3.023
10	SIDERITE	3.625E-11	3.675E-11	-10.441	-10.435	9.863E-01	-.006
66	THENAR	1.018E-09	6.817E-01	-8.992	-.166	1.494E-09	-8.826
62	THR NAT	2.072E-12	1.537E+00	-11.684	.187	1.348E-12	-11.870
60	TRONA	4.621E-18	3.995E-01	-17.335	-.398	1.157E-17	-16.937

TT-8

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	8.028E-06	5.245E-05	-5.095	-4.280	1.531E-01	-.815
22	ARAGONIT	3.872E-09	5.229E-09	-8.412	-8.282	7.405E-01	-.130
151	ARTIN	3.765E-26	4.410E-19	-25.424	-18.356	8.538E-08	-7.069
20	BRUCITE	5.573E-18	3.711E-12	-17.254	-11.431	1.502E-06	-5.823
13	CALCITE	3.872E-09	3.695E-09	-8.412	-8.432	1.048E+00	.020
12	DOLOMITE	8.585E-18	1.373E-17	-17.066	-16.862	6.253E-01	-.204
113	FEOH3A	5.471E+03	7.674E+04	3.738	4.885	7.129E-02	-1.147
111	GOETH			-39.222	-44.813		5.592
19	GYP SUM	8.022E-06	2.463E-05	-5.096	-4.608	3.257E-01	-.487
65	HALITE	1.878E-07	3.630E+01	-6.726	1.560	5.174E-09	-8.286
109	HEMATI	2.996E+07	5.459E-04	7.477	-3.263	5.489E+10	10.740
118	HUNTITE	4.219E-35	1.292E-30	-34.375	-29.889	3.264E-05	-4.486
39	HYDMAG			-51.872	-37.204		-14.667
110	MAGHEM	2.996E+07	2.344E+06	7.477	6.370	1.278E+01	1.107
11	MAGNESIT	2.217E-09	8.106E-09	-8.654	-8.091	2.735E-01	-.563
108	MAGNET	2.563E+02	2.605E-09	2.409	-8.584	9.837E+10	10.993
67	MIRABI	5.026E-10	2.685E-02	-9.299	-1.571	1.872E-08	-7.728
59	NAHCOL	1.246E-06	2.303E-01	-5.904	-.638	5.411E-06	-5.267
61	NATRON	2.424E-13	2.038E-02	-12.615	-1.691	1.189E-11	-10.925
150	NESQUE	2.214E-09	8.485E-06	-8.655	-5.071	2.610E-04	-3.583
10	SIDERITE	1.458E-12	3.785E-11	-11.836	-10.422	3.851E-02	-1.414
66	THENAR	5.045E-10	6.836E-01	-9.297	-.165	7.380E-10	-9.132
62	THR NAT	2.432E-13	1.558E+00	-12.614	.193	1.561E-13	-12.807
60	TRONA	3.030E-19	4.357E-01	-18.519	-.361	6.953E-19	-18.158

TT-9

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	5.504E-08	5.177E-05	-7.259	-4.286	1.063E-03	-2.973
22	ARAGONIT	6.514E-10	5.199E-09	-9.186	-8.284	1.253E-01	-.902
151	ARTIN	4.701E-26	4.386E-19	-25.328	-18.358	1.072E-07	-6.970
20	BRUCITE	1.005E-17	3.721E-12	-16.998	-11.429	2.702E-06	-5.568
13	CALCITE	6.514E-10	3.677E-09	-9.186	-8.435	1.772E-01	-.752
12	DOLOMITE	5.908E-20	1.334E-17	-19.229	-16.875	4.428E-03	-2.354
113	FEOH3A	1.610E+07	7.674E+04	7.207	4.885	2.098E+02	2.322
111	GOETH			-35.699	-44.780		9.081
19	GYP SUM	5.504E-08	2.467E-05	-7.259	-4.608	2.231E-03	-2.652
65	HALITE	3.100E-07	3.640E+01	-6.509	1.561	8.518E-09	-8.070
109	HEMATI	2.592E+14	4.974E-04	14.414	-3.303	5.211E+17	17.717
118	HUNTITE			-39.313	-29.922		-9.391
39	HYDMAG			-57.167	-37.238		-19.929
110	MAGHEM	2.592E+14	2.344E+06	14.414	6.370	1.106E+08	8.044
11	MAGNESIT	9.071E-11	7.957E-09	-10.042	-8.099	1.140E-02	-1.943
108	MAGNET	2.035E+10	2.305E-09	10.309	-8.637	8.831E+18	18.946
67	MIRABI	1.059E-10	2.843E-02	-9.975	-1.546	3.726E-09	-8.429
59	NAHCOL	4.388E-07	2.329E-01	-6.358	-.633	1.884E-06	-5.725
61	NATRON	1.254E-12	2.137E-02	-11.902	-1.670	5.866E-11	-10.232
150	NESQUE	9.070E-11	8.338E-06	-10.042	-5.079	1.088E-05	-4.963
10	SIDERITE	3.207E-13	3.716E-11	-12.494	-10.430	8.631E-03	-2.064
66	THENAR	1.060E-10	6.824E-01	-9.975	-.166	1.553E-10	-9.809
62	THR NAT	1.254E-12	1.545E+00	-11.902	.189	8.117E-13	-12.091
60	TRONA	5.503E-19	4.127E-01	-18.259	-.384	1.333E-18	-17.875

TT-10

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	3.391E-07	5.245E-05	-6.470	-4.280	6.465E-03	-2.189
22	ARAGONIT	2.267E-09	5.229E-09	-8.645	-8.282	4.335E-01	-.363
151	ARTIN	1.890E-25	4.410E-19	-24.724	-18.356	4.286E-07	-6.368
20	BRUCITE	3.723E-17	3.711E-12	-16.429	-11.431	1.003E-05	-4.999
13	CALCITE	2.267E-09	3.695E-09	-8.645	-8.432	6.135E-01	-.212
12	DOLOMITE	2.294E-18	1.373E-17	-17.639	-16.862	1.671E-01	-.777
113	FEOH3A	1.062E+07	7.674E+04	7.026	4.885	1.384E+02	2.141
111	GOETH			-35.934	-44.813		8.880
19	GYP SUM	3.390E-07	2.463E-05	-6.470	-4.608	1.376E-02	-1.861
65	HALITE	2.086E-07	3.630E+01	-6.681	1.560	5.747E-09	-8.241
109	HEMATI	1.128E+14	5.459E-04	14.052	-3.263	2.066E+17	17.315
118	HUNTITE	2.349E-36	1.292E-30	-35.629	-29.889	1.817E-06	-5.741
39	HYDMAG			-52.409	-37.204		-15.204
110	MAGHEM	1.128E+14	2.344E+06	14.052	6.370	4.810E+07	7.682
11	MAGNESIT	1.012E-09	8.106E-09	-8.995	-8.091	1.248E-01	-.904
108	MAGNET	1.950E+10	2.605E-09	10.290	-8.584	7.485E+18	18.874
67	MIRABI	3.961E-10	2.685E-02	-9.402	-1.571	1.475E-08	-7.831
59	NAHCOL	1.075E-06	2.303E-01	-5.968	-.638	4.669E-06	-5.331
61	NATRON	2.648E-12	2.038E-02	-11.577	-1.691	1.299E-10	-9.886
150	NESQUE	1.012E-09	8.485E-06	-8.995	-5.071	1.192E-04	-3.924
10	SIDERITE	2.015E-12	3.785E-11	-11.696	-10.422	5.322E-02	-1.274
66	THENAR	3.964E-10	6.836E-01	-9.402	-.165	5.799E-10	-9.237
62	THR NAT	2.650E-12	1.558E+00	-11.577	.193	1.701E-12	-11.769
60	TRONA	2.849E-18	4.357E-01	-17.545	-.361	6.539E-18	-17.184

TT-11

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	5.802E-07	5.313E-05	-6.236	-4.275	1.092E-02	-1.962
22	ARAGONIT	1.987E-09	5.260E-09	-8.702	-8.279	3.777E-01	-.423
151	ARTIN	1.144E-26	4.435E-19	-25.942	-18.353	2.579E-08	-7.589
20	BRUCITE	6.214E-18	3.702E-12	-17.207	-11.432	1.679E-06	-5.775
13	CALCITE	1.987E-09	3.714E-09	-8.702	-8.430	5.350E-01	-.272
12	DOLOMITE	4.259E-18	1.413E-17	-17.371	-16.850	3.015E-01	-.521
113	FEOH3A	1.039E+04	7.674E+04	4.016	4.885	1.354E-01	-.869
111	GOETH			-38.998	-44.847		5.849
19	GYP SUM	5.799E-07	2.459E-05	-6.237	-4.609	2.358E-02	-1.627
65	HALITE	3.558E-06	3.620E+01	-5.449	1.559	9.830E-08	-7.007
109	HEMATI	1.080E+08	5.992E-04	8.033	-3.222	1.802E+11	11.256
118	HUNTITE	1.957E-35	1.397E-30	-34.708	-29.855	1.401E-05	-4.854
39	HYDMAG			-51.882	-37.171		-14.712
110	MAGHEM	1.080E+08	2.344E+06	8.033	6.370	4.605E+01	1.663
11	MAGNESIT	2.144E-09	8.259E-09	-8.669	-8.083	2.596E-01	-.586
108	MAGNET	2.890E+03	2.946E-09	3.461	-8.531	9.809E+11	11.992
67	MIRABI	5.146E-10	2.535E-02	-9.288	-1.596	2.030E-08	-7.693
59	NAHCOL	3.037E-06	2.277E-01	-5.517	-.643	1.334E-05	-4.875
61	NATRON	1.763E-12	1.943E-02	-11.754	-1.712	9.071E-11	-10.042
150	NESQUE	2.142E-09	8.635E-06	-8.669	-5.064	2.480E-04	-3.605
10	SIDERITE	3.746E-12	3.856E-11	-11.426	-10.414	9.713E-02	-1.013
66	THENAR	5.160E-10	6.848E-01	-9.287	-.164	7.536E-10	-9.123
62	THR NAT	1.767E-12	1.571E+00	-11.753	.196	1.124E-12	-11.949
60	TRONA	5.365E-18	4.601E-01	-17.270	-.337	1.166E-17	-16.933

TT-12

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	1.239E-09	5.204E-05	-8.907	-4.284	2.381E-05	-4.623
22	ARAGONIT	2.042E-10	5.211E-09	-9.690	-8.283	3.919E-02	-1.407
151	ARTIN	3.343E-28	4.395E-19	-27.476	-18.357	7.606E-10	-9.119
20	BRUCITE	1.901E-17	3.717E-12	-16.721	-11.430	5.115E-06	-5.291
13	CALCITE	2.042E-10	3.684E-09	-9.690	-8.434	5.543E-02	-1.256
12	DOLOMITE	4.840E-19	1.350E-17	-18.315	-16.870	3.586E-02	-1.445
113	FEOH3A	7.112E+04	7.674E+04	4.852	4.885	9.267E-01	-.033
111	GOETH			-38.075	-44.793		6.718
19	GYPSUM	1.239E-09	2.466E-05	-8.907	-4.608	5.024E-05	-4.299
65	HALITE	2.195E-06	3.636E+01	-5.659	1.561	6.037E-08	-7.219
109	HEMATI	5.060E+09	5.162E-04	9.704	-3.287	9.801E+12	12.991
118	HUNTITE	2.720E-36	1.234E-30	-35.566	-29.909	2.205E-06	-5.657
39	HYDMAG			-51.222	-37.224		-13.998
110	MAGHEM	5.060E+09	2.344E+06	9.704	6.370	2.158E+03	3.334
11	MAGNESIT	2.370E-09	8.016E-09	-8.625	-8.096	2.957E-01	-.529
108	MAGNET	1.696E+05	2.420E-09	5.230	-8.616	7.009E+13	13.846
67	MIRABI	2.526E-10	2.779E-02	-9.598	-1.556	9.089E-09	-8.041
59	NAHCOL	9.294E-06	2.318E-01	-5.032	-.635	4.009E-05	-4.397
61	NATRON	4.162E-11	2.097E-02	-10.381	-1.678	1.985E-09	-8.702
150	NESQUE	2.369E-09	8.396E-06	-8.625	-5.076	2.822E-04	-3.549
10	SIDERITE	1.851E-12	3.744E-11	-11.733	-10.427	4.945E-02	-1.306
66	THENAR	2.529E-10	6.829E-01	-9.597	-.166	3.704E-10	-9.431
62	THRAT	4.168E-11	1.550E+00	-10.380	.190	2.688E-11	-10.570
60	TRONA	3.873E-16	4.218E-01	-15.412	-.375	9.183E-16	-15.037

CC-1

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	3.333E-06	4.031E-05	-5.477	-4.395	8.268E-02	-1.083
22	ARAGONIT	1.615E-08	4.544E-09	-7.792	-8.343	3.554E+00	.551
151	ARTIN	9.758E-24	3.940E-19	-23.011	-18.405	2.477E-05	-4.606
20	BRUCITE	3.838E-16	3.909E-12	-15.416	-11.408	9.818E-05	-4.008
13	CALCITE	1.615E-08	3.269E-09	-7.792	-8.486	4.940E+00	.694
12	DOLOMITE	1.654E-16	7.707E-18	-15.781	-17.113	2.146E+01	1.332
113	FEOH3A	2.541E+08	7.674E+04	8.405	4.885	3.311E+03	3.520
111	GOETH			-33.472	-44.134		10.663
19	GYPSUM	3.331E-06	2.498E-05	-5.477	-4.602	1.334E-01	-.875
65	HALITE	1.348E-05	3.839E+01	-4.870	1.584	3.512E-07	-6.455
109	HEMATI	6.463E+16	8.268E-05	16.810	-4.083	7.816E+20	20.893
118	HUNTITE	1.736E-32	2.672E-31	-31.761	-30.573	6.495E-02	-1.187
39	HYDMAG			-47.375	-37.883		-9.492
110	MAGHEM	6.463E+16	2.344E+06	16.810	6.370	2.757E+10	10.440
11	MAGNESIT	1.024E-08	5.558E-09	-7.990	-8.255	1.843E+00	.266
108	MAGNET	5.862E+04	2.165E-10	4.768	-9.665	2.708E+14	14.433
67	MIRABI	3.109E-08	8.581E-02	-7.507	-1.066	3.624E-07	-6.441
59	NAHCOL	1.459E-05	2.891E-01	-4.836	-.539	5.046E-05	-4.297
61	NATRON	1.506E-10	5.340E-02	-9.822	-1.272	2.820E-09	-8.550
150	NESQUE	1.023E-08	5.954E-06	-7.990	-5.225	1.718E-03	-2.765
10	SIDERITE	3.022E-20	2.600E-11	-19.520	-10.585	1.162E-09	-8.935
66	THENAR	3.121E-08	6.601E-01	-7.506	-.180	4.729E-08	-7.325
62	THRAT	1.511E-10	1.313E+00	-9.821	.118	1.152E-10	-9.939
60	TRONA	2.204E-15	1.448E-01	-14.657	-.839	1.522E-14	-13.818

CC-2

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	2.555E-06	4.559E-05	-5.593	-4.341	5.605E-02	-1.251
22	ARAGONIT	6.227E-09	4.879E-09	-8.206	-8.312	1.276E+00	.106
151	ARTIN	5.177E-25	4.153E-19	-24.286	-18.382	1.247E-06	-5.904
20	BRUCITE	4.156E-17	3.815E-12	-16.381	-11.418	1.089E-05	-4.963
13	CALCITE	6.227E-09	3.480E-09	-8.206	-8.458	1.789E+00	.253
12	DOLOMITE	1.937E-17	1.009E-17	-16.713	-16.996	1.919E+00	.283
113	FEOH3A	2.852E+08	7.674E+04	8.455	4.885	3.717E+03	3.570
111	GOETH			-33.922	-44.452		10.530
19	GYPSUM	2.554E-06	2.493E-05	-5.593	-4.603	1.024E-01	-.990
65	HALITE	3.704E-06	3.740E+01	-5.431	1.573	9.904E-08	-7.004
109	HEMATI	8.141E+16	1.997E-04	16.911	-3.700	4.076E+20	20.610
118	HUNTITE	1.873E-34	5.582E-31	-33.727	-30.253	3.356E-04	-3.474
39	HYDMAG			-50.411	-37.566		-12.845
110	MAGHEM	8.141E+16	2.344E+06	16.911	6.370	3.473E+10	10.541
11	MAGNESIT	3.110E-09	6.630E-09	-8.507	-8.179	4.691E-01	-.329
108	MAGNET	2.946E+04	6.923E-10	4.469	-9.160	4.256E+13	13.629
67	MIRABI	1.823E-08	4.986E-02	-7.739	-1.302	3.656E-07	-6.437
59	NAHCOL	1.003E-05	2.600E-01	-4.999	-.585	3.859E-05	-4.414
61	NATRON	4.443E-11	3.405E-02	-10.352	-1.468	1.305E-09	-8.884
150	NESQUE	3.108E-09	7.026E-06	-8.508	-5.153	4.423E-04	-3.354
10	SIDERITE	2.071E-20	3.099E-11	-19.684	-10.509	6.682E-10	-9.175
66	THENAR	1.828E-08	6.710E-01	-7.738	-.173	2.724E-08	-7.565
62	THR NAT	4.454E-11	1.422E+00	-10.351	.153	3.132E-11	-10.504
60	TRONA	4.467E-16	2.423E-01	-15.350	-.616	1.843E-15	-14.734

CC-3

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	1.714E-06	4.559E-05	-5.766	-4.341	3.760E-02	-1.425
22	ARAGONIT	9.947E-09	4.879E-09	-8.002	-8.312	2.039E+00	.309
151	ARTIN	1.920E-24	4.153E-19	-23.717	-18.382	4.623E-06	-5.335
20	BRUCITE	1.084E-16	3.815E-12	-15.965	-11.418	2.840E-05	-4.547
13	CALCITE	9.947E-09	3.480E-09	-8.002	-8.458	2.858E+00	.456
12	DOLOMITE	5.548E-17	1.009E-17	-16.256	-16.996	5.497E+00	.740
113	FEOH3A	2.014E+08	7.674E+04	8.304	4.885	2.625E+03	3.419
111	GOETH			-34.073	-44.452		10.379
19	GYPSUM	1.713E-06	2.493E-05	-5.766	-4.603	6.870E-02	-1.163
65	HALITE	1.225E-05	3.740E+01	-4.912	1.573	3.275E-07	-6.485
109	HEMATI	4.061E+16	1.997E-04	16.609	-3.700	2.033E+20	20.308
118	HUNTITE	1.726E-33	5.582E-31	-32.763	-30.253	3.093E-03	-2.510
39	HYDMAG			-48.980	-37.566		-11.414
110	MAGHEM	4.061E+16	2.344E+06	16.609	6.370	1.732E+10	10.239
11	MAGNESIT	5.578E-09	6.630E-09	-8.254	-8.179	8.414E-01	-.075
108	MAGNET	1.188E+04	6.923E-10	4.075	-9.160	1.716E+13	13.235
67	MIRABI	1.727E-08	4.986E-02	-7.763	-1.302	3.464E-07	-6.460
59	NAHCOL	1.250E-05	2.600E-01	-4.903	-.585	4.808E-05	-4.318
61	NATRON	1.002E-10	3.405E-02	-9.999	-1.468	2.944E-09	-8.531
150	NESQUE	5.573E-09	7.026E-06	-8.254	-5.153	7.932E-04	-3.101
10	SIDERITE	1.151E-20	3.099E-11	-19.939	-10.509	3.715E-10	-9.430
66	THENAR	1.732E-08	6.710E-01	-7.761	-.173	2.582E-08	-7.588
62	THR NAT	1.005E-10	1.422E+00	-9.998	.153	7.068E-11	-10.151
60	TRONA	1.256E-15	2.423E-01	-14.901	-.616	5.183E-15	-14.285

AP-1

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	1.795E-05	5.341E-05	-4.746	-4.272	3.361E-01	-.474
22	ARAGONIT	8.913E-10	5.272E-09	-9.050	-8.278	1.690E-01	-.772
151	ARTIN	4.665E-28	4.445E-19	-27.331	-18.352	1.050E-09	-8.979
20	BRUCITE	7.162E-20	3.698E-12	-19.145	-11.432	1.937E-08	-7.713
13	CALCITE	8.913E-10	3.721E-09	-9.050	-8.429	2.395E-01	-.621
12	DOLOMITE	1.086E-19	1.429E-17	-18.964	-16.845	7.597E-03	-2.119
113	FEOH3A	3.748E+07	7.674E+04	7.574	4.885	4.884E+02	2.689
111	GOETH			-35.463	-44.860		9.398
19	GYP SUM	1.794E-05	2.457E-05	-4.746	-4.610	7.298E-01	-.137
65	HALITE	7.614E-08	3.615E+01	-7.118	1.558	2.106E-09	-8.677
109	HEMATI	1.407E+15	6.221E-04	15.148	-3.206	2.261E+18	18.354
118	HUNTITE			-38.793	-29.841		-8.952
39	HYDMAG			-58.803	-37.157		-21.646
110	MAGHEM	1.407E+15	2.344E+06	15.148	6.370	6.000E+08	8.778
11	MAGNESIT	1.218E-10	8.321E-09	-9.914	-8.080	1.464E-02	-1.835
108	MAGNET	5.431E+01	3.095E-09	1.735	-8.509	1.755E+10	10.244
67	MIRABI	5.639E-10	2.478E-02	-9.249	-1.606	2.276E-08	-7.643
59	NAHCOL	8.407E-07	2.267E-01	-6.075	-.645	3.709E-06	-5.431
61	NATRON	2.800E-14	1.906E-02	-13.553	-1.720	1.469E-12	-11.833
150	NESQUE	1.216E-10	8.696E-06	-9.915	-5.061	1.399E-05	-4.854
10	SIDERITE	2.605E-20	3.885E-11	-19.584	-10.411	6.706E-10	-9.174
66	THENAR	5.665E-10	6.853E-01	-9.247	-.164	8.267E-10	-9.083
62	THR NAT	2.811E-14	1.577E+00	-13.551	.198	1.783E-14	-13.749
60	TRONA	2.362E-20	4.703E-01	-19.627	-.328	5.024E-20	-19.299

AP-2

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	5.653E-06	5.512E-05	-5.248	-4.259	1.026E-01	-.989
22	ARAGONIT	6.977E-10	5.345E-09	-9.156	-8.272	1.305E-01	-.884
151	ARTIN	4.514E-28	4.505E-19	-27.345	-18.346	1.002E-09	-8.999
20	BRUCITE	2.381E-19	3.675E-12	-18.623	-11.435	6.478E-08	-7.189
13	CALCITE	6.977E-10	3.764E-09	-9.156	-8.424	1.854E-01	-.732
12	DOLOMITE	1.790E-19	1.531E-17	-18.747	-16.815	1.169E-02	-1.932
113	FEOH3A	4.396E+07	7.674E+04	7.643	4.885	5.728E+02	2.758
111	GOETH			-35.527	-44.942		9.415
19	GYP SUM	5.650E-06	2.447E-05	-5.248	-4.611	2.310E-01	-.636
65	HALITE	1.615E-07	3.591E+01	-6.792	1.555	4.497E-09	-8.347
109	HEMATI	1.934E+15	7.795E-04	15.286	-3.108	2.481E+18	18.395
118	HUNTITE	1.178E-38	1.740E-30	-37.929	-29.759	6.769E-09	-8.170
39	HYDMAG			-56.987	-37.076		-19.911
110	MAGHEM	1.934E+15	2.344E+06	15.286	6.370	8.249E+08	8.916
11	MAGNESIT	2.565E-10	8.705E-09	-9.591	-8.060	2.947E-02	-1.531
108	MAGNET	2.818E+01	4.167E-09	1.450	-8.380	6.763E+09	9.830
67	MIRABI	8.244E-10	2.156E-02	-9.084	-1.666	3.823E-08	-7.418
59	NAHCOL	1.188E-06	2.206E-01	-5.925	-.656	5.385E-06	-5.269
61	NATRON	1.017E-13	1.699E-02	-12.992	-1.770	5.989E-12	-11.223
150	NESQUE	2.563E-10	9.072E-06	-9.591	-5.042	2.826E-05	-4.549
10	SIDERITE	5.453E-21	4.064E-11	-20.263	-10.391	1.342E-10	-9.872
66	THENAR	8.266E-10	6.881E-01	-9.083	-.162	1.201E-09	-8.920
62	THR NAT	1.020E-13	1.609E+00	-12.991	.207	6.338E-14	-13.198
60	TRONA	1.211E-19	5.364E-01	-18.917	-.270	2.258E-19	-18.646

AP-3

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	1.594E-08	5.541E-05	-7.797	-4.256	2.877E-04	-3.541
22	ARAGONIT	3.119E-13	5.357E-09	-12.506	-8.271	5.823E-05	-4.235
151	ARTIN	5.170E-35	4.515E-19	-34.287	-18.345	1.145E-16	-15.941
20	BRUCITE	2.204E-22	3.671E-12	-21.657	-11.435	6.005E-11	-10.222
13	CALCITE	3.119E-13	3.771E-09	-12.506	-8.424	8.271E-05	-4.082
12	DOLOMITE	1.294E-25	1.549E-17	-24.888	-16.810	8.353E-09	-8.078
113	FEOH3A	4.729E+06	7.674E+04	6.675	4.885	6.163E+01	1.790
111	GOETH			-36.517	-44.955		8.438
19	GYP SUM	1.594E-08	2.445E-05	-7.797	-4.612	6.521E-04	-3.186
65	HALITE	7.905E-08	3.587E+01	-7.102	1.555	2.204E-09	-8.657
109	HEMATI	2.237E+13	8.095E-04	13.350	-3.092	2.763E+16	16.441
118	HUNTITE			-49.653	-29.746		-19.907
39	HYDMAG			-71.186	-37.063		-34.123
110	MAGHEM	2.237E+13	2.344E+06	13.350	6.370	9.542E+06	6.980
11	MAGNESIT	4.147E-13	8.771E-09	-12.382	-8.057	4.729E-05	-4.325
108	MAGNET	3.698E-02	4.380E-09	-1.432	-8.359	8.444E+06	6.927
67	MIRABI	1.315E-11	2.107E-02	-10.881	-1.676	6.241E-10	-9.205
59	NAHCOL	7.793E-08	2.196E-01	-7.108	-.658	3.549E-07	-6.450
61	NATRON	2.572E-16	1.667E-02	-15.590	-1.778	1.543E-14	-13.812
150	NESQUE	4.147E-13	9.136E-06	-12.382	-5.039	4.539E-08	-7.343
10	SIDERITE	1.056E-21	4.094E-11	-20.976	-10.388	2.580E-11	-10.588
66	THENAR	1.316E-11	6.886E-01	-10.881	-.162	1.911E-11	-10.719
62	THR NAT	2.574E-16	1.615E+00	-15.589	.208	1.594E-16	-15.798
60	TRONA	2.005E-23	5.484E-01	-22.698	-.261	3.657E-23	-22.437

AP-4

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	6.331E-09	5.556E-05	-8.199	-4.255	1.140E-04	-3.943
22	ARAGONIT	7.310E-14	5.363E-09	-13.136	-8.271	1.363E-05	-4.865
151	ARTIN	4.685E-36	4.520E-19	-35.329	-18.345	1.037E-17	-16.984
20	BRUCITE	7.084E-23	3.669E-12	-22.150	-11.435	1.931E-11	-10.714
13	CALCITE	7.310E-14	3.775E-09	-13.136	-8.423	1.937E-05	-4.713
12	DOLOMITE	5.905E-27	1.558E-17	-26.229	-16.808	3.791E-10	-9.421
113	FEOH3A	2.591E+05	7.674E+04	5.413	4.885	3.376E+00	.528
111	GOETH			-37.790	-44.962		7.172
19	GYP SUM	6.330E-09	2.444E-05	-8.199	-4.612	2.591E-04	-3.587
65	HALITE	8.255E-08	3.585E+01	-7.083	1.555	2.303E-09	-8.638
109	HEMATI	6.713E+10	8.249E-04	10.827	-3.084	8.138E+13	13.911
118	HUNTITE			-52.414	-29.739		-22.675
39	HYDMAG			-74.521	-37.056		-37.465
110	MAGHEM	6.713E+10	2.344E+06	10.827	6.370	2.864E+04	4.457
11	MAGNESIT	8.078E-14	8.804E-09	-13.093	-8.055	9.176E-06	-5.037
108	MAGNET	4.451E-06	4.490E-09	-5.352	-8.348	9.913E+02	2.996
67	MIRABI	1.111E-11	2.082E-02	-10.954	-1.681	5.335E-10	-9.273
59	NAHCOL	4.259E-08	2.191E-01	-7.371	-.659	1.944E-07	-6.711
61	NATRON	1.283E-16	1.651E-02	-15.892	-1.782	7.772E-15	-14.109
150	NESQUE	8.077E-14	9.169E-06	-13.093	-5.038	8.810E-09	-8.055
10	SIDERITE	2.539E-23	4.110E-11	-22.595	-10.386	6.178E-13	-12.209
66	THENAR	1.111E-11	6.888E-01	-10.954	-.162	1.613E-11	-10.792
62	THR NAT	1.283E-16	1.618E+00	-15.892	.209	7.933E-17	-16.101
60	TRONA	5.465E-24	5.545E-01	-23.262	-.256	9.857E-24	-23.006

AP-5

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	1.654E-07	5.300E-05	-6.782	-4.276	3.121E-03	-2.506
22	ARAGONIT	2.378E-09	5.254E-09	-8.624	-8.280	4.527E-01	-.344
151	ARTIN	5.704E-26	4.430E-19	-25.244	-18.354	1.288E-07	-6.890
20	BRUCITE	9.014E-18	3.703E-12	-17.045	-11.431	2.434E-06	-5.614
13	CALCITE	2.378E-09	3.710E-09	-8.624	-8.431	6.411E-01	-.193
12	DOLOMITE	2.126E-18	1.405E-17	-17.672	-16.852	1.513E-01	-.820
113	FEOH3A	7.633E+07	7.674E+04	7.883	4.885	9.948E+02	2.998
111	GOETH			-35.121	-44.840		9.719
19	GYP SUM	1.654E-07	2.460E-05	-6.782	-4.609	6.722E-03	-2.173
65	HALITE	1.708E-07	3.622E+01	-6.767	1.559	4.717E-09	-8.326
109	HEMATI	5.828E+15	5.881E-04	15.766	-3.231	9.910E+18	18.996
118	HUNTITE	1.698E-36	1.376E-30	-35.770	-29.862	1.234E-06	-5.909
39	HYDMAG			-53.240	-37.178		-16.063
110	MAGHEM	5.828E+15	2.344E+06	15.766	6.370	2.486E+09	9.396
11	MAGNESIT	8.938E-10	8.228E-09	-9.049	-8.085	1.086E-01	-.964
108	MAGNET	1.623E+02	2.874E-09	2.210	-8.541	5.646E+10	10.752
67	MIRABI	1.231E-10	2.565E-02	-9.910	-1.591	4.800E-09	-8.319
59	NAHCOL	1.641E-06	2.282E-01	-5.785	-.642	7.188E-06	-5.143
61	NATRON	1.770E-12	1.962E-02	-11.752	-1.707	9.024E-11	-10.045
150	NESQUE	8.935E-10	8.605E-06	-9.049	-5.065	1.038E-04	-3.984
10	SIDERITE	1.133E-21	3.842E-11	-20.946	-10.415	2.948E-11	-10.531
66	THENAR	1.232E-10	6.845E-01	-9.909	-.165	1.800E-10	-9.745
62	THR NAT	1.772E-12	1.569E+00	-11.752	.196	1.129E-12	-11.947
60	TRONA	2.906E-18	4.551E-01	-17.537	-.342	6.386E-18	-17.195

AP-6

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	1.122E-06	5.300E-05	-5.950	-4.276	2.117E-02	-1.674
22	ARAGONIT	5.135E-14	5.254E-09	-13.289	-8.280	9.774E-06	-5.010
151	ARTIN	8.083E-37	4.430E-19	-36.092	-18.354	1.825E-18	-17.739
20	BRUCITE	9.133E-24	3.703E-12	-23.039	-11.431	2.466E-12	-11.608
13	CALCITE	5.135E-14	3.710E-09	-13.289	-8.431	1.384E-05	-4.859
12	DOLOMITE	1.529E-27	1.405E-17	-26.816	-16.852	1.089E-10	-9.963
113	FEOH3A	7.262E+05	7.674E+04	5.861	4.885	9.464E+00	.976
111	GOETH			-37.143	-44.840		7.698
19	GYP SUM	1.121E-06	2.460E-05	-5.950	-4.609	4.559E-02	-1.341
65	HALITE	2.438E-07	3.622E+01	-6.613	1.559	6.732E-09	-8.172
109	HEMATI	5.277E+11	5.881E-04	11.722	-3.231	8.973E+14	14.953
118	HUNTITE			-53.868	-29.862		-24.006
39	HYDMAG			-77.144	-37.178		-39.966
110	MAGHEM	5.277E+11	2.344E+06	11.722	6.370	2.251E+05	5.352
11	MAGNESIT	2.978E-14	8.228E-09	-13.526	-8.085	3.619E-06	-5.441
108	MAGNET	1.577E-04	2.874E-09	-3.802	-8.541	5.487E+04	4.739
67	MIRABI	1.139E-09	2.565E-02	-8.943	-1.591	4.442E-08	-7.352
59	NAHCOL	5.108E-08	2.282E-01	-7.292	-.642	2.238E-07	-6.650
61	NATRON	5.215E-17	1.962E-02	-16.283	-1.707	2.659E-15	-14.575
150	NESQUE	2.976E-14	8.605E-06	-13.526	-5.065	3.459E-09	-8.461
10	SIDERITE	3.998E-22	3.842E-11	-21.398	-10.415	1.041E-11	-10.983
66	THENAR	1.141E-09	6.845E-01	-8.943	-.165	1.667E-09	-8.778
62	THR NAT	5.224E-17	1.569E+00	-16.282	.196	3.330E-17	-16.478
60	TRONA	2.668E-24	4.551E-01	-23.574	-.342	5.862E-24	-23.232

AL

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	1.159E-06	4.675E-05	-5.936	-4.330	2.479E-02	-1.606
22	ARAGONIT	1.895E-08	4.944E-09	-7.722	-8.306	3.834E+00	.584
151	ARTIN	2.165E-21	4.198E-19	-20.665	-18.377	5.158E-03	-2.288
20	BRUCITE	1.849E-13	3.796E-12	-12.733	-11.421	4.870E-02	-1.313
13	CALCITE	1.895E-08	3.521E-09	-7.722	-8.453	5.383E+00	.731
12	DOLOMITE	5.714E-16	1.067E-17	-15.243	-16.972	5.357E+01	1.729
113	FEOH3A	2.376E+08	7.674E+04	8.376	4.885	3.097E+03	3.491
111	GOETH			-34.102	-44.516		10.415
19	GYP SUM	1.145E-06	2.490E-05	-5.941	-4.604	4.600E-02	-1.337
65	HALITE	1.419E-02	3.720E+01	-1.848	1.571	3.814E-04	-3.419
109	HEMATI	5.747E+16	2.391E-04	16.759	-3.621	2.404E+20	20.381
118	HUNTITE	5.191E-31	6.487E-31	-30.285	-30.188	8.003E-01	-.097
39	HYDMAG			-42.827	-37.501		-5.326
110	MAGHEM	5.747E+16	2.344E+06	16.759	6.370	2.452E+10	10.389
11	MAGNESIT	3.014E-08	6.873E-09	-7.521	-8.163	4.386E+00	.642
108	MAGNET	1.827E+04	8.776E-10	4.262	-9.057	2.082E+13	13.318
67	MIRABI	1.551E-05	4.463E-02	-4.809	-1.350	3.476E-04	-3.459
59	NAHCOL	3.420E-05	2.544E-01	-4.466	-.595	1.344E-04	-3.872
61	NATRON	2.537E-07	3.106E-02	-6.596	-1.508	8.170E-06	-5.088
150	NESQUE	2.962E-08	7.267E-06	-7.528	-5.139	4.075E-03	-2.390
10	SIDERITE	3.559E-23	3.212E-11	-22.449	-10.493	1.108E-12	-11.955
66	THENAR	1.645E-05	6.732E-01	-4.784	-.172	2.444E-05	-4.612
62	THR NAT	2.675E-07	1.446E+00	-6.573	.160	1.851E-07	-6.733
60	TRONA	9.094E-12	2.692E-01	-11.041	-.570	3.379E-11	-10.471

MM

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	7.926E-08	5.177E-05	-7.101	-4.286	1.531E-03	-2.815
22	ARAGONIT	1.007E-08	5.199E-09	-7.997	-8.284	1.938E+00	.287
151	ARTIN	1.028E-24	4.386E-19	-23.988	-18.358	2.344E-06	-5.630
20	BRUCITE	2.157E-17	3.721E-12	-16.666	-11.429	5.797E-06	-5.237
13	CALCITE	1.007E-08	3.677E-09	-7.997	-8.435	2.740E+00	.438
12	DOLOMITE	2.143E-17	1.334E-17	-16.669	-16.875	1.606E+00	.206
113	FEOH3A	5.304E+07	7.674E+04	7.725	4.885	6.912E+02	2.840
111	GOETH			-35.181	-44.780		9.599
19	GYP SUM	7.923E-08	2.467E-05	-7.101	-4.608	3.212E-03	-2.493
65	HALITE	3.739E-06	3.640E+01	-5.427	1.561	1.027E-07	-6.988
109	HEMATI	2.815E+15	4.974E-04	15.449	-3.303	5.659E+18	18.753
118	HUNTITE	9.700E-35	1.196E-30	-34.013	-29.922	8.111E-05	-4.091
39	HYDMAG			-51.355	-37.238		-14.117
110	MAGHEM	2.815E+15	2.344E+06	15.449	6.370	1.201E+09	9.079
11	MAGNESIT	2.127E-09	7.957E-09	-8.672	-8.099	2.674E-01	-.573
108	MAGNET	7.229E+01	2.305E-09	1.859	-8.637	3.137E+10	10.496
67	MIRABI	8.449E-10	2.843E-02	-9.073	-1.546	2.971E-08	-7.527
59	NAHCOL	1.344E-05	2.329E-01	-4.872	-.633	5.770E-05	-4.239
61	NATRON	1.074E-10	2.137E-02	-9.969	-1.670	5.025E-09	-8.299
150	NESQUE	2.126E-09	8.338E-06	-8.672	-5.079	2.550E-04	-3.593
10	SIDERITE	1.146E-21	3.716E-11	-20.941	-10.430	3.085E-11	-10.511
66	THENAR	8.466E-10	6.824E-01	-9.072	-.166	1.241E-09	-8.906
62	THR NAT	1.076E-10	1.545E+00	-9.968	.189	6.962E-11	-10.157
60	TRONA	1.445E-15	4.127E-01	-14.840	-.384	3.501E-15	-14.456

MZ

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	1.619E-07	5.245E-05	-6.791	-4.280	3.086E-03	-2.511
22	ARAGONIT	1.769E-08	5.229E-09	-7.752	-8.282	3.383E+00	.529
151	ARTIN	1.496E-24	4.410E-19	-23.825	-18.356	3.392E-06	-5.469
20	BRUCITE	2.349E-17	3.711E-12	-16.629	-11.431	6.331E-06	-5.199
13	CALCITE	1.769E-08	3.695E-09	-7.752	-8.432	4.787E+00	.680
12	DOLOMITE	8.686E-17	1.373E-17	-16.061	-16.862	6.327E+00	.801
113	FEOH3A	2.596E+07	7.674E+04	7.414	4.885	3.384E+02	2.529
111	GOETH			-35.545	-44.813		9.268
19	GYPSUM	1.618E-07	2.463E-05	-6.791	-4.608	6.567E-03	-2.183
65	HALITE	9.692E-06	3.630E+01	-5.014	1.560	2.670E-07	-6.573
109	HEMATI	6.748E+14	5.459E-04	14.829	-3.263	1.236E+18	18.092
118	HUNTITE	2.094E-33	1.292E-30	-32.679	-29.889	1.620E-03	-2.790
39	HYDMAG			-49.865	-37.204		-12.661
110	MAGHEM	6.748E+14	2.344E+06	14.829	6.370	2.878E+08	8.459
11	MAGNESIT	4.910E-09	8.106E-09	-8.309	-8.091	6.057E-01	-.218
108	MAGNET	7.381E+00	2.605E-09	.868	-8.584	2.833E+09	9.452
67	MIRABI	9.767E-10	2.685E-02	-9.010	-1.571	3.637E-08	-7.439
59	NAHCOL	1.895E-05	2.303E-01	-4.722	-.638	8.228E-05	-4.085
61	NATRON	1.067E-10	2.038E-02	-9.972	-1.691	5.238E-09	-8.281
150	NESQUE	4.905E-09	8.485E-06	-8.309	-5.071	5.781E-04	-3.238
10	SIDERITE	9.796E-22	3.785E-11	-21.009	-10.422	2.588E-11	-10.587
66	THENAR	9.798E-10	6.836E-01	-9.009	-.165	1.433E-09	-8.844
62	THR NAT	1.071E-10	1.558E+00	-9.970	.193	6.871E-11	-10.163
60	TRONA	2.028E-15	4.357E-01	-14.693	-.361	4.654E-15	-14.332

Y-1

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	5.089E-06	5.177E-05	-5.293	-4.286	9.829E-02	-1.007
22	ARAGONIT	6.970E-09	5.199E-09	-8.157	-8.284	1.341E+00	.127
151	ARTIN	2.944E-27	4.386E-19	-26.531	-18.358	6.712E-09	-8.173
20	BRUCITE	3.728E-19	3.721E-12	-18.429	-11.429	1.002E-07	-6.999
13	CALCITE	6.970E-09	3.677E-09	-8.157	-8.435	1.896E+00	.278
12	DOLOMITE	4.266E-17	1.334E-17	-16.370	-16.875	3.197E+00	.505
113	FEOH3A	4.163E+07	7.674E+04	7.619	4.885	5.425E+02	2.734
111	GOETH			-35.285	-44.780		9.495
19	GYPSUM	5.072E-06	2.467E-05	-5.295	-4.608	2.056E-01	-.687
65	HALITE	2.293E-05	3.640E+01	-4.640	1.561	6.300E-07	-6.201
109	HEMATI	1.742E+15	4.974E-04	15.241	-3.303	3.502E+18	18.544
118	HUNTITE	1.598E-33	1.196E-30	-32.796	-29.922	1.336E-03	-2.874
39	HYDMAG			-51.284	-37.238		-14.047
110	MAGHEM	1.742E+15	2.344E+06	15.241	6.370	7.431E+08	8.871
11	MAGNESIT	6.120E-09	7.957E-09	-8.213	-8.099	7.692E-01	-.114
108	MAGNET	2.897E+16	2.305E-09	16.462	-8.637	1.257E+25	25.099
67	MIRABI	4.163E-07	2.843E-02	-6.381	-1.546	1.464E-05	-4.834
59	NAHCOL	4.019E-04	2.329E-01	-3.396	-.633	1.726E-03	-2.763
61	NATRON	5.702E-10	2.137E-02	-9.244	-1.670	2.668E-08	-7.574
150	NESQUE	6.089E-09	8.338E-06	-8.215	-5.079	7.303E-04	-3.136
10	SIDERITE	1.234E-34	3.716E-11	-33.909	-10.430	3.320E-24	-23.479
66	THENAR	4.234E-07	6.824E-01	-6.373	-.166	6.204E-07	-6.207
62	THR NAT	5.789E-10	1.545E+00	-9.237	.189	3.747E-10	-9.426
60	TRONA	2.323E-13	4.127E-01	-12.634	-.384	5.628E-13	-12.250

Y-2

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	1.029E-06	5.045E-05	-5.988	-4.297	2.039E-02	-1.691
22	ARAGONIT	3.806E-10	5.136E-09	-9.419	-8.289	7.411E-02	-1.130
151	ARTIN	1.562E-29	4.337E-19	-28.806	-18.363	3.600E-11	-10.444
20	BRUCITE	7.435E-20	3.740E-12	-19.129	-11.427	1.988E-08	-7.702
13	CALCITE	3.806E-10	3.639E-09	-9.419	-8.439	1.046E-01	-.980
12	DOLOMITE	2.620E-19	1.261E-17	-18.582	-16.899	2.078E-02	-1.682
113	FEOH3A	1.172E+04	7.674E+04	4.069	4.885	1.528E-01	-.816
111	GOETH			-38.728	-44.713		5.986
19	GYP SUM	1.027E-06	2.474E-05	-5.988	-4.607	4.151E-02	-1.382
65	HALITE	4.554E-06	3.660E+01	-5.342	1.563	1.244E-07	-6.905
109	HEMATI	1.377E+08	4.134E-04	8.139	-3.384	3.331E+11	11.523
118	HUNTITE	1.242E-37	1.025E-30	-36.906	-29.989	1.212E-07	-6.916
39	HYDMAG			-55.778	-37.304		-18.474
110	MAGHEM	1.377E+08	2.344E+06	8.139	6.370	5.874E+01	1.769
11	MAGNESIT	6.884E-10	7.668E-09	-9.162	-8.115	8.978E-02	-1.047
108	MAGNET	1.126E+03	1.806E-09	3.052	-8.743	6.236E+11	11.795
67	MIRABI	1.602E-08	3.186E-02	-7.795	-1.497	5.027E-07	-6.299
59	NAHCOL	3.248E-05	2.381E-01	-4.488	-.623	1.364E-04	-3.865
61	NATRON	5.927E-12	2.349E-02	-11.227	-1.629	2.524E-10	-9.598
150	NESQUE	6.870E-10	8.054E-06	-9.163	-5.094	8.530E-05	-4.069
10	SIDERITE	3.815E-11	3.582E-11	-10.418	-10.446	1.065E+00	.027
66	THENAR	1.613E-08	6.801E-01	-7.792	-.167	2.371E-08	-7.625
62	THR NAT	5.964E-12	1.519E+00	-11.224	.182	3.926E-12	-11.406
60	TRONA	1.936E-16	3.705E-01	-15.713	-.431	5.225E-16	-15.282

Y-3

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	7.790E-07	5.045E-05	-6.108	-4.297	1.544E-02	-1.811
22	ARAGONIT	3.292E-10	5.136E-09	-9.482	-8.289	6.410E-02	-1.193
151	ARTIN	2.288E-29	4.337E-19	-28.640	-18.363	5.276E-11	-10.278
20	BRUCITE	1.247E-19	3.740E-12	-18.904	-11.427	3.335E-08	-7.477
13	CALCITE	3.292E-10	3.639E-09	-9.482	-8.439	9.048E-02	-1.043
12	DOLOMITE	1.942E-19	1.261E-17	-18.712	-16.899	1.540E-02	-1.812
113	FEOH3A	2.289E+04	7.674E+04	4.360	4.885	2.983E-01	-.525
111	GOETH			-38.437	-44.713		6.276
19	GYP SUM	7.781E-07	2.474E-05	-6.109	-4.607	3.145E-02	-1.502
65	HALITE	1.070E-05	3.660E+01	-4.971	1.563	2.924E-07	-6.534
109	HEMATI	5.249E+08	4.134E-04	8.720	-3.384	1.270E+12	12.104
118	HUNTITE	6.755E-38	1.025E-30	-37.170	-29.989	6.592E-08	-7.181
39	HYDMAG			-55.822	-37.304		-18.518
110	MAGHEM	5.249E+08	2.344E+06	8.720	6.370	2.239E+02	2.350
11	MAGNESIT	5.898E-10	7.668E-09	-9.229	-8.115	7.692E-02	-1.114
108	MAGNET	5.288E+03	1.806E-09	3.723	-8.743	2.928E+12	12.467
67	MIRABI	6.012E-08	3.186E-02	-7.221	-1.497	1.887E-06	-5.724
59	NAHCOL	4.803E-05	2.381E-01	-4.318	-.623	2.017E-04	-3.695
61	NATRON	2.541E-11	2.349E-02	-10.595	-1.629	1.082E-09	-8.966
150	NESQUE	5.888E-10	8.054E-06	-9.230	-5.094	7.311E-05	-4.136
10	SIDERITE	2.401E-11	3.582E-11	-10.620	-10.446	6.702E-01	-.174
66	THENAR	6.045E-08	6.801E-01	-7.219	-.167	8.889E-08	-7.051
62	THR NAT	2.554E-11	1.519E+00	-10.593	.182	1.681E-11	-10.774
60	TRONA	1.226E-15	3.705E-01	-14.912	-.431	3.309E-15	-14.480

Y-4

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	1.593E-06	5.177E-05	-5.798	-4.286	3.076E-02	-1.512
22	ARAGONIT	1.048E-09	5.199E-09	-8.980	-8.284	2.016E-01	-.696
151	ARTIN	1.327E-28	4.386E-19	-27.877	-18.358	3.026E-10	-9.519
20	BRUCITE	2.904E-19	3.721E-12	-18.537	-11.429	7.806E-08	-7.108
13	CALCITE	1.048E-09	3.677E-09	-8.980	-8.435	2.851E-01	-.545
12	DOLOMITE	2.511E-18	1.334E-17	-17.600	-16.875	1.882E-01	-.725
113	FEOH3A	1.046E+06	7.674E+04	6.019	4.885	1.363E+01	1.134
111	GOETH			-36.885	-44.780		7.895
19	GYP SUM	1.589E-06	2.467E-05	-5.799	-4.608	6.442E-02	-1.191
65	HALITE	3.535E-05	3.640E+01	-4.452	1.561	9.712E-07	-6.013
109	HEMATI	1.097E+12	4.974E-04	12.040	-3.303	2.206E+15	15.344
118	HUNTITE	1.441E-35	1.196E-30	-34.841	-29.922	1.205E-05	-4.919
39	HYDMAG			-53.021	-37.238		-15.783
110	MAGHEM	1.097E+12	2.344E+06	12.040	6.370	4.680E+05	5.670
11	MAGNESIT	2.396E-09	7.957E-09	-8.621	-8.099	3.011E-01	-.521
108	MAGNET	4.577E+11	2.305E-09	11.661	-8.637	1.986E+20	20.298
67	MIRABI	3.474E-07	2.843E-02	-6.459	-1.546	1.222E-05	-4.913
59	NAHCOL	1.799E-04	2.329E-01	-3.745	-.633	7.725E-04	-3.112
61	NATRON	2.286E-10	2.137E-02	-9.641	-1.670	1.070E-08	-7.971
150	NESQUE	2.389E-09	8.338E-06	-8.622	-5.079	2.865E-04	-3.543
10	SIDERITE	1.556E-36	3.716E-11	-35.808	-10.430	4.188E-26	-25.378
66	THENAR	3.510E-07	6.824E-01	-6.455	-.166	5.143E-07	-6.289
62	THR NAT	2.307E-10	1.545E+00	-9.637	.189	1.493E-10	-9.826
60	TRONA	4.146E-14	4.127E-01	-13.382	-.384	1.005E-13	-12.998

Y-5

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	7.022E-06	5.045E-05	-5.154	-4.297	1.392E-01	-.856
22	ARAGONIT	6.001E-09	5.136E-09	-8.222	-8.289	1.168E+00	.068
151	ARTIN	7.564E-27	4.337E-19	-26.121	-18.363	1.744E-08	-7.758
20	BRUCITE	1.928E-18	3.740E-12	-17.715	-11.427	5.156E-07	-6.288
13	CALCITE	6.001E-09	3.639E-09	-8.222	-8.439	1.649E+00	.217
12	DOLOMITE	5.484E-17	1.261E-17	-16.261	-16.899	4.349E+00	.638
113	FEOH3A	3.659E+04	7.674E+04	4.563	4.885	4.768E-01	-.322
111	GOETH			-38.233	-44.713		6.480
19	GYP SUM	7.001E-06	2.474E-05	-5.155	-4.607	2.830E-01	-.548
65	HALITE	1.179E-04	3.660E+01	-3.928	1.563	3.222E-06	-5.492
109	HEMATI	1.345E+09	4.134E-04	9.129	-3.384	3.253E+12	12.512
118	HUNTITE	4.580E-33	1.025E-30	-32.339	-29.989	4.470E-03	-2.350
39	HYDMAG			-49.874	-37.304		-12.570
110	MAGHEM	1.345E+09	2.344E+06	9.129	6.370	5.736E+02	2.759
11	MAGNESIT	9.139E-09	7.668E-09	-8.039	-8.115	1.192E+00	.076
108	MAGNET	2.543E+04	1.806E-09	4.405	-8.743	1.408E+13	13.149
67	MIRABI	1.646E-06	3.186E-02	-5.784	-1.497	5.165E-05	-4.287
59	NAHCOL	3.591E-04	2.381E-01	-3.445	-.623	1.508E-03	-2.822
61	NATRON	1.406E-09	2.349E-02	-8.852	-1.629	5.988E-08	-7.223
150	NESQUE	9.098E-09	8.054E-06	-8.041	-5.094	1.130E-03	-2.947
10	SIDERITE	4.512E-11	3.582E-11	-10.346	-10.446	1.260E+00	.100
66	THENAR	1.670E-06	6.801E-01	-5.777	-.167	2.456E-06	-5.610
62	THR NAT	1.425E-09	1.519E+00	-8.846	.182	9.382E-10	-9.028
60	TRONA	5.111E-13	3.705E-01	-12.292	-.431	1.379E-12	-11.860

Y-6

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	1.510E-06	5.111E-05	-5.821	-4.292	2.955E-02	-1.529
22	ARAGONIT	1.084E-09	5.167E-09	-8.965	-8.287	2.098E-01	-.678
151	ARTIN	4.375E-28	4.361E-19	-27.359	-18.360	1.003E-09	-8.999
20	BRUCITE	9.307E-19	3.730E-12	-18.031	-11.428	2.495E-07	-6.603
13	CALCITE	1.084E-09	3.658E-09	-8.965	-8.437	2.963E-01	-.528
12	DOLOMITE	2.705E-18	1.297E-17	-17.568	-16.887	2.085E-01	-.681
113	FEOH3A	1.239E+04	7.674E+04	4.093	4.885	1.615E-01	-.792
111	GOETH			-38.758	-44.747		5.989
19	GYP SUM	1.509E-06	2.471E-05	-5.821	-4.607	6.107E-02	-1.214
65	HALITE	9.328E-06	3.650E+01	-5.030	1.562	2.556E-07	-6.592
109	HEMATI	1.538E+08	4.534E-04	8.187	-3.344	3.392E+11	11.531
118	HUNTITE	1.684E-35	1.107E-30	-34.774	-29.956	1.522E-05	-4.818
39	HYDMAG			-52.444	-37.271		-15.172
110	MAGHEM	1.538E+08	2.344E+06	8.187	6.370	6.561E+01	1.817
11	MAGNESIT	2.495E-09	7.811E-09	-8.603	-8.107	3.195E-01	-.496
108	MAGNET	6.199E+02	2.040E-09	2.792	-8.690	3.039E+11	11.483
67	MIRABI	2.516E-08	3.010E-02	-7.599	-1.521	8.360E-07	-6.078
59	NAHCOL	2.961E-05	2.355E-01	-4.529	-.628	1.257E-04	-3.901
61	NATRON	1.806E-11	2.240E-02	-10.743	-1.650	8.060E-10	-9.094
150	NESQUE	2.492E-09	8.194E-06	-8.604	-5.086	3.041E-04	-3.517
10	SIDERITE	5.161E-12	3.648E-11	-11.287	-10.438	1.415E-01	-.849
66	THENAR	2.530E-08	6.812E-01	-7.597	-.167	3.713E-08	-7.430
62	THR NAT	1.814E-11	1.532E+00	-10.741	.185	1.184E-11	-10.927
60	TRONA	5.370E-16	3.910E-01	-15.270	-.408	1.373E-15	-14.862

Y-7

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	1.017E-06	4.981E-05	-5.993	-4.303	2.042E-02	-1.690
22	ARAGONIT	1.710E-08	5.105E-09	-7.767	-8.292	3.350E+00	.525
151	ARTIN	3.422E-25	4.314E-19	-24.466	-18.365	7.933E-07	-6.101
20	BRUCITE	9.077E-18	3.749E-12	-17.042	-11.426	2.421E-06	-5.616
13	CALCITE	1.710E-08	3.620E-09	-7.767	-8.441	4.724E+00	.674
12	DOLOMITE	1.318E-16	1.226E-17	-15.880	-16.912	1.075E+01	1.032
19	GYP SUM	1.013E-06	2.477E-05	-5.994	-4.606	4.089E-02	-1.388
65	HALITE	5.548E-04	3.670E+01	-3.256	1.565	1.512E-05	-4.820
118	HUNTITE	7.835E-33	9.489E-31	-32.106	-30.023	8.257E-03	-2.083
39	HYDMAG			-49.497	-37.337		-12.160
11	MAGNESIT	7.710E-09	7.528E-09	-8.113	-8.123	1.024E+00	.010
67	MIRABI	5.077E-06	3.372E-02	-5.294	-1.472	1.506E-04	-3.822
59	NAHCOL	1.221E-03	2.408E-01	-2.913	-.618	5.072E-03	-2.295
61	NATRON	8.537E-08	2.462E-02	-7.069	-1.609	3.468E-06	-5.460
150	NESQUE	7.664E-09	7.916E-06	-8.116	-5.102	9.682E-04	-3.014
66	THENAR	5.179E-06	6.789E-01	-5.286	-.168	7.629E-06	-5.118
62	THR NAT	8.691E-08	1.507E+00	-7.061	.178	5.769E-08	-7.239
60	TRONA	1.059E-10	3.511E-01	-9.975	-.455	3.017E-10	-9.520

Y-8

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	9.388E-07	5.045E-05	-6.027	-4.297	1.861E-02	-1.730
22	ARAGONIT	9.559E-09	5.136E-09	-8.020	-8.289	1.861E+00	.270
151	ARTIN	6.917E-26	4.337E-19	-25.160	-18.363	1.595E-07	-6.797
20	BRUCITE	2.971E-18	3.740E-12	-17.527	-11.427	7.944E-07	-6.100
13	CALCITE	9.559E-09	3.639E-09	-8.020	-8.439	2.627E+00	.419
12	DOLOMITE	3.702E-17	1.261E-17	-16.432	-16.899	2.936E+00	.468
113	FEOH3A	1.422E+05	7.674E+04	5.153	4.885	1.853E+00	.268
111	GOETH			-37.642	-44.713		7.071
19	GYP SUM	9.307E-07	2.474E-05	-6.031	-4.607	3.762E-02	-1.425
65	HALITE	1.829E-03	3.660E+01	-2.738	1.563	4.998E-05	-4.301
109	HEMATI	2.049E+10	4.134E-04	10.311	-3.384	4.956E+13	13.695
118	HUNTITE	5.554E-34	1.025E-30	-33.255	-29.989	5.421E-04	-3.266
39	HYDMAG			-51.182	-37.304		-13.878
110	MAGHEM	2.049E+10	2.344E+06	10.311	6.370	8.739E+03	3.941
11	MAGNESIT	3.873E-09	7.668E-09	-8.412	-8.115	5.051E-01	-.297
108	MAGNET	6.997E+05	1.806E-09	5.845	-8.743	3.874E+14	14.588
67	MIRABI	4.701E-05	3.186E-02	-4.328	-1.497	1.475E-03	-2.831
59	NAHCOL	3.514E-03	2.381E-01	-2.454	-.623	1.476E-02	-1.831
61	NATRON	4.786E-07	2.349E-02	-6.320	-1.629	2.038E-05	-4.691
150	NESQUE	3.823E-09	8.054E-06	-8.418	-5.094	4.747E-04	-3.324
10	SIDERITE	2.235E-11	3.582E-11	-10.651	-10.446	6.241E-01	-.205
66	THENAR	4.908E-05	6.801E-01	-4.309	-.167	7.217E-05	-4.142
62	THR NAT	4.976E-07	1.519E+00	-6.303	.182	3.275E-07	-6.485
60	TRONA	1.741E-09	3.705E-01	-8.759	-.431	4.699E-09	-8.328

Y-9

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	8.255E-06	5.177E-05	-5.083	-4.286	1.594E-01	-.797
22	ARAGONIT	4.396E-08	5.199E-09	-7.357	-8.284	8.455E+00	.927
151	ARTIN	2.965E-25	4.386E-19	-24.528	-18.358	6.762E-07	-6.170
20	BRUCITE	5.240E-18	3.721E-12	-17.281	-11.429	1.408E-06	-5.851
13	CALCITE	4.396E-08	3.677E-09	-7.357	-8.435	1.196E+01	1.078
12	DOLOMITE	1.490E-15	1.334E-17	-14.827	-16.875	1.117E+02	2.048
113	FEOH3A	1.123E+06	7.674E+04	6.050	4.885	1.463E+01	1.165
111	GOETH			-36.854	-44.780		7.926
19	GYP SUM	8.216E-06	2.467E-05	-5.085	-4.608	3.330E-01	-.478
65	HALITE	6.523E-05	3.640E+01	-4.186	1.561	1.792E-06	-5.747
109	HEMATI	1.269E+12	4.974E-04	12.104	-3.303	2.552E+15	15.407
118	HUNTITE	1.713E-30	1.196E-30	-29.766	-29.922	1.432E+00	.156
39	HYDMAG			-47.164	-37.238		-9.926
110	MAGHEM	1.269E+12	2.344E+06	12.104	6.370	5.414E+05	5.734
11	MAGNESIT	3.390E-08	7.957E-09	-7.470	-8.099	4.261E+00	.630
108	MAGNET	2.150E+08	2.305E-09	8.332	-8.637	9.327E+16	16.970
67	MIRABI	3.868E-06	2.843E-02	-5.413	-1.546	1.360E-04	-3.866
59	NAHCOL	1.520E-03	2.329E-01	-2.818	-.633	6.528E-03	-2.185
61	NATRON	2.060E-08	2.137E-02	-7.686	-1.670	9.638E-07	-6.016
150	NESQUE	3.367E-08	8.338E-06	-7.473	-5.079	4.038E-03	-2.394
10	SIDERITE	4.948E-10	3.716E-11	-9.306	-10.430	1.331E+01	1.124
66	THENAR	3.960E-06	6.824E-01	-5.402	-.166	5.803E-06	-5.236
62	THR NAT	2.104E-08	1.545E+00	-7.677	.189	1.362E-08	-7.866
60	TRONA	3.190E-11	4.127E-01	-10.496	-.384	7.730E-11	-10.112

Y-10

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	3.066E-06	5.045E-05	-5.513	-4.297	6.076E-02	-1.216
22	ARAGONIT	1.771E-08	5.136E-09	-7.752	-8.289	3.448E+00	.538
151	ARTIN	7.970E-26	4.337E-19	-25.099	-18.363	1.838E-07	-6.736
20	BRUCITE	1.604E-18	3.740E-12	-17.795	-11.427	4.290E-07	-6.368
13	CALCITE	1.771E-08	3.639E-09	-7.752	-8.439	4.868E+00	.687
12	DOLOMITE	1.116E-16	1.261E-17	-15.953	-16.899	8.847E+00	.947
113	FEOH3A	8.654E+05	7.674E+04	5.937	4.885	1.128E+01	1.052
111	GOETH			-36.860	-44.713		7.854
19	GYPSUM	3.061E-06	2.474E-05	-5.514	-4.607	1.237E-01	-.908
65	HALITE	3.318E-06	3.660E+01	-5.479	1.563	9.067E-08	-7.043
109	HEMATI	7.508E+11	4.134E-04	11.876	-3.384	1.816E+15	15.259
118	HUNTITE	4.426E-33	1.025E-30	-32.354	-29.989	4.319E-03	-2.365
39	HYDMAG			-50.599	-37.304		-13.295
110	MAGHEM	7.508E+11	2.344E+06	11.876	6.370	3.203E+05	5.506
11	MAGNESIT	6.299E-09	7.668E-09	-8.201	-8.115	8.214E-01	-.085
108	MAGNET	9.417E+07	1.806E-09	7.974	-8.743	5.214E+16	16.717
67	MIRABI	1.031E-08	3.186E-02	-7.987	-1.497	3.236E-07	-6.490
59	NAHCOL	6.708E-05	2.381E-01	-4.173	-.623	2.817E-04	-3.550
61	NATRON	5.956E-11	2.349E-02	-10.225	-1.629	2.536E-09	-8.596
150	NESQUE	6.283E-09	8.054E-06	-8.202	-5.094	7.801E-04	-3.108
10	SIDERITE	2.480E-10	3.582E-11	-9.605	-10.446	6.925E+00	.840
66	THENAR	1.040E-08	6.801E-01	-7.983	-.167	1.529E-08	-7.816
62	THR NAT	6.001E-11	1.519E+00	-10.222	.182	3.950E-11	-10.403
60	TRONA	4.022E-15	3.705E-01	-14.396	-.431	1.086E-14	-13.964

Y-11

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	7.219E-06	5.111E-05	-5.142	-4.292	1.412E-01	-.850
22	ARAGONIT	1.521E-08	5.167E-09	-7.818	-8.287	2.943E+00	.469
151	ARTIN	2.817E-26	4.361E-19	-25.550	-18.360	6.458E-08	-7.190
20	BRUCITE	5.826E-19	3.730E-12	-18.235	-11.428	1.562E-07	-6.806
13	CALCITE	1.521E-08	3.658E-09	-7.818	-8.437	4.158E+00	.619
12	DOLOMITE	7.249E-17	1.297E-17	-16.140	-16.887	5.589E+00	.747
113	FEOH3A	7.386E+04	7.674E+04	4.868	4.885	9.625E-01	-.017
111	GOETH			-37.982	-44.747		6.764
19	GYPSUM	7.202E-06	2.471E-05	-5.143	-4.607	2.915E-01	-.535
65	HALITE	3.308E-06	3.650E+01	-5.480	1.562	9.064E-08	-7.043
109	HEMATI	5.474E+09	4.534E-04	9.738	-3.344	1.207E+13	13.082
118	HUNTITE	1.647E-33	1.107E-30	-32.783	-29.956	1.488E-03	-2.827
39	HYDMAG			-51.524	-37.271		-14.253
110	MAGHEM	5.474E+09	2.344E+06	9.738	6.370	2.335E+03	3.368
11	MAGNESIT	4.767E-09	7.811E-09	-8.322	-8.107	6.103E-01	-.214
108	MAGNET	5.240E+04	2.040E-09	4.719	-8.690	2.569E+13	13.410
67	MIRABI	5.401E-08	3.010E-02	-7.268	-1.521	1.794E-06	-5.746
59	NAHCOL	1.302E-04	2.355E-01	-3.885	-.628	5.528E-04	-3.257
61	NATRON	1.138E-10	2.240E-02	-9.944	-1.650	5.078E-09	-8.294
150	NESQUE	4.750E-09	8.194E-06	-8.323	-5.086	5.797E-04	-3.237
10	SIDERITE	3.738E-11	3.648E-11	-10.427	-10.438	1.025E+00	.011
66	THENAR	5.464E-08	6.812E-01	-7.262	-.167	8.021E-08	-7.096
62	THR NAT	1.150E-10	1.532E+00	-9.939	.185	7.505E-11	-10.125
60	TRONA	1.495E-14	3.910E-01	-13.825	-.408	3.824E-14	-13.417

Y-12

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	9.856E-06	5.313E-05	-5.006	-4.275	1.855E-01	-.732
22	ARAGONIT	6.808E-08	5.260E-09	-7.167	-8.279	1.294E+01	1.112
151	ARTIN	1.102E-24	4.435E-19	-23.958	-18.353	2.486E-06	-5.605
20	BRUCITE	5.654E-18	3.702E-12	-17.248	-11.432	1.528E-06	-5.816
13	CALCITE	6.808E-08	3.714E-09	-7.167	-8.430	1.833E+01	1.263
12	DOLOMITE	1.606E-15	1.413E-17	-14.794	-16.850	1.137E+02	2.056
113	FEOH3A	1.266E+06	7.674E+04	6.102	4.885	1.650E+01	1.217
111	GOETH			-36.911	-44.847		7.936
19	GYP SUM	9.804E-06	2.459E-05	-5.009	-4.609	3.987E-01	-.399
65	HALITE	6.414E-04	3.620E+01	-3.193	1.559	1.772E-05	-4.752
109	HEMATI	1.615E+12	5.992E-04	12.208	-3.222	2.696E+15	15.431
118	HUNTITE	8.932E-31	1.397E-30	-30.049	-29.855	6.393E-01	-.194
39	HYDMAG			-47.762	-37.171		-10.591
110	MAGHEM	1.615E+12	2.344E+06	12.208	6.370	6.891E+05	5.838
11	MAGNESIT	2.359E-08	8.259E-09	-7.627	-8.083	2.856E+00	.456
108	MAGNET	1.264E+09	2.946E-09	9.102	-8.531	4.290E+17	17.632
67	MIRABI	5.922E-06	2.535E-02	-5.228	-1.596	2.336E-04	-3.632
59	NAHCOL	1.624E-03	2.277E-01	-2.789	-.643	7.134E-03	-2.147
61	NATRON	4.091E-08	1.943E-02	-7.388	-1.712	2.105E-06	-5.677
150	NESQUE	2.340E-08	8.635E-06	-7.631	-5.064	2.710E-03	-2.567
10	SIDERITE	1.321E-09	3.856E-11	-8.879	-10.414	3.425E+01	1.535
66	THENAR	6.079E-06	6.848E-01	-5.216	-.164	8.878E-06	-5.052
62	THR NAT	4.188E-08	1.571E+00	-7.378	.196	2.665E-08	-7.574
60	TRONA	6.786E-11	4.601E-01	-10.168	-.337	1.475E-10	-9.831

Y-13

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	1.069E-05	5.045E-05	-4.971	-4.297	2.119E-01	-.674
22	ARAGONIT	1.287E-07	5.136E-09	-6.890	-8.289	2.506E+01	1.399
151	ARTIN	7.381E-24	4.337E-19	-23.132	-18.363	1.702E-05	-4.769
20	BRUCITE	1.811E-17	3.740E-12	-16.742	-11.427	4.843E-06	-5.315
13	CALCITE	1.287E-07	3.639E-09	-6.890	-8.439	3.537E+01	1.549
12	DOLOMITE	5.184E-15	1.261E-17	-14.285	-16.899	4.111E+02	2.614
113	FEOH3A	1.092E+06	7.674E+04	6.038	4.885	1.422E+01	1.153
111	GOETH			-36.758	-44.713		7.956
19	GYP SUM	1.063E-05	2.474E-05	-4.974	-4.607	4.295E-01	-.367
65	HALITE	9.189E-04	3.660E+01	-3.037	1.563	2.511E-05	-4.600
109	HEMATI	1.202E+12	4.134E-04	12.080	-3.384	2.908E+15	15.464
118	HUNTITE	8.411E-30	1.025E-30	-29.075	-29.989	8.208E+00	.914
39	HYDMAG			-46.327	-37.304		-9.023
110	MAGHEM	1.202E+12	2.344E+06	12.080	6.370	5.129E+05	5.710
11	MAGNESIT	4.028E-08	7.668E-09	-7.395	-8.115	5.253E+00	.720
108	MAGNET	7.281E+08	1.806E-09	8.862	-8.743	4.032E+17	17.605
67	MIRABI	9.403E-06	3.186E-02	-5.027	-1.497	2.951E-04	-3.530
59	NAHCOL	2.220E-03	2.381E-01	-2.654	-.623	9.323E-03	-2.030
61	NATRON	1.132E-07	2.349E-02	-6.946	-1.629	4.819E-06	-5.317
150	NESQUE	3.991E-08	8.054E-06	-7.399	-5.094	4.956E-03	-2.305
10	SIDERITE	6.769E-10	3.582E-11	-9.169	-10.446	1.890E+01	1.276
66	THENAR	9.693E-06	6.801E-01	-5.014	-.167	1.425E-05	-4.846
62	THR NAT	1.163E-07	1.519E+00	-6.934	.182	7.656E-08	-7.116
60	TRONA	2.575E-10	3.705E-01	-9.589	-.431	6.949E-10	-9.158

Y-14

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	7.703E-08	5.177E-05	-7.113	-4.286	1.488E-03	-2.827
22	ARAGONIT	2.634E-12	5.199E-09	-11.579	-8.284	5.067E-04	-3.295
151	ARTIN	1.720E-33	4.386E-19	-32.764	-18.358	3.922E-15	-14.406
20	BRUCITE	3.899E-22	3.721E-12	-21.409	-11.429	1.048E-10	-9.980
13	CALCITE	2.634E-12	3.677E-09	-11.579	-8.435	7.165E-04	-3.145
12	DOLOMITE	4.141E-24	1.334E-17	-23.383	-16.875	3.104E-07	-6.508
113	FEOH3A	3.416E+00	7.674E+04	.533	4.885	4.451E-05	-4.352
111	GOETH			-42.372	-44.780		2.408
19	GYP SUM	7.701E-08	2.467E-05	-7.113	-4.608	3.121E-03	-2.506
65	HALITE	4.711E-07	3.640E+01	-6.327	1.561	1.294E-08	-7.888
109	HEMATI	1.167E+01	4.974E-04	1.067	-3.303	2.347E+04	4.370
118	HUNTITE			-46.990	-29.922		-17.068
39	HYDMAG			-68.623	-37.238		-31.386
110	MAGHEM	1.167E+01	2.344E+06	1.067	6.370	4.979E-06	-5.303
11	MAGNESIT	1.572E-12	7.957E-09	-11.804	-8.099	1.976E-04	-3.704
108	MAGNET	1.320E-07	2.305E-09	-6.880	-8.637	5.726E+01	1.758
67	MIRABI	4.711E-10	2.843E-02	-9.327	-1.546	1.657E-08	-7.781
59	NAHCOL	1.052E-06	2.329E-01	-5.978	-.633	4.518E-06	-5.345
61	NATRON	1.611E-14	2.137E-02	-13.793	-1.670	7.539E-13	-12.123
150	NESQUE	1.571E-12	8.338E-06	-11.804	-5.079	1.884E-07	-6.725
10	SIDERITE	2.063E-14	3.716E-11	-13.686	-10.430	5.551E-04	-3.256
66	THENAR	4.720E-10	6.824E-01	-9.326	-.166	6.916E-10	-9.160
62	THR NAT	1.614E-14	1.545E+00	-13.792	.189	1.044E-14	-13.981
60	TRONA	1.698E-20	4.127E-01	-19.770	-.384	4.113E-20	-19.386

H-150

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	5.458E-08	5.177E-05	-7.263	-4.286	1.054E-03	-2.977
22	ARAGONIT	4.348E-09	5.199E-09	-8.362	-8.284	8.364E-01	-.078
151	ARTIN	1.183E-25	4.386E-19	-24.927	-18.358	2.697E-07	-6.569
20	BRUCITE	5.015E-18	3.721E-12	-17.300	-11.429	1.348E-06	-5.870
13	CALCITE	4.348E-09	3.677E-09	-8.362	-8.435	1.183E+00	.073
12	DOLOMITE	3.483E-18	1.334E-17	-17.458	-16.875	2.610E-01	-.583
113	FEOH3A	1.783E+04	7.674E+04	4.251	4.885	2.323E-01	-.634
111	GOETH			-38.654	-44.780		6.126
19	GYP SUM	5.456E-08	2.467E-05	-7.263	-4.608	2.212E-03	-2.655
65	HALITE	1.495E-06	3.640E+01	-5.825	1.561	4.108E-08	-7.386
109	HEMATI	3.180E+08	4.974E-04	8.502	-3.303	6.393E+11	11.806
118	HUNTITE	2.235E-36	1.196E-30	-35.651	-29.922	1.869E-06	-5.728
39	HYDMAG			-53.685	-37.238		-16.448
110	MAGHEM	3.180E+08	2.344E+06	8.502	6.370	1.357E+02	2.132
11	MAGNESIT	8.011E-10	7.957E-09	-9.096	-8.099	1.007E-01	-.997
108	MAGNET	9.875E+04	2.305E-09	4.995	-8.637	4.285E+13	13.632
67	MIRABI	2.249E-10	2.843E-02	-9.648	-1.546	7.909E-09	-8.102
59	NAHCOL	6.983E-06	2.329E-01	-5.156	-.633	2.999E-05	-4.523
61	NATRON	1.791E-11	2.137E-02	-10.747	-1.670	8.383E-10	-9.077
150	NESQUE	8.007E-10	8.338E-06	-9.097	-5.079	9.603E-05	-4.018
10	SIDERITE	2.245E-11	3.716E-11	-10.649	-10.430	6.041E-01	-.219
66	THENAR	2.252E-10	6.824E-01	-9.647	-.166	3.300E-10	-9.481
62	THR NAT	1.794E-11	1.545E+00	-10.746	.189	1.161E-11	-10.935
60	TRONA	1.252E-16	4.127E-01	-15.902	-.384	3.035E-16	-15.518

H-225

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	7.271E-08	5.245E-05	-7.138	-4.280	1.386E-03	-2.858
22	ARAGONIT	3.138E-09	5.229E-09	-8.503	-8.282	6.001E-01	-.222
151	ARTIN	2.597E-26	4.410E-19	-25.585	-18.356	5.890E-08	-7.230
20	BRUCITE	2.349E-18	3.711E-12	-17.629	-11.431	6.329E-07	-6.199
13	CALCITE	3.138E-09	3.695E-09	-8.503	-8.432	8.493E-01	-.071
12	DOLOMITE	2.793E-18	1.373E-17	-17.554	-16.862	2.035E-01	-.692
113	FEOH3A	4.875E+02	7.674E+04	2.688	4.885	6.352E-03	-2.197
111	GOETH			-40.272	-44.813		4.542
19	GYPSUM	7.268E-08	2.463E-05	-7.139	-4.608	2.951E-03	-2.530
65	HALITE	1.458E-06	3.630E+01	-5.836	1.560	4.017E-08	-7.396
109	HEMATI	2.377E+05	5.459E-04	5.376	-3.263	4.355E+08	8.639
118	HUNTITE	2.213E-36	1.292E-30	-35.655	-29.889	1.712E-06	-5.766
39	HYDMAG			-53.832	-37.204		-16.627
110	MAGHEM	2.377E+05	2.344E+06	5.376	6.370	1.014E-01	-.994
11	MAGNESIT	8.901E-10	8.106E-09	-9.051	-8.091	1.098E-01	-.959
108	MAGNET	6.016E+00	2.605E-09	.779	-8.584	2.309E+09	9.363
67	MIRABI	1.394E-10	2.685E-02	-9.856	-1.571	5.190E-09	-8.285
59	NAHCOL	6.053E-06	2.303E-01	-5.218	-.638	2.629E-05	-4.580
61	NATRON	6.015E-12	2.038E-02	-11.221	-1.691	2.952E-10	-9.530
150	NESQUE	8.896E-10	8.485E-06	-9.051	-5.071	1.048E-04	-3.979
10	SIDERITE	4.109E-12	3.785E-11	-11.386	-10.422	1.086E-01	-.964
66	THENAR	1.396E-10	6.836E-01	-9.855	-.165	2.042E-10	-9.690
62	THR NAT	6.024E-12	1.558E+00	-11.220	.193	3.867E-12	-11.413
60	TRONA	3.646E-17	4.357E-01	-16.438	-.361	8.368E-17	-16.077

F-115

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	3.350E-08	5.177E-05	-7.475	-4.286	6.470E-04	-3.189
22	ARAGONIT	4.956E-09	5.199E-09	-8.305	-8.284	9.533E-01	-.021
151	ARTIN	3.978E-25	4.386E-19	-24.400	-18.358	9.070E-07	-6.042
20	BRUCITE	5.641E-18	3.721E-12	-17.249	-11.429	1.516E-06	-5.819
13	CALCITE	4.956E-09	3.677E-09	-8.305	-8.435	1.348E+00	.130
12	DOLOMITE	1.725E-18	1.334E-17	-17.763	-16.875	1.293E-01	-.888
113	FEOH3A	1.964E+05	7.674E+04	5.293	4.885	2.560E+00	.408
111	GOETH			-37.612	-44.780		7.168
19	GYPSUM	3.349E-08	2.467E-05	-7.475	-4.608	1.358E-03	-2.867
65	HALITE	9.024E-07	3.640E+01	-6.045	1.561	2.479E-08	-7.606
109	HEMATI	3.860E+10	4.974E-04	10.587	-3.303	7.761E+13	13.890
118	HUNTITE	2.091E-37	1.196E-30	-36.680	-29.922	1.749E-07	-6.757
39	HYDMAG			-55.082	-37.238		-17.844
110	MAGHEM	3.860E+10	2.344E+06	10.587	6.370	1.647E+04	4.217
11	MAGNESIT	3.482E-10	7.957E-09	-9.458	-8.099	4.376E-02	-1.359
108	MAGNET	1.155E+08	2.305E-09	8.063	-8.637	5.011E+16	16.700
67	MIRABI	6.095E-11	2.843E-02	-10.215	-1.546	2.143E-09	-8.669
59	NAHCOL	3.079E-06	2.329E-01	-5.512	-.633	1.322E-05	-4.879
61	NATRON	9.016E-12	2.137E-02	-11.045	-1.670	4.219E-10	-9.375
150	NESQUE	3.480E-10	8.338E-06	-9.458	-5.079	4.174E-05	-4.379
10	SIDERITE	8.356E-11	3.716E-11	-10.078	-10.430	2.249E+00	.352
66	THENAR	6.101E-11	6.824E-01	-10.215	-.166	8.940E-11	-10.049
62	THR NAT	9.025E-12	1.545E+00	-11.045	.189	5.841E-12	-11.233
60	TRONA	2.778E-17	4.127E-01	-16.556	-.384	6.731E-17	-16.172

F-130

	PHASE	IAP	KT	LOG IAP	LOG KT	IAP/KT	LOG IAP/KT
18	ANHYDRIT	2.705E-08	5.045E-05	-7.568	-4.297	5.361E-04	-3.271
22	ARAGONIT	4.301E-09	5.136E-09	-8.366	-8.289	8.375E-01	-.077
151	ARTIN	3.505E-25	4.337E-19	-24.455	-18.363	8.080E-07	-6.093
20	BRUCITE	1.969E-17	3.740E-12	-16.706	-11.427	5.264E-06	-5.279
13	CALCITE	4.301E-09	3.639E-09	-8.366	-8.439	1.182E+00	.073
12	DOLomite	4.469E-18	1.261E-17	-17.350	-16.899	3.544E-01	-.451
113	FEOH3A	2.005E+05	7.674E+04	5.302	4.885	2.613E+00	.417
111	GOETH			-37.495	-44.713		7.218
19	GYPsum	2.704E-08	2.474E-05	-7.568	-4.607	1.093E-03	-2.961
65	HALITE	8.617E-07	3.660E+01	-6.065	1.563	2.355E-08	-7.628
109	HEMATI	4.023E+10	4.134E-04	10.605	-3.384	9.733E+13	13.988
118	HUNTITE	4.823E-36	1.025E-30	-35.317	-29.989	4.707E-06	-5.327
39	HYDMAG			-52.640	-37.304		-15.335
110	MAGHEM	4.023E+10	2.344E+06	10.605	6.370	1.716E+04	4.235
11	MAGNESIT	1.039E-09	7.668E-09	-8.983	-8.115	1.355E-01	-.868
108	MAGNET	1.229E+08	1.806E-09	8.090	-8.743	6.805E+16	16.833
67	MIRABI	5.211E-11	3.186E-02	-10.283	-1.497	1.635E-09	-8.786
59	NAHCOL	2.892E-06	2.381E-01	-5.539	-.623	1.215E-05	-4.916
61	NATRON	8.287E-12	2.349E-02	-11.082	-1.629	3.528E-10	-9.452
150	NESQUE	1.039E-09	8.054E-06	-8.984	-5.094	1.290E-04	-3.890
10	SIDERITE	8.126E-11	3.582E-11	-10.090	-10.446	2.269E+00	.356
66	THENAR	5.216E-11	6.801E-01	-10.283	-.167	7.670E-11	-10.115
62	THR NAT	8.295E-12	1.519E+00	-11.081	.182	5.460E-12	-11.263
60	TRONA	2.399E-17	3.705E-01	-16.620	-.431	6.475E-17	-16.189

ANEXO 4:
Fichas de datos microbiológicos

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: M-1
FECHA: 16.01.98

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SLYM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H.A.B.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S.R.B.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Recuentos:

Medio:	Control	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.					
R. y S.					

Conclusiones:

I.R.B. NEGATIVO

SLYM NEGATIVO

H.A.B. NEGATIVO

S.R.B. NEGATIVO

Observaciones:

Aqua de my para agrobiología.
 "Se usa para beber".

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: M-2
FECHA: 23.01.98

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	-	-	5												
SLYM	-	1													
H.A.B.	-	1													
S.R.B.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	3	-	-	-

Recuentos:

Sagua Lullimora

Medio:	Control	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	<10 cf/ml				
R. y S.	<10 cf/ml				
CULLIKORE		100 cf/ml	1.000 cf/ml		<10 cf/ml

Conclusiones:

I.R.B.	<i>Leptothrix / Sphaerotilus, dd=3 ⇒ AGRESIVA, actividad x foto autotrofia + g. IRB p.d.</i>
SLYM	<i>Sin grandes peligros de S. aure.</i>
H.A.B.	<i>No detectada agresiva.</i>
S.R.B.	<i>RX: 1-3 ⇒ SRB diversos ⇒ anaerobios</i>

Observaciones: *Evidencia anaerobiosis (IRB - RX 5 + S.R.B.), p. potencia del "biofilm".*
 ⊕ HOWSON, pag. 193

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: M-3
FECHA: 06.02.98

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+			
SLYM	-	-	1												
H.A.B.	-	-	1												
S.R.B.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	↓		

Recuentos:

Medio:	Control	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	≈ 100				
R. y S.	< 100 NT				
BART		< 100	≈ 10.000 / ml		< 10

Conclusiones:

I.R.B.	Presencia anaerobias. Muestra poco aerobica
SLYM	Aerobica → Pto. peligro de biofouling no I.R.B.
H.A.B.	Presencia de aerobias y anaerobias facultativas. Poco aerobica.
S.R.B.	S.R.B. de profundidad (anaerobias!)

Observaciones: Condiciones anaerobias. Poco peligro de incrustación de Fe, pero importante el material orgánico (SUCRE)

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: M-4
FECHA: 10.07.98

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	4	
S.L.Y.M.	-	-	6												
H.A.B.	-	2													
S.R.B.	-	-	-	-	-	-	-	1	3						

Recuentos:

Medio:	Control	I.R.B.	S.L.Y.M.	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	22×10^5				
R. y S.	≈ 1000 NT				
BART		≈ 100 / ml	≈ 100		≈ 10

Conclusiones:

I.R.B.	Presencia aerobios Opacidad moderada
S.L.Y.M.	"Bacterias pigmentadas" — <u>Pseudomonas</u> y <u>Bacillus</u> <u>subtilis</u> . Opacidad moderada
H.A.B.	Presencia de aerobios β Moderada y opacos.
S.R.B.	Sulfuros de H ₂ S. — Moderada y opacos.

Observaciones: Poco tiempo de incubación (moderada).

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: M-5
FECHA: 13.07.98

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SLYM	-	↓	↓	↓	↓	↓									
H.A.B.	-	↓													
S.R.B.	-	-	-	-	-	↓	3								

Recuentos:

Medio:	Control	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	10 > 10 ⁵				
R. y S.	NT 1000 ≈ 10.000				
BART		—	≈ 10.000		≈ 10

Conclusiones:

I.R.B.	No detectados ⇒ poca probabilidad de inoculación x alta carga.
SLYM	Pseudomonas → peligro de contaminación x exopolímeros.
H.A.B.	dióxido de Y o que van. Principal x variables
S.R.B.	Hay inóculos, SRO de ≠ tipos

Observaciones:

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: M-6
FECHA: 13.07.98

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	-	-	-	5	-	-									
S.L.Y.M.	-	1	-	-	-	-									
H.A.B.	-	-	-	-	1	-									
S.R.B.	-	-	-	-	4	-	-	-	1	0					

Recuentos:

Medio:	Control	I.R.B.	S.L.Y.M.	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	<50.000				
R. y S.	570 NT				
BART		≈ 1.000	≈ 10.000	< 100	

Conclusiones:

I.R.B.	IRB asociados a flora microbiana, Peligro de contaminación. Opciones
S.L.Y.M.	Tb. peligro de contaminación x esporulaciones, Opciones
H.A.B.	Poca importancia de aerobios.
S.R.B.	Opciones. Posibilidad por flora microbiana sobre S.R.B. p.c

Observaciones:

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: M. 7
FECHA: 06.03.98

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	9	-	-
SLYM	-	-	4	4	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H.A.B.	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S.R.B.	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-

Recuentos:

Medio:	Control	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	≈ 200				
R. y S.	≈ 500 NT				
<i>Atm. en cep</i>		< 400	< 1000		-

Conclusiones:

I.R.B.	Bact. del Gr. <i>diminutas</i> x <i>Pseudomonas</i> . Sin grandes abundancias.
SLYM	Principal causante de obstrucciones → Oligoactividad alta.
H.A.B.	Sin problemas quim. x aerobios (presencia de niveles bajos). Con abundancia facultativa.
S.R.B.	de los biobedones.

Observaciones:

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: M-8
FECHA: 18.03.98

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	-	-	8	-	-	-	5	-	-	4	-				
SLYM	-	-	1												
H.A.B.	-	1													
S.R.B.	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3

Recuentos:

Medio:	Control	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	350 / ml.				
R. y S.	→				
Alb-ox		≈ 500	≈ 100		≤ 10

Conclusiones:

I.R.B.	Gran diversidad de lept./Sphaer. Flora ^{comensal} de fondos I.R.B. ^{Principales especies}
SLYM	Grande diversidad. Formadores de exopolímeros densos.
H.A.B.	Diversidad moderada. Aerobios + anaerobios facultativos. Poco impactado.
S.R.B.	Diversidad granivora. Diversidad de S.R.B.

Observaciones:

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: M. 9
FECHA: 27.03. 98

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	-	-	5												
SLYM	-	1													
H.A.B.	-	1													
S.R.B.	-	-	-	-	-	-	-	1	-	3					

Recuentos:

Medio:	Control	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	500 / ml.				
R. y S.	1000 / ml. V.T.				
Cell - count		≈ 1.000	≈ 10.000		≈ 10

Conclusiones:

I.R.B.	IRB + Flora anaerobias; muy agresiva. Presencia anaerobias.
SLYM	Alto recuento en fermentos de oxopolimero.
H.A.B.	Presencia de 8 especies. Aerobias + anaerobias facultativas
S.R.B.	Diversidad de S.P.B. Agresivo.

Observaciones:

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: T.D. #1 - LA VIDA (DAIRIÉC)
 FECHA: 12.05.98

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	-	-	-	-	-	-	-								
S.L.Y.M.	2														
H.A.B.	-	4													
S.R.B.	-	-	-	1	3										

Recuentos:

Medio:	Totales	I.R.B.	S.L.Y.M.	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	380				
R. y S.	-				
S.R.B.	43 (0.7/21)	43 (0.7/21)			
Gallion.					
BART		✓	≈ 100.000		≈ 1.000

Conclusiones:

I.R.B. id. detectados.

S.L.Y.M. ap. 2 hrs

H.A.B. + la mayoría por métodos

S.R.B. SRB diversos.

Observaciones:

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: T.D. - 02 - EL EMBARCADERO - PIPOMETRO (DAIMIC)
 FECHA: 12.08.98

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	+	-	-	-	5	(4)	-	-	6						
S.L.Y.M.	2														
H.A.B.	+														
S.R.B.	-	-	-	-	-	2									

Recuentos:

Medio:	Totales	I.R.B.	S.L.Y.M.	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	< 10				
R. y S.	-				
S.R.B.	-				
Gallion.					
BART		≈ 1.000	≈ 100.000		≈ 1.000

Conclusiones:

I.R.B.	IRB + flora anaerobica (fb. enterobact.)
S.L.Y.M.	poor number.
H.A.B.	+ anaerobion facultativa.
S.R.B.	+ aerobios.

Observaciones:

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: TD-04 - EL EMBARCADERO (DAIKIEL)
 FECHA: 12.05.98

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	0	-	-	-	5	4									
SLYM	-	-	-	-	-										
H.A.B.	-	1													
S.R.B.	-	-	-	-	-	-	2								

Recuentos:

Medio:	Totales	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	≈ 100				
R. y S.	—				
S.R.B.	0,5 (0,05/1,5)				
Gallion.					
BART		≈ 1.000	—		≈ 100

Conclusiones:

I.R.B. R15-4 → IRB + flora aerobias

SLYM ¡ No detectadas!

H.A.B. Aerobias + anaerobias facultativas.

S.R.B. R12 → asociadas a aerobias

Observaciones: Pogo NEGRO

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: TD-45 - LAGUNA PERMANENTE (DAIMIEL)
 FECHA: 12.05.98

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	-	-	-	-	6	-	5								
SLYM	-	↓													
H.A.B.	↓	↓													
S.R.B.	-	-	-	-	-	-	↓								

Recuentos:

Medio:	Totales	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	400				
R. y S.	1300				
S.R.B.	0,4 (0,05/2)				
Gallion.	++				
BART		≈ 1000	≈ 10000		≈ 100

Conclusiones:

I.R.B.	RK6 → (trobocher 17) RK7 → Peces en aerobios
SLYM	↓ ↓ + predom. aerobios (RK 4 + 2 dd)
H.A.B.	Aerobios facultativos (ver IRB)
S.R.B.	RK 4 → Comidades de profundidad

Observaciones: Presencia de "bacterias de Gallionella"
 en pasapero nitrificante de juncos.

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: TD-6 - CASAS DE JUAN NÚÑEZ (Hoy) *[Handwritten]*
 FECHA: 07.07.98

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	-	-	-	-	-	2	-	4							
SLYM	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
H.A.B.	1														
S.R.B.	-	1	3												

Recuentos:

Medio:	Totales	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	2000				
R. y S.	1910				
S.R.B.	> 110				
Gallion.	No				
BART		~1000	-		> 1000

Conclusiones:

I.R.B.	Población mixta de tipicos de Gallinella Spirales (bacterias)
SLYM	de dedos
H.A.B.	Amoebias facultativas.
S.R.B.	Cumido de diversas. Gran presencia de <u>S.R.B.</u>

Observaciones: Pozo Negro

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: TD-7 — PARTIDA DE LA FRONTERA
 FECHA: 30.10.89

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	-	-	-	-	-	-	-	5							
SLYM	-	-	1												
H.A.B.	-	1													
S.R.B.	-	-	-	-	-	-	-	3							

Recuentos:

Medio:	Totales	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	78×10^5				
R. y S.	63×10^3 (8)				
S.R.B.	< 10				
Gallion.					
BART		≈ 5000	$\approx 5 \times 10^4$		≈ 100

Conclusiones:

I.R.B.	Posibilidad de precipitación de Fe. / Posibles microbios.
SLYM	no polimeriza de nuevo.
H.A.B.	Microbios y unificación finalizados.
S.R.B.	De nuevo tipo

Observaciones:

(X) → Colores según de Fe-Bads.

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: TD-8 — SANTOS PATRONES
 FECHA: 30.10.98

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	-	-	-	-	-	2	-	8	-	10					
SLYM	-	-	6												
H.A.B.	6														
S.R.B.	-	-	-	-	2	-	-	3							

Recuentos:

Medio:	Totales	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	205×10^3				
R.y.S.	238×10^3				
S.R.B.	> 16				
Gallion.					
BART		≈ 10.000	$\approx 10^5$		≈ 1.000

Conclusiones:

I.R.B.	Diversos IRB + enterobact.
	Pat. demerces
SLYM	Exopolimeros demerces
H.A.B.	Acetina + acetobacter facultativas
S.R.B.	SPB asociada a flora aerobia

Observaciones:

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: TP. 9 — AS PONTES I (ENDESA) B-3001
 FECHA: 30.10.98

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	-	-	-	-	-	-	-	4	-						
S.L.Y.M.	-	-	-	-	-	4									
H.A.B.	-	-	-	4											
S.R.B.	-	-	-	-	-	-	-	-	-						

Recuentos:

Medio:	Totales	I.R.B.	S.L.Y.M.	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	1.770				
R. y S.	1.100				
S.R.B.	< 10				
Gallion.					
BART		≈ 1.000	< 100		-

Conclusiones:

I.R.B. Aumento de bacterias → aumento de Fe.
 S.L.Y.M. Excipiente de los
 H.A.B. Bacterias y aumento de bacterias
 S.R.B. No detectado

Observaciones:

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: TD-10 — As PONTES II B.1057
 FECHA: 30-10-98

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5			
S.L.Y.M.	-	-	-	-	-	4									
H.A.B.	-	-	-	4											
S.R.B.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4

Recuentos:

Medio:	Totales	I.R.B.	S.L.Y.M.	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	1.170				
R. y S.	< 100				
S.R.B.	> 110				
Gallion.					
BART		≈ 100	< 100		—

Conclusiones:

I.R.B.	IRB + flora anaerobia profunda (Piridin anaerobias)
S.L.Y.M.	Propolimeros densos.
H.A.B.	Acetobacter y anaerobias facultativas
S.R.B.	Bacterias aerobias, S.R.B. - inactivas

Observaciones:

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: TD. 11 - LA ALVERCA
 FECHA: 30.10.98

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5				
SLYM	-	2			-	5	-	-	6						
H.A.B.	-	-	-	1											
S.R.B.	-	-	-	-	-	-	1	-	3						

Recuentos:

Medio:	Totales	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	7.100				
R. y S.	2.220				
S.R.B.	2110				
Gallion.					
BART		≈ 1.000	≈ 100		≈ 1.000

Conclusiones:

I.R.B.	+ flora anaerobia profunda (cruiden anaerobia)
SLYM	Pseudomonas y Enterobact.
H.A.B.	ferobion + anaerobion facultativos
S.R.B.	Diversas S.R.B.

Observaciones:

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: TP-12 - ALMUNIA 1 (CAUTALAPIEDRA)
 FECHA: 30.10.98

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	-	-	-	-	-	5	-	4	-	-	10				
S.L.Y.M.	-	-	1												
H.A.B.	-	6													
S.R.B.	-	-	-	1		3									

Recuentos:

Medio:	Totales	I.R.B.	S.L.Y.M.	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	198×10^3				
R. y S.	197×10^5				
S.R.B.	< 10				
Gallion.					
BART		≈ 10.000	$\approx 10^5$		≈ 100

Conclusiones:

I.R.B.	Presencia microbios I.R.B. (bacterias, Sphaerotilax) / intermedios
S.L.Y.M.	Faus deces de aerobios de agua.
H.A.B.	Presencia de microbios facultativos.
S.R.B.	S.R.B. de agua → gases microbios

Observaciones:

Baños de San Roque.

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: Y-3 - B.S.R.

FECHA: 10.12.48

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	-	-	-	-	-	-	-	-	6						
SLYM	-	1													
H.A.B.	-	1													
S.R.B.	-	-	-	1											

Recuentos:

Medio:	Totales	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	-				
R. y S.	-				
S.R.B.	10				
Gallion.					
BART		< 100	10.000		100

Conclusiones:

I.R.B.	Dominio de <i>Clostridium</i> . Bacterias
SLYM	Formaciones densas
H.A.B.	Reacción + en variables facultativas. Oposición a la oxidación
S.R.B.	Causantes de la profundidad. Solapados

Observaciones:

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: Y-2 - PUERTO LLANO
 FECHA: 10.12.98

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S.L.Y.M.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H.A.B.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S.R.B.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Recuentos:

Medio:	Totales	I.R.B.	S.L.Y.M.	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	-				
R. y S.	-				
S.R.B.	100				
Gallion.					
BART					

Conclusiones:

I.R.B.	No detectado
S.L.Y.M.	No detectado
H.A.B.	No detectado
S.R.B.	No detectado

Observaciones:

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: Y-3 — VILLAR DEL POZO
 FECHA: 10.12.98

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	-	-	-	5	-	-	-	-	-	4	10				
SLYM	-	1													
H.A.B.	-	1													
S.R.B.	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	3				

Recuentos:

Medio:	Totales	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	170				
R. y S.	180				
S.R.B.	100				
Gallion.					
BART		1.000	10.200		≈ 100

Conclusiones:

I.R.B.	Grupo 2 Para amoníaca (Pron. etc.) CRENATHRIX / SPHAPROTICUS
SLYM	Diferencia de especies. Myc. especies
H.A.B.	Acetob. + o-acetob. facultativas. Especificidad no determinada
S.R.B.	Diferencia. Diferencia

Observaciones:

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: Y-4 - El MORRILLO
 FECHA: 10.12.98

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	-	-	-	-	-	-	8								
SLYM	-	-	-	1	-	-	4								
H.A.B.	-	4	-	-	-	-	-	-	1						
S.R.B.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1					

Recuentos:

Medio:	Totales	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	120				
R. y S.	260				
S.R.B.	> 110				
Gallion.					
BART		≈ 100	< 100		≈ 100

Conclusiones:

I.R.B.	+ Anisobios. Poderoso.
SLYM	Fuerza con densos. Diversos. Poderoso.
H.A.B.	+ Anisobios facultativos. Poderoso.
S.R.B.	de propiedad

Observaciones:

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: Y-5 — CABEZA DE HIERRO
 FECHA: 10.12.98

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	—	—	—	6											
SLYM	—	—	4	—											
H.A.B.	—	4	—	—											
S.R.B.	—	—	—	—	4										

Recuentos:

Medio:	Totales	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	11.000				
R. y S.	3.200				
S.R.B.	> 110				
Gallion.					
BART		> 1.000	5.000		1.000

Conclusiones:

I.R.B.	Dominio de Citrobacter, Agresivos
SLYM	Diversos. Agresivos
H.A.B.	+ bacterias facultativas, Agresividad Moderada
S.R.B.	De profundidad

Observaciones:

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: Y.6 — SARDISTANIA
 FECHA: 10.12.98

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	-	-	-	-	-	-	-	-	-6						
SLYM	-	1													
H.A.B.	-	1													
S.R.B.	-	-	-	-	1	-	-	-	3						

Recuentos:

Medio:	Totales	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	2.200				
R. y S.	5.800				
S.R.B.	10				
Gallion.					
BART		>1.000	10.000		100

Conclusiones:

I.R.B.	Densidad de Citrobacter freundii
SLYM	Densidad. Negativo.
H.A.B.	Pruebas serológicas
S.R.B.	Cantidad de virus. Negativo.

Observaciones:

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: Y-7 — FONT SAINT MARCI'S "C/ San Mateo"
 FECHA: 10.12.98
 Font

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SLYM	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—
H.A.B.	—	—	—	—	—	—	—	—	2	—	—	—	—	—	—
S.R.B.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4

Recuentos:

Medio:	Totales	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	—	—	—	—	—
R. y S.	—	—	—	—	—
S.R.B.	—	—	—	—	—
Gallion.	—	—	—	—	—
BART	—	—	<10	—	—

Conclusiones:

I.R.B.	No detectado
SLYM	Pocos. Niveles residuales
H.A.B.	Algunas aerobias. Niveles mínimos
S.R.B.	Unas aerobias no S.R.B. o d. var.

Observaciones:

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: Y.P. — FOUNT LA MINA *Calles 14 y 15*
 FECHA: 10.12.98

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
S.L.Y.M.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
H.A.B.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
S.R.B.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Recuentos:

Medio:	Totales	I.R.B.	S.L.Y.M.	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	—				
R. y S.	—				
S.R.B.	—				
Gallion.					
BART					

Conclusiones:

I.R.B.	No detectado
S.L.Y.M.	No detectado
H.A.B.	No detectado
S.R.B.	No detectado

Observaciones:

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: Y-9 — FONT PICANT BEL-LOC
 FECHA: 10.12.98

10-12-98

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SLYM	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
H.A.B.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
S.R.B.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Recuentos:

Medio:	Totales	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	30				
R. y S.	98				
S.R.B.	—				
Gallion.					
BART		—	—		—

Conclusiones:

I.R.B.	No detectado
SLYM	No detectado
H.A.B.	No detectado
S.R.B.	No detectado

Observaciones:

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: 7-10 — FORT DEL PENEDÉS Fructos.
 FECHA: 10.12.98

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
S.L.Y.M.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4	—	—	—	—	—
H.A.B.	—	—	—	—	—	—	—	—	4	—	—	—	—	—	—
S.R.B.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Recuentos:

Medio:	Totales	I.R.B.	S.L.Y.M.	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	—	—	—	—	—
R. y S.	—	—	—	—	—
S.R.B.	—	—	—	—	—
Gallion.	—	—	—	—	—
BART	—	—	<10	—	—

Conclusiones:

I.R.B.	No detectado
S.L.Y.M.	Densos. Niveles de fondo (mínimo)
H.A.B.	+ Anavaración facultativa muy poco agria
S.R.B.	No detectado

Observaciones:

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: Y-11 — FOUNT DE LA PALMORA Piedras
 FECHA: 10.12.98

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SLYM	—	—	—	—	2?	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
H.A.B.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
S.R.B.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4	—

Recuentos:

Medio:	Totales	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	80				
R. y S.	80				
S.R.B.	—				
Gallion.					
BART		—	<100		—

Conclusiones:

I.R.B.	No detectado
SLYM	"Proteus vulgaris"
H.A.B.	No detectado
S.R.B.	No detectos S.R.B. — Anuncios

Observaciones:

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: Y-12 — SAINT GREGORY
 FECHA: 10.12.98

Fac. No.

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
IR.B.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SLYM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H.A.B.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
S.R.B.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Recuentos:

Medio:	Totales	IR.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	100				
R. y S.	120				
S.R.B.	-				
Gallion.					
BART		-	-		-

Conclusiones:

IR.B.	de de de de
SLYM	de de de de
H.A.B.	+ An overabundant population of small bugs.
S.R.B.	de de de de

Observaciones:

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: Y-13 — COROMINES
 FECHA: 10.12.98

Fruta.

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SLYM	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
H.A.B.	—	—	—	—	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
S.R.B.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4	—	—	—	—	—

Recuentos:

Medio:	Totales	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	—	—	—	—	—
R. y S.	—	—	—	—	—
S.R.B.	—	—	—	—	—
Gallion.	—	—	—	—	—
BART	—	—	<100	—	—

Conclusiones:

I.R.B.	No detectado
SLYM	Formación de esporas. Virulencia moderada
H.A.B.	Flora aerobia.
S.R.B.	No S.R.B. activos

Observaciones:

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: Y-14 — AMER
 FECHA: 10.12.98

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5	—	—	6		
SLYM	—	1													
H.A.B.	—	—	—	—	1										
S.R.B.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4	

Recuentos:

Medio:	Totales	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	—				
R. y S.	—				
S.R.B.	—				
Gallion.					
BART		< 100	10.000		—

Conclusiones:

I.R.B.	Creación + enterobacterias (G. faecalis)
SLYM	Dewar. Negativo.
H.A.B.	+ Creación facultativa.
S.R.B.	No SRB. activo.

Observaciones:

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: GP. A (B-01002)
FECHA: 23 03.99

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
SLYM	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	
H.A.B.	-	1													
S.R.B.	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	3				

Recuentos:

Medio:	Totales	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	<500				
R. y S.	76				
S.R.B.	>110				
Gallion.					
BART		<100	10.000		<1000

Conclusiones:

I.R.B.	IPB aerobios con oxidación anaerobios. Poco agresivos
SLYM	Diversos exopolímeros. Les + problemáticos
H.A.B.	Aerobios y anaerobios facultativos. Agresividad $\frac{1}{2}$
S.R.B.	Diversos, a asociada con aerobios.

Observaciones:

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: AP 2 (B-01026)
 FECHA: 23-03-99

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5				
SLYM	1														
H.A.B.	-	-	-	-	1										
S.R.B.	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	1

Recuentos:

Medio:	Totales	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	3.800				
R. y S.	15.100				
S.R.B.	7				
Gallion.					
BART		≈ 100	100.000		< 100

Conclusiones:

I.R.B.	Abundancia en aerobias mesófilas. Poco importante
SLYM	Hay algunas formas de esporulantes
H.A.B.	Niveles bajos.
S.R.B.	Abundancia a general en algún SRB

Observaciones:

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: L.P.-3 (B-03002)
 FECHA: 28.03.99

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SLYM	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H.A.B.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S.R.B.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Recuentos:

Medio:	Totales	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	2300				
R. y S.	310				
S.R.B.	7				
Gallion.					
BART		—	≈ 100	—	—

Conclusiones:

I.R.B.	No detectadas
SLYM	Fermentación de exopolis. densos. Opacidad 1/2
H.A.B.	No detectadas
S.R.B.	No detectadas

Observaciones:

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: AF-4 (B-09006)
 FECHA: 23.03.99

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	6				
SLYM	-	-	1												
H.A.B.	-	-	-	-	2										
S.R.B.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4				

Recuentos:

Medio:	Totales	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	3.080				
R. y S.	15.100				
S.R.B.	50				
Gallion.					
BART		≤ 1.000	> 10.000		—

Conclusiones:

I.R.B.	IPB + enteropatógenas + pocas aerobias Opacidad mejorada.
SLYM	"Densos". Opacidad media
H.A.B.	Sin aerobias. Poco impudible.
S.R.B.	No SPB Azules

Observaciones:

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: AP. S (B-06008)
 FECHA: 23.03.99

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	-	-	-	-	-	-	-	5							
SLYM	-	4													
H.A.B.	-	1													
S.R.B.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	3			

Recuentos:

Medio:	Totales	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	3.900				
R. y S.	13.600				
S.R.B.	110				
Gallion.					
BART		≥ 1.000	> 10.000		1.000

Conclusiones:

I.R.B.	Abundancia en aerobios, de muy agresivos.
SLYM	Exoptera deudos, de muy agresivos.
H.A.B.	Abundancia y microbios facultativos.
S.R.B.	SRB diversos asociados a aerobios, agresividad moderada.

Observaciones:

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: CC - 4
FECHA: 18.05.99

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	4			
SLYM	-	-	-	-	-	1									
H.A.B.	-	1													
S.R.B.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	3

Recuentos:

Medio:	Totales	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	34.000				
R. y S.	616				
S.R.B.	213				
Gallion.					
BART		<1.000	100		<10

Conclusiones:

I.R.B.	Dimensiones profundas + 10B aerobias
SLYM	Exo putrefactores densos
H.A.B.	Aerobias + anaerobias facultativas.
S.R.B.	Diversos S.R.B.

Observaciones: Depues vi:do d muestra de en todo los aspectos.

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: CC-2
 FECHA: 18.05.99

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	-	-	-	-	-	-	-	5							
SLYM	-	-	-	4				6							
H.A.B.	-	1													
S.R.B.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	3	

Recuentos:

Medio:	Totales	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	21.700				
R. y S.	2.210				
S.R.B.	0,7				
Gallion.					
BART		1.000	10.000		< 10

Conclusiones:

I.R.B.	IRB + amebosis profunda
SLYM	Protoplastos + putrefaccións. (producción de H ₂ S)
H.A.B.	Acrobias + amebosis facultativas
S.R.B.	SRB diversos.

Observaciones:

Oportunidad de sustrato u biogás.

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: CC-3
 FECHA: 18.05.99

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	4	-
S.L.Y.M.	-	-	+	1											
H.A.B.	-	1													
S.R.B.	-	-	-	2	3										

Recuentos:

Medio:	Totales	I.R.B.	S.L.Y.M.	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	1.160				
R. y S.	-				
S.R.B.	2.116				
Gallion.					
BART		< 10	100		< 1.000

Conclusiones:

I.R.B.	Fenómenos de coagulación + IRB diversa
S.L.Y.M.	Exopolímeros diversos.
H.A.B.	horobios + anoxobios / sulfurosos
S.R.B.	S.R.B. diversos.

Observaciones:

Principal problema: - Exopolímeros
 - S.R.B.

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: M.M.
FECHA: 02.07.99

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	-	-	-	5	-	-	4								
S.L.Y.M.	-	8													
H.A.B.	-	2													
S.R.B.	-	-	-	1		3									

x → negro fondo + burbujas

Recuentos:

Medio:	Totales	I.R.B.	S.L.Y.M.	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	6300				
R. y S.	4100				
S.R.B.	21				
Gallion.					
BART		<10.000	10.000		100

Conclusiones:

I.R.B.	fp. Buds. aerobios → <i>Beutelia</i> x / <i>Sphaerotilus</i> Proncha aerobios.
S.L.Y.M.	Pseudo, par. h. t. x Pseudomonas.
H.A.B.	sin aerobios típicos.
S.R.B.	SRB activos y diversos. Aerobios.

Observaciones:

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: M. 2.-0
 FECHA: 02.07.99

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	-	5				4	9								
SLYM	-	-	-	-	-	-	1			500		6			
H.A.B.	1														
S.R.B.	-	-	-	-	2			3							

Recuentos:

Medio:	Totales	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	7.290				
R. y S.	1.980				
S.R.B.	> 110				
Gallion.					
BART		1.000	< 100		1.000

Conclusiones:

I.R.B.	Dominadas x <i>Bacillus</i> / <i>Sphaerotilus</i>
SLYM	Poco abundante y diversas. Signa de contaminación.
H.A.B.	Aerobias y anaerobias facultativas.
S.R.B.	Poco activa. Asociadas a aerobias.

Observaciones:

Reactivos HAB y SLYM del todo signo de contaminación.

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: M.2.-20
 FECHA: 07.07.99

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	-	5				4									
SLYM	-	-	-	-	-	-	1								
H.A.B.	-	-	1												
S.R.B.	-	-	-	-	-	-	2		3						

Recuentos:

Medio:	Totales	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	1.280				
R. y S.	1.060				
S.R.B.	>110				
Gallion.					
BART		1.000	<100		500

Conclusiones:

I.R.B.

SLYM *Desaparición de Pseudomonas.*

H.A.B.

S.R.B.

Observaciones:

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: M.2. - 50
FECHA: 07.07.99

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	-	5					4								
SLYM	-	-	-	-	-	-	-	1							
H.A.B.	1														
S.R.B.	-	-	-	-	2	-	-	3							

Recuentos:

Medio:	Totales	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	340				
R. y S.	710				
S.R.B.	>110				
Gallion.					
BART		1.000	<100		1.000

Conclusiones:

I.R.B.

SLYM

H.A.B.

S.R.B.

Observaciones:

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: M.2. -100

FECHA: 02.07.99

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	-	5	-	-	-	4	-	-	1						
SLYM	-	-	-	-	-	-	-	1							
H.A.B.	-	-	1	-	-	-	-	-							
S.R.B.	-	-	-	-	-	2	-	-	3						

Recuentos:

Medio:	Totales	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	620				
R. y S.	860				
S.R.B.	110				
Gallion.					
BART		1.000	<100		1.000

Conclusiones:

I.R.B.

SLYM

H.A.B.

S.R.B.

Observaciones:

FICHA DE DATOS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA: AL
FECHA: 09.07.99

Datos BART:

Días:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.R.B.	-	-	-	-	3		4								
SLYM	-	-	5												
H.A.B.	↓														
S.R.B.	-	↓	3												

Recuentos:

Medio:	Totales	I.R.B.	SLYM	H.A.B.	S.R.B.
T.S.A.	146×10^3				
R. y S.	102×10^3				
S.R.B.	>110				
Gallion.					
BART		>10.000	100.000		≈5.000

Conclusiones:

I.R.B. Asociados a eubacterias.

SLYM Dominio de Pseudomonas

H.A.B. Aerobios + anaerobios facultativos. Fermentos Pobls.

S.R.B. SRB de diverso tipo e abundancia.

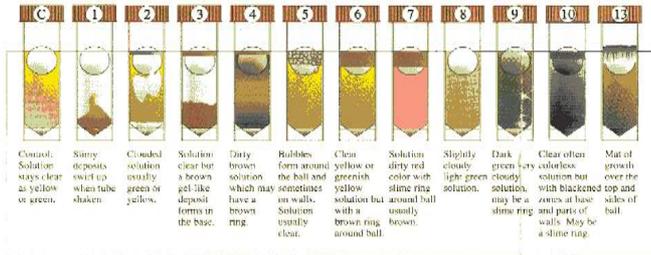
Observaciones: Signa de putrefacción ("Eubacterias.")

ANEXO 5:
Modelo colorimétrico del test B.A.R.T.™

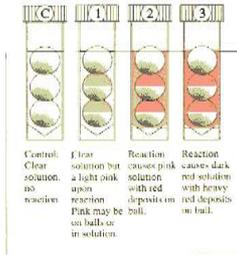
BART

Biological Activity Reaction Tests Reaction Comparator Chart

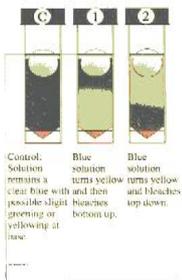
Iron-Related Bacteria (IRB)



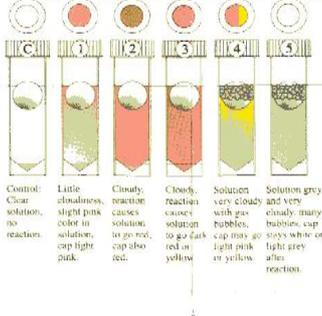
Nitrifying Bacteria (N)



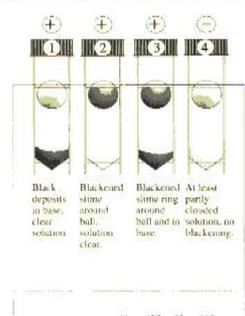
Total Aerobic Bacteria (TAB)



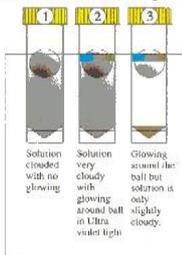
Denitrifying Bacteria (DN)



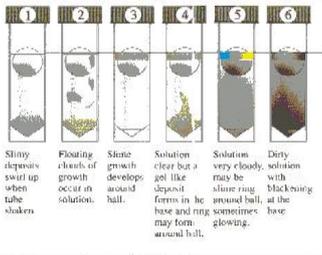
Sulphate-Reducing Bacteria (SRB)



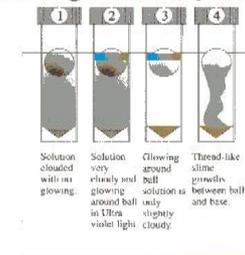
Fluorescing Pseudomonads (FLOR)



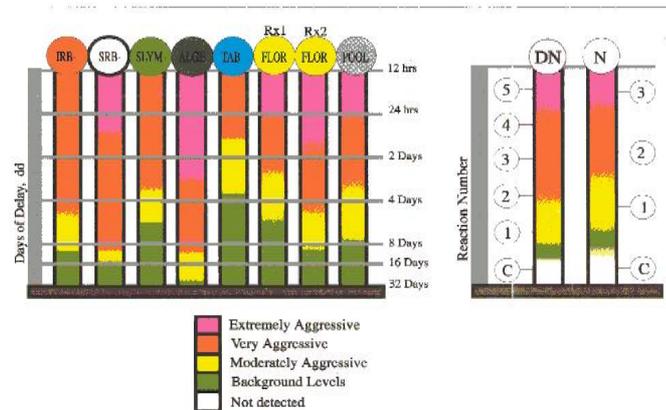
Slime-Forming Bacteria (SLYM)



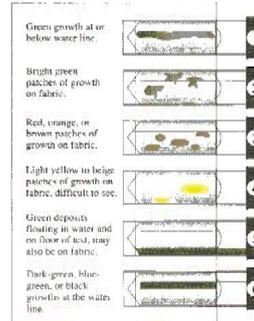
Pool and Hot-Tub Fouling Bacteria (POOL)



BART Aggressivity Chart



Micro-Algae (ALGE)



Made In Canada.

PRINTED IN CANADA copyright ©, 1996 DBI

The charts and interpretations are based upon the best available information at the time of publication and are subjected to change in light of future findings. All data so generated should be subjected to confirmation using the approved standard methods for the bacteria of concern.

Drexler Bioproducts Inc.

ANEXO 6: Fotografías

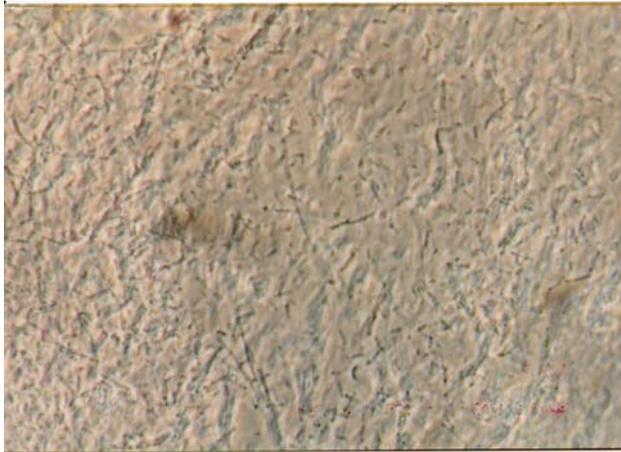


Foto 1.- Bacterias filamentosas (grupo *Leptothrix/Sphaerotilus*) en microscopía de **contraste de fases**

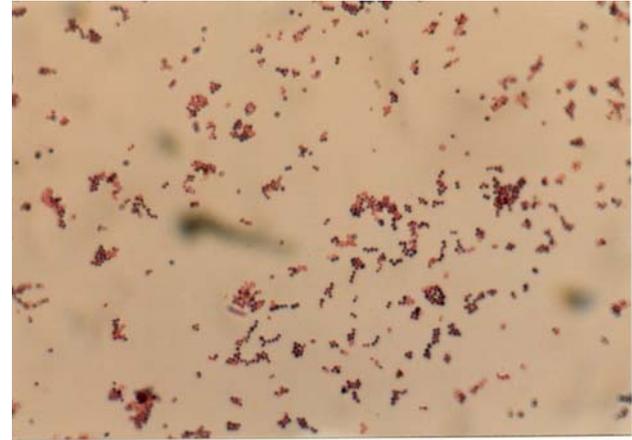


Foto 2.- Cocos en **tinción de Gram**

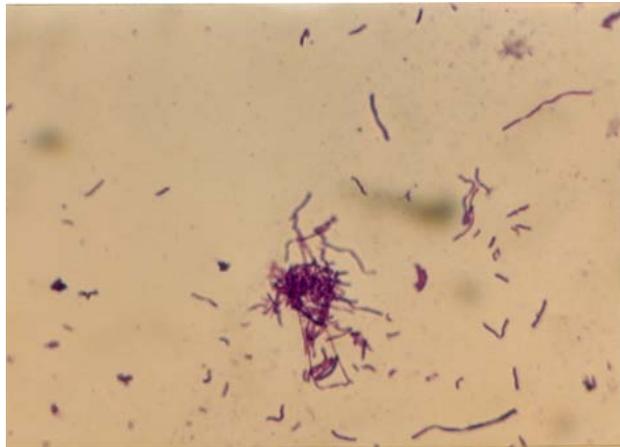


Foto 3.- Bacterias filamentosas en **tinción para vainas**

1
H

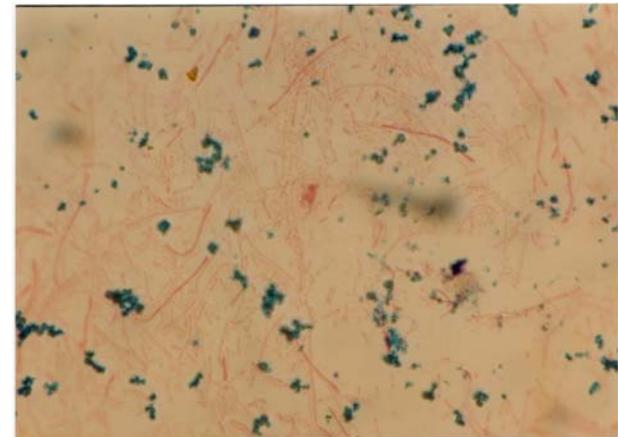


Foto 4.- Bacterias filamentosas en **tinción de Meyers**



Foto 5.- Colonias blancas: *bacillos*



Foto 6.- Colonias marrones: *cocos*



Foto 7.- Colonias negras: *ferrobacterias*



Foto 8.- Reacciones colorimétricas de los tests B.A.R.T.



Foto 9.- Tuberías de pozos en diferentes estados de incrustación (foto *Tragsatec*)

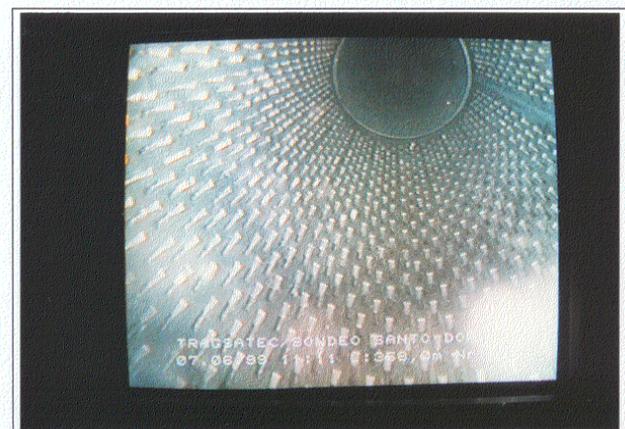


Foto 10.- Imagen de un rejilla (filtro *Johnson*) en perfecto estado de conservación (foto *Tragsatec*)

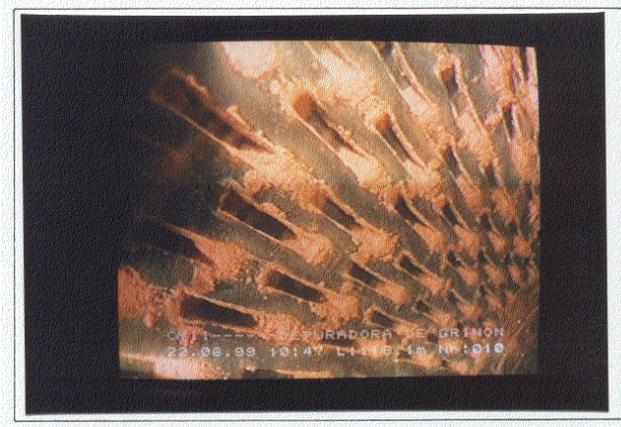


Foto 11.- Inicio de incrustación en una rejilla de tipo *puentecillo* (foto *Tragsatec*)

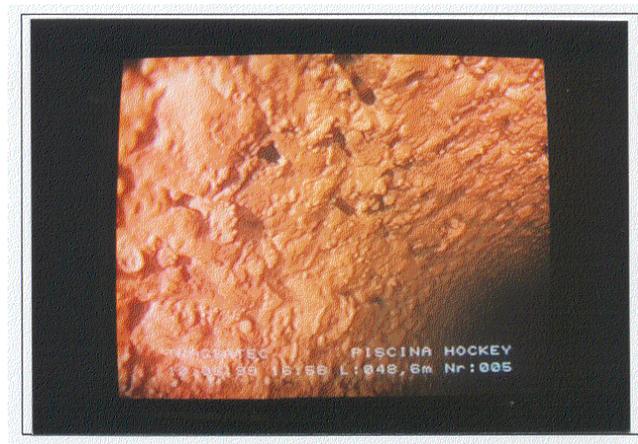


Foto 12.- Rejilla obturada casi por completo. Obsérvese la reducción de los poros filtrantes (foto *Tragsatec*)

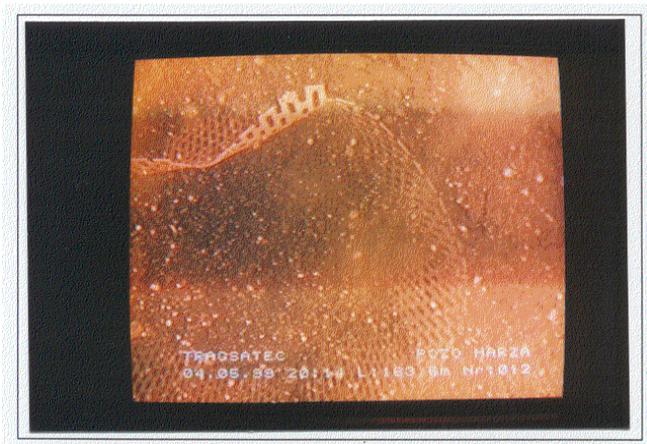


Foto 13.- Efecto de la corrosión sobre un tramo filtrante (foto *Tragsatec*)

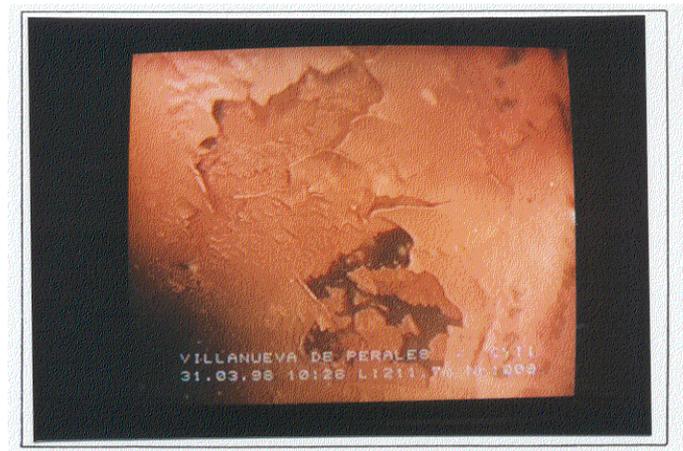


Foto 14.- Efecto de la corrosión sobre tubería ciega (foto *Tragsatec*)

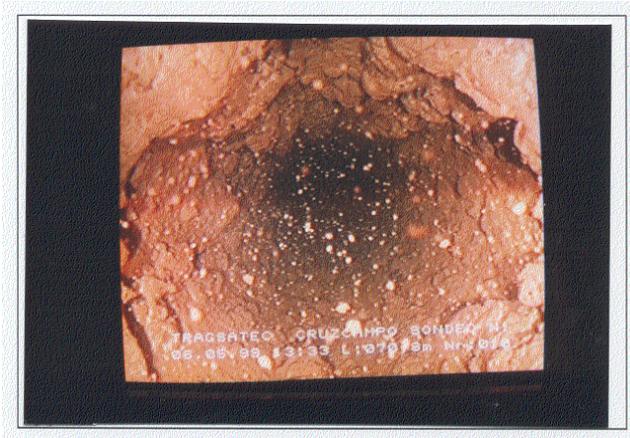


Foto 15.- Pozo con gran desarrollo de incrustaciones. Mineralogía de *hematites* (foto *Tragsatec*)

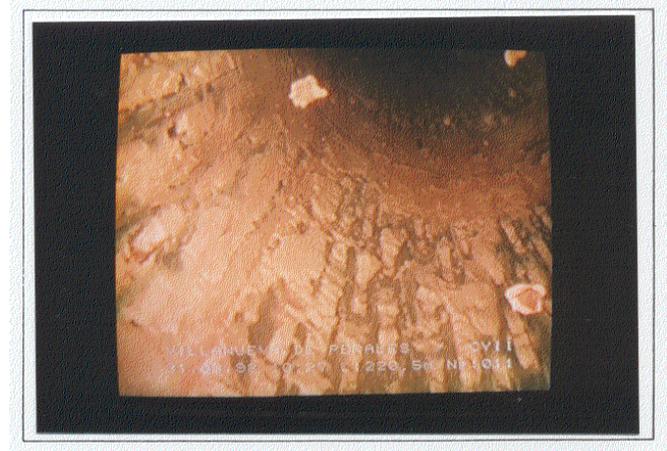


Foto 16.- Incrustaciones blanquecinas. Mineralogías calcáreas (foto *Tragsatec*)

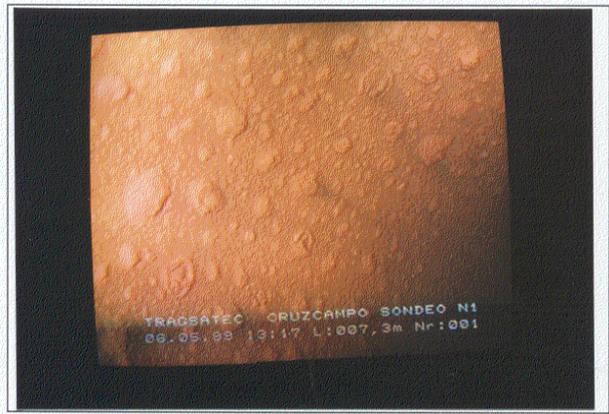


Foto 17.- Nódulos ferruginosos. Mineralogía de *hematites* predominante (foto *Tragsatec*)



Foto 18.- Nódulos oscuros. Mineralogía predominante de *goethita* (foto *Tragsatec*)

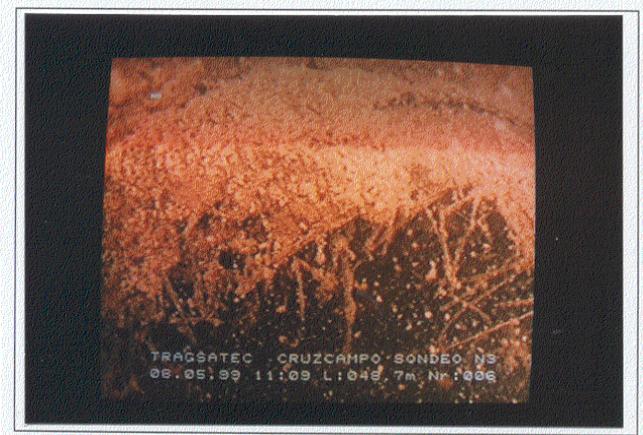


Foto 19.- "Chorreras" ferruginosas. Son concreciones filamentosas débilmente fijadas al entubado (foto *Tragsatec*)

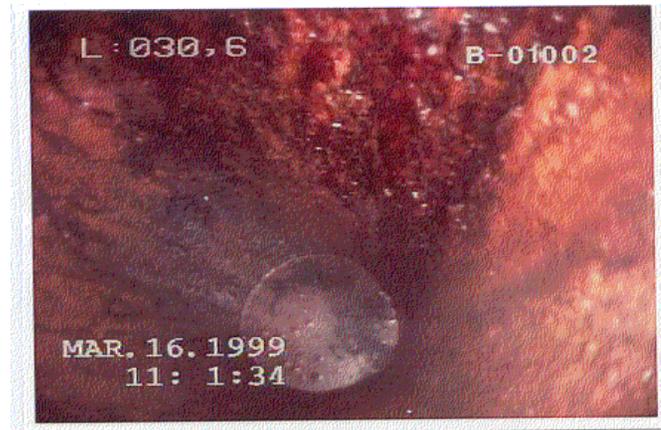


Foto 20.- Colmatación del fondo del sondeo por caída de depósitos procedentes de las zonas superiores (foto *Tragsatec*)