

ÍNDICE

1. ANTECEDENTES	2
2. EQUIPO DE TRABAJO	3
3. METODOLOGÍA	5
4. ESQUEMA DE LA METODOLOGÍA	14
5. ISÓTOPOS AMBIENTALES	15
6. INTERPRETACIÓN DE LOS ANÁLISIS DE GASES	23
7. TÉCNICAS GEOFÍSICAS (Tomografía Eléctrica)	28
8. CONSIDERACIONES GENERALES	29
BIBLIOGRAFÍA	31

ANEXO I: FICHAS DE LOS PUNTOS ESTUDIADOS

ANEXO II: ESTUDIO DE APLICACIONES TERAPÉUTICAS

ANEXO III: TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA

1. ANTECEDENTES

Dentro del Convenio Marco de Asistencia Técnica firmado, entre el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y el Principado de Asturias, en fecha 25 de mayo de 1983 y actualmente en vigor, se regula de forma general la colaboración entre ambas instituciones y se contempla la realización de trabajos, previa suscripción del oportuno convenio técnico-económico específico.

El IGME, en el año 1996, al amparo del antedicho Convenio Marco, realizó para el Principado de Asturias un trabajo titulado *“Estudio y evaluación del estado actual de las aguas minero-medicinales, termales y de bebida envasadas. Reconocimientos hidrológicos detallados”*. Actualmente, el Gobierno del Principado de Asturias a través de su Consejería de Industria y Empleo, ha encomendado nuevamente al I.G.M.E. la realización del Proyecto: *“Estudio del potencial de aguas minerales y termales del Principado de Asturias”*, mediante un convenio específico suscrito en fecha de 26 de junio de 2000.

La primera fase de este Proyecto se encuentra finalizada y, en el año 2001, se hizo entrega del Informe Final correspondiente a dicha Consejería.

El presente informe final recoge la investigación realizada correspondiente a la segunda y tercera fases del citado Proyecto.

2. EQUIPO DE TRABAJO

En la realización de la investigación y elaboración del presente informe ha intervenido el equipo de trabajo que se relaciona a continuación:

Por parte del IGME:

- Jefe de Proyecto:

Arquer Prendes-Pando, Francisco

- Trabajos de campo y redacción de la Memoria:

Meléndez Asensio, Mónica

Nuño Ortea, César

Rebollar Quirós, Antonio

- Procesado de texto y otros trabajos informáticos:

Suárez Fernández, María Josefa

- Apoyo en trabajos de campo:

Rodríguez Losada, Juan

- Análisis químicos:

Laboratorios del I.G.M.E - Tres Cantos (Madrid)

- Asesoramiento y revisión en el capítulo “Isótopos ambientales”:

Araguás Araguás, Luis

Colaboraciones externas:

- Análisis bacteriológicos:

Oficina Técnica del Agua (Oviedo)

ANAQUA (Oviedo)

- Análisis isotópicos:

Tritio: Laboratorio de Hidrología Isotópica. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX, Madrid)

Oxígeno-18 y Deuterio: Laboratorio de Isótopos Estables. SIDI. Universidad Autónoma de Madrid

Carbono-14: Poznan Radiocarbon Laboratory. Foundation of the Adam Mickiewicz University (Polonia)

- Análisis de gases:

Toma de muestras: Tecnología y Recursos de la Tierra (TRT)

- Aplicaciones terapéuticas de las aguas:

San Martín Bacaicoa, Josefina. Departamento de Medicina Física y de Rehabilitación. Hidrología Médica. F. de Medicina. U. C. Madrid

- Técnica Geofísica: Método de Tomografía eléctrica:

International Geophysical Technology (IGT, Madrid)

Agradecimientos

- Al técnico de la Oficina de Proyectos del I.G.M.E. en Oviedo, D. *Miguel Luis Rodríguez González*, por su colaboración y apoyo en la revisión del texto.

- A los técnicos de la Dirección de Hidrogeología y Aguas Subterráneas del I.G.M.E. en Madrid, D. *Miguel del Pozo Gómez* y D. *Celestino García de la Noceda*, por su colaboración y apoyo.

- Al Dr. D. *Enrique Campón Fernández* por su apoyo y consejos en múltiples aspectos hidroquímicos.

- A D. *Lorenzo Sánchez Moreno* y D. *Antonio Garraón Lafuente* (CIEMAT) por la orientación y comentarios realizados referentes a la interpretación de los análisis de gases.

3. METODOLOGÍA

SEGUNDA FASE

Selección de puntos

A partir de los 156 puntos estudiados en la primera fase de este proyecto, se procedió a la selección de aquellos que presentaban mejores posibilidades de cumplir con los objetivos de este estudio, de acuerdo con sus características (Tabla 1).

Tabla 1.- Puntos seleccionados. Segunda Fase

Número	Término Municipal	Denominación	Posible aplicación
9	Tapia de Casariego	Fuente del Figo	Terapéutica
11	El Franco	Manantial Fte. de Las Virtudes	Terapéutica
22	Allande	Balneario del Puelo	Terapéutica
26	Valdés	Fuente de Bao	Aguas envasadas
33	Cangas de Narcea	Manantial Fonte del Fierro	Terapéutica
40	Salas	Fuente Vallina	Aguas envasadas
46	Grado	Fuente de Foncaliente	Aguas envasadas, termal
48	Grado	Manantial Fuente de Las Xanas	Aguas envasadas
52	Teverga	Fuente Calda	Aguas envasadas
58	Las Regueras	Manantial La Foncaliente	Aguas envasadas
60	Corvera	Fuente de Fuentecaliente	Terapéutica, aguas envasadas
62	Llanera	Fuentecaliente	Aguas envasadas
63	Llanera	Sondeo surgente	Aguas envasadas
68	Oviedo	Fuente de Los Tres Caños	Aguas envasadas, termal
80	Lena	Fuente de La Salud	Terapéutica
83	Gozón	Fuente de San Jorge	Aguas envasadas
86	Gijón	Fuente de Tueya	Aguas envasadas
88	Gijón	La Fuentona de Quintana	Aguas envasadas
90	Siero	Fuente El Fresno	Terapéutica
94	Langreo	Fuente de Los Huevos Podres	Terapéutica
104	Villaviciosa	Manantial Fuente de Rocés	Aguas envasadas
105	Villaviciosa	Manantial Fuente Grasés	Terapéutica
106	Villaviciosa	Fuente Tevía	Terapéutica, termal
108	Villaviciosa	El Salmorial	Aguas minero-industriales
112	Sariego	Manantial Pozo Salau	Aguas minero-industriales
118	Colunga	Fuente Menán	Terapéutica
119	Piloña	Manantial La Rasa	Terapéutica
120	Piloña	Balneario de Fresnosa	Terapéutica
123	Piloña	Manantial de Cardes	Aguas envasadas
129	Caso	Manantial de Puente Coberas	Aguas envasadas
131	Parres	Manantial Fuente Blanca	Aguas envasadas
137	Ribadesella	Fuente de Calabrez	Aguas envasadas
139	Cangas de Onís	Manantial de Tornín	Aguas envasadas, termal
141	Cangas de Onís	Fuente El Pedrero	Aguas envasadas
143	Cangas de Onís	Manantial de Santianes de Ola	Aguas envasadas, termal
146	Llanes	Manantial Fte. de Sobrecueva	Aguas envasadas
150	Llanes	Fuente La Zorera	Aguas envasadas
154	Ribadedeva	Balneario de Andinas	Terapéutica, termal
156	Peñamellera Baja	Manantial de Puente Llés	Terapéutica, termal

Los principales criterios empleados para esta selección han sido los siguientes:

- Datos de campo
- Química convencional
- Posibilidades de aprovechamiento

Los 40 puntos seleccionados en la fase anterior han quedado reducidos a 39 como consecuencia de la desaparición de una surgencia, la nº 101, Fuente del Cufurcu, Aller, por las obras de remodelación de una carretera comarcal.

Trabajos de campo

Durante esta segunda fase del trabajo se visitó cada una de las surgencias, recogiendo información más detallada sobre las características geológicas e hidrogeológicas de la zona y todos aquellos datos significativos que tuvieran relación con las propiedades del agua, tales como aspecto, caudal, comportamiento del manantial o respuesta en períodos de lluvia/estiaje, etc. Igualmente, se procuró obtener información directa de los usuarios y lugareños, siempre que ello fue posible.

En algunos puntos se realizaron labores destinadas a la mejora en la observación del punto de surgencia (limpieza del entorno, acondicionamiento de la captación, pequeños bombeos en pozos, etc.).

Se midieron “in situ”, nuevamente, los siguientes parámetros: caudal, pH, conductividad eléctrica, temperatura del agua y temperatura ambiental.

En todos los puntos de agua se tomaron muestras para la realización de análisis químicos, análisis bacteriológicos y determinaciones sobre isótopos ambientales (oxígeno-18, deuterio y tritio).

Estudio de las aguas desde el punto de vista de su interés terapéutico

Continuando con el trabajo realizado en la fase anterior, en los 39 puntos incluidos en esta segunda fase se profundizó en el estudio sobre las posibles aplicaciones terapéuticas del agua, que fue llevado a cabo por el *Departamento de Medicina Física y de Rehabilitación de Hidrología Médica*, de la Facultad de Medicina de la Universidad Complutense de Madrid y, más concretamente, por la catedrática de Hidrología Médica de la citada Facultad D^a Josefina San Martín Bacaicoa, figurando la documentación correspondiente en el Anexo II.

Elaboración de un mapa de litologías según tipos de aguas definidos






A partir del plano geológico realizado en la anterior fase del Proyecto, y de acuerdo con los tipos de agua definidos en el documento Memoria de la misma, se ha elaborado un mapa de litologías en el que se establecen cinco grupos (Mapa 1). Cada uno de estos grupos contiene todos aquellos materiales que confieren una composición química similar a las aguas que circulan a través de los mismos. En dicho mapa se han situado los 39 puntos de agua estudiados en esta fase.

Estudio de la información: elaboración de fichas

Con la información obtenida se elaboró, para cada uno de los puntos, una ficha (Anexo I) que consta de ocho páginas y recoge los siguientes aspectos:

La primera página contiene la información descriptiva agrupada en los siguientes epígrafes: *Identificación*, *Localización*, *Estado actual y aprovechamiento* y *Antecedentes históricos*.

En la página siguiente figura un esquema de situación de la zona del entorno del punto, realizado a partir de la cartografía digital a escala 1:10.000 editada por el Principado de Asturias. Los puntos se representan en distintos colores según su temperatura (azul: < 12 °C; siena: entre 12 y 16 °C y rojo: >16 °C) y con distintos símbolos en función de si se dispone o no de obra de captación y, en su caso, de la naturaleza de la misma.

	<i>Manantial (sin captar)</i>
	<i>Pozo</i>
	<i>Sondeo surgente</i>
	<i>Galería</i>
	<i>Fuente (manantial provisto de obra de captación)</i>

En la tercera página se incluye un esquema interpretativo de la geología del entorno del punto, sobre foto aérea a escala 1:18.000, aproximadamente.

Con el fin de comparar los resultados obtenidos y para conocer la estabilidad química y físico-química del agua, en la página cuatro figuran los valores analíticos obtenidos en cada una de las fases de estudio, agrupados bajo los epígrafes: *Características físico-químicas* y *Análisis Químicos*. Además se ha incluido un nuevo epígrafe: *Análisis Isotópico*, en el que se recogen los valores de los isótopos analizados (oxígeno-18, deuterio y tritio).

En la caracterización hidroquímica (*Caracterización de las aguas*) se indican facies, mineralización y dureza, de acuerdo con los siguientes criterios (Hem, J. 1.970; Lloyd, J.W. y Heathcote, J.A. 1.985) :

Facies: se considera *facies predominante* aquella especie iónica que, expresada en tanto por ciento de meq/L, supera el 50% del contenido en aniones o cationes. *Facies secundaria* es aquella que supera el 25%.

Mineralización: se expresa a partir de la conductividad eléctrica del agua, de acuerdo con los siguientes rangos:

Conductividad eléctrica ($\mu\text{S/cm}$)	Mineralización
< 65	<i>Sin mineralización</i>
65 – 200	<i>Muy débil</i>
201 – 500	<i>Ligera</i>
501 – 2.000	<i>Notable</i>
> 2.000	<i>Fuerte</i>

Dureza: se determina mediante la siguiente expresión:

$$D(\text{mg/L CaCO}_3) = \left(\frac{\text{mg/L Ca}^{2+}}{40} + \frac{\text{mg/L Mg}^{2+}}{24} \right) \times 100$$

Los intervalos considerados son:

D (mg/L CaCO ₃)	Dureza
0 – 40	<i>Muy blanda</i>
41 – 120	<i>Blanda</i>
121 – 350	<i>Media</i>
351 – 650	<i>Dura</i>
> 650	<i>Muy dura</i>

La página cinco consta de cuatro epígrafes que hacen referencia a: *Análisis bacteriológico y especies nitrogenadas, Relaciones iónicas, Medidas de caudal y Características geológicas e hidrogeológicas*. En los tres primeros se recogen los datos correspondientes a las dos fases del estudio y en el último, un resumen sencillo sobre el modelo hidrogeológico.

Las relaciones antes mencionadas, entre los iones presentes en el agua, orientan sobre la naturaleza de los materiales a través de los cuales ha circulado. Los valores del contenido iónico están expresados en meq/L, y la correspondencia con los distintos materiales es la que se indica a continuación cuando el valor de dicha relación tiende a la unidad, excepción hecha para la intrusión marina, cuyo valor orientativo sobre su posible existencia oscila entre 15 y 55.

$\frac{rCO_3H^- + rCO_3^{2-}}{rCa^{2+}}$:	Terrenos calcáreos	$\frac{rSO_4^{2-}}{rCa^{2+} + rMg^{2+}}$:	Yesos marinos
$\frac{rCO_3H^- + rCO_3^{2-}}{rCa^{2+} + rMg^{2+}}$:	Terrenos dolomíticos	$\frac{rCO_3H^- + rCO_3^{2-} + rSO_4^{2-}}{rCa^{2+} + rMg^{2+}}$:	Margas
$\frac{rCl^-}{rNa^+}$:	Facies evaporíticas	$\frac{rCl^- + rSO_4^{2-}}{rCa^{2+} + rK^+ + rNa^+}$:	Margas y evaporitas
$\frac{rCl^-}{rNa^+ + rK^+}$:	Facies evaporíticas	$\frac{rMg^{2+}}{rCa^{2+}}$:	Dolomías
$\frac{rSO_4^{2-}}{rCa^{2+}}$:	Yesos continentales	$\frac{rCl^-}{rCO_3H^-}$:	Intrusión marina

La página siguiente contiene tres representaciones gráficas de los constituyentes mayoritarios de las aguas, con los datos de las distintas fases de estudio: *Gráfico de Piper*, *Gráfico de Stiff* y *Diagrama rectangular*. Este último consta de 6 parámetros (A-F), cuya expresión e interpretación (D'Amore et al, 1983) se resume:

$$A = \frac{100}{\Sigma(-)} (HCO_3^- - SO_4^{2-})$$

Discrimina entre aguas que han circulado en terrenos calcáreos y aguas que circularon en rocas evaporíticas

$$B: 100 \left(\frac{SO_4^{2-}}{\Sigma(-)} - \frac{Na^+}{\Sigma(+)} \right)$$

Discrimina entre aguas enriquecidas en sulfatos que han circulado en terrenos evaporíticos y aguas enriquecidas en sodio que atravesaron terrenos sedimentarios margoso-arcillosos

$$C: 100 \left(\frac{Na^+}{\Sigma(+)} - \frac{Cl^-}{\Sigma(-)} \right)$$

Diferencia aguas derivadas de terrenos volcánicos de otras provenientes de series evaporíticas carbonatadas o de un basamento regional cuarcítico esquistoso

$$D: 100 \left(\frac{Na^+ - Mg^{2+}}{\Sigma(+)} \right)$$

Particulariza aguas que han circulado en calizas dolomitizadas

$$E: 100 \left(\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{\Sigma(+)} - \frac{HCO_3^-}{\Sigma(-)} \right)$$

Distingue aguas que han circulado en formaciones carbonatadas de otras que lo hicieron en terrenos sulfatados

$$F: 100 \left(\frac{Ca^{2+} - Na^+ - K^+}{\Sigma(+)} \right)$$

Revela el incremento de la concentración de K^+ en las muestras de agua

Nota: $\Sigma(-)$ y $\Sigma(+)$ representan el sumatorio de aniones y cationes, respectivamente.

En la página siguiente figura un único epígrafe, *Consideraciones y Recomendaciones*.

La última página de la ficha contiene una o varias fotografías de cada una de las surgencias.

TERCERA FASE

Selección de puntos

Partiendo de los 39 puntos estudiados en la fase anterior se seleccionaron 18 puntos para la realización de un estudio más exhaustivo, atendiendo a los siguientes criterios de selección:

- datos de campo
- estabilidad química
- calidad química y bacteriológica
- aplicaciones terapéuticas
- datos isotópicos
- otras consideraciones

Los puntos seleccionados y su posible aplicación se recogen en la tabla 2:

Tabla 2.- Puntos seleccionados. Tercera Fase

Número	Término Municipal	Denominación	Posible aplicación
22	Allande	Balneario del Puelo	Terapéutica
26	Valdés	Fuente de Bao	Aguas envasadas
46	Grado	Fuente de Foncaliente	Aguas envasadas, termal
52	Teverga	Fuente Calda	Aguas envasadas
58	Las Regueras	Manantial La Foncaliente	Aguas envasadas
60	Corvera	Fuente de Fuentecaliente	Terapéutica, aguas envasadas
63	Llanera	Sondeo surgente	Aguas envasadas
83	Gozón	Fuente de San Jorge	Aguas envasadas
106	Villaviciosa	Fuente Tevía	Terapéutica, termal
108	Villaviciosa	El Salmorial	Aguas minero-industriales
112	Sariego	Manantial Pozo Salau	Aguas minero-industriales
120	Piloña	Balneario de Fresnosa	Terapéutica
123	Piloña	Manantial de Cardes	Aguas envasadas
131	Parres	Manantial Fuente Blanca	Aguas envasadas
139	Cangas de Onís	Manantial de Tornín	Aguas envasadas, termal
146	Llanes	Manantial Fte. de Sobrecueva	Aguas envasadas
154	Ribadedeva	Balneario de Andinas	Terapéutica, termal
156	Peñamellera Baja	Manantial de Puente Llés	Terapéutica, termal

Trabajos de campo

Durante la tercera fase del estudio se llevó a cabo la revisión de las características geológicas e hidrogeológicas de las surgencias y su entorno. Se repitieron medidas de parámetros “in situ” y análisis físico-químicos y bacteriológicos. En seis de ellas se tomaron muestras para una mejor datación mediante carbono-14, dado que en estas surgencias los valores obtenidos en la concentración de tritio eran muy bajos.

Análisis de gases

En ocho de los puntos estudiados se tomaron muestras para reconocimiento de presencia de gases. La empresa TRT fue la encargada de la realización de la toma de muestras y su envío a los laboratorios especializados.

Estudio geofísico

Al objeto de mejorar el conocimiento geológico e hidrogeológico de las surgencias estudiadas se ha realizado un estudio geofísico, mediante el método de Tomografía eléctrica, en aquellos puntos de los estudiados en los que este método podría ofrecer un mayor grado de conocimiento estructural.

A modo de resumen, en la Tabla 3 se recogen las actuaciones realizadas en los puntos estudiados en esta fase.

Estudio de la información: elaboración de fichas

La información obtenida en esta tercera fase fue incorporada a las fichas correspondientes de los puntos estudiados que fueron realizadas en la fase anterior, modificando ligeramente su formato para adaptarlas a la nueva información. En ella se recogen tanto los nuevos datos obtenidos como la interpretación de los mismos.

En el último epígrafe, *Consideraciones y Recomendaciones*, se contempla una valoración sobre el interés que presentan las aguas para las posibles aplicaciones (termales-terapéuticas, envasadas y minero-industriales), desde el punto de vista de su aprovechamiento industrial. Los once puntos que presentan mayores posibilidades para alguna de estas aplicaciones se recogen en el Mapa 2.

Tabla 3.- Actuaciones realizadas

APLICACIONES	DENOMINACIÓN	Tomografía eléctrica	Datación por Carbono-14	Análisis de gases
TERAPÉUTICAS y TERMALES	Nº 22. Balneario del Puelo (Allande)		X	X
	Nº 46. Fuente de Foncaliente (Grado)	X		
	Nº 63. Sondeo surgente (Llanera)		X	
	Nº 106. Fuente Tevía (Villaviciosa)	X	X	X
	Nº 120. Balneario de Fresnosa (Piloña)		X	X
	Nº 139. Manantial de Tornín (Cangas de Onís)	X		X
	Nº 154. Balneario Andinas (Ribadedeva)	X	X	X
	Nº 156. Manantial de Puente Llés (Peñamellera Baja)	X	X	X
ENVASADAS	Nº 26. Fuente de Bao (Valdés)	X		
	Nº 52. Fuente Calda (Tevera)	X		
	Nº 58. Manantial La Foncaliente (Las Regueras)			X
	Nº 60. Fuente de Fuentecaliente (Corvera)	X		X
	Nº 83. Fuente de San Jorge (Gozón)	X		
	Nº 123. Manantial de Cardes (Piloña)			
	Nº 131. Manantial Fuente Blanca (Parres)	X		
	Nº 146. Manantial de Fuente de Sobrecueva (Llanes)			
MINERO-INDUSTRIALES	Nº 108. El Salmorial (Villaviciosa)	X		
	Nº 112. Manantial Pozo Salau (Sariego)	X		

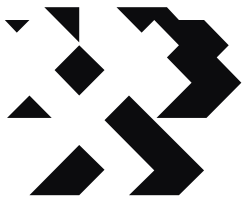
Estudios económicos de viabilidad

De los puntos anteriormente mencionados se han elegido cuatro, que se consideran en condiciones más favorables frente a su posible puesta en explotación, con el objeto de realizar un estudio económico que permita valorar la viabilidad de la misma. Estos puntos son los que se relacionan a continuación:

- Nº 26 – Fuente del Bao (Valdés) – Agua envasada.
- Nº 106 – Fuente Tevía (Villaviciosa) – Agua envasada.
- Nº 146 – Fuente de Sobrecueva (Llanes) – Agua envasada.
- Nº 154 – Balneario de Andinas (Ribadedeva) – Instalación balnearia.

4. ESQUEMA DE LA METODOLOGÍA

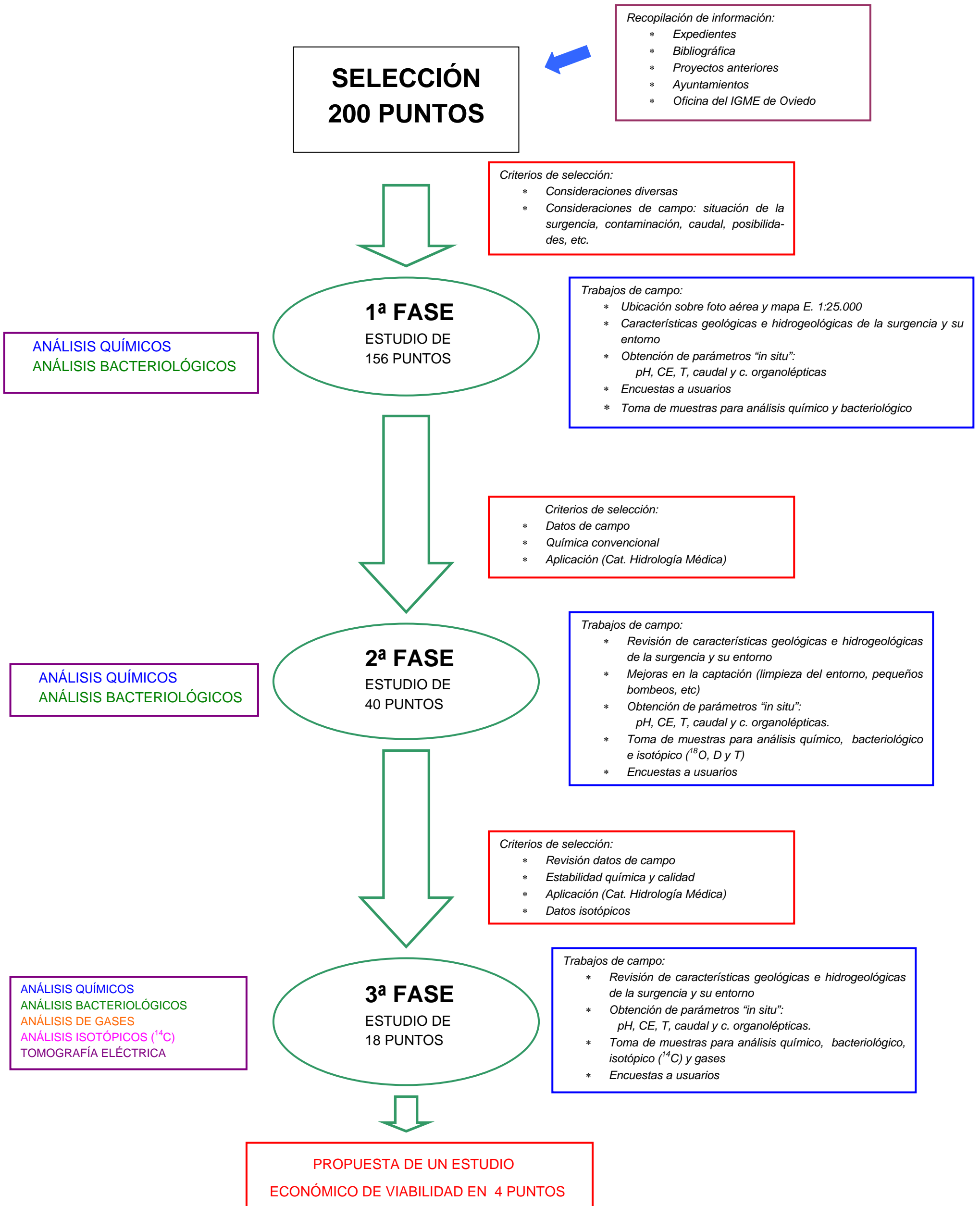
A modo de síntesis, en el esquema adjunto se recoge la metodología llevada a cabo para la realización de esta investigación.



ESTUDIO DEL POTENCIAL DE AGUAS MINERALES Y TERMALES DEL PRINCIPADO DE ASTURIAS



Mónica Meléndez Asensio, César Nuño Ortea y Antonio Rebollar



5. ISÓTOPOS AMBIENTALES

Introducción

Bajo el término “isótopos ambientales” se integran aquellos isótopos de los elementos que se encuentran en abundancia, de forma natural, en el medio ambiente, es decir, los isótopos de H, C, N, O y S (Clark, Ian D., Fritz, P., 1997). Desde el punto de vista hidrogeológico son útiles para determinar la procedencia del agua subterránea, así como los mecanismos de recarga, datación del agua y otros. En este estudio se han usado los isótopos radiogénicos del hidrógeno (tritio) y del carbono (carbono-14), y los isótopos estables oxígeno-18 y deuterio del oxígeno y del hidrógeno, respectivamente.

El **tritio** es un isótopo radiactivo con una vida media de 12,32 años (Lucas and Unterweger, 2000). Se expresa como concentración absoluta en Unidades de Tritio (UT), siendo la equivalencia: 1 UT= 3,19 $\mu\text{Ci}/\text{m}^3$ o bien, 0,118 Bq/L. En estudios hidrogeológicos este isótopo se utiliza habitualmente para la datación aproximada del agua.

La presencia de tritio en las precipitaciones es debida a:

- reacciones nucleares producidas en la alta atmósfera (tritio cosmogénico)
- explosiones termonucleares habidas entre 1952 y 1963
- otros orígenes

El tritio cosmogénico ha actuado permanentemente, mientras que las explosiones termonucleares, que tuvieron lugar entre los años 1952-1963, liberaron grandes cantidades de tritio a la atmósfera, elevando, por lo tanto, hasta 1.000 veces el valor de la concentración en las precipitaciones en dicha época. Las fuentes antropogénicas no afectan por igual a todo el hemisferio, como sí ocurre con las otras dos, y pueden ser importantes a escala regional (i.e. Suiza, Völkle, H. 2002).

Los valores de la concentración de tritio en la precipitación actual en la Cornisa Cantábrica oscilan entre 3 y 5 UT (la concentración de tritio ponderada con la cantidad de precipitación en Santander fue de 3,7 y 3,6 UT en los años 2000 y 2001 respectivamente, IAEA, 2001/2). Teniendo en cuenta el período de semidesintegración del tritio, aguas que se hayan infiltrado en los años 60 del pasado siglo, durante los cuales tuvieron lugar los valores máximos de concentración de tritio en la atmósfera, tendrían en la actualidad entre 12 y 15 UT.

De este modo se considera, para las aguas subterráneas en la zona de estudio, que:

- Valores del orden de 3 a 5 UT se asocian a aguas recientes.
- Valores entre 5 y 12 UT indican presencia de un componente de aguas infiltradas hace 40-50 años.
- Valores menores de 3 UT indican presencia de un componente antiguo, de más de 50 años.

El **carbono-14** es un isótopo radiactivo del carbono que se desintegra por emisión de partículas beta. Tiene un periodo de semidesintegración de 5.730 años. Este isótopo se genera de forma natural en la alta atmósfera por interacción de los neutrones liberados por la radiación cósmica con el nitrógeno-14. Cuando el carbono-14 queda aislado del ciclo biológico, como es el caso del agua subterránea, la actividad específica del carbono disminuye en función del tiempo según una ley exponencial que se conoce como "*ecuación de desintegración radiactiva*". Por lo tanto, si la muestra no se altera durante el período transcurrido desde su aislamiento hasta el momento de realizar la toma de la muestra, la "edad" del agua puede ser calculada a partir de dicha ecuación y de un patrón de carbono moderno. Sin embargo, en el caso del agua subterránea, durante la infiltración se incorpora carbono (carbono biogénico) procedente de la capa superficial del suelo. Además, debido a la disolución de los carbonatos existentes en el medio sólido (de formación muy antigua) se produce una transferencia al agua de carbono antiguo. Todo ello hace que sea necesario realizar una corrección para distinguir la fracción de carbono derivado de la atmósfera o de la respiración de las plantas y del carbono que procede de carbonatos presentes en el acuífero. Conviene destacar que existen numerosos métodos de corrección en la bibliografía y que la metodología habitual consiste en emplear varios de estos métodos para después obtener un valor medio que se interpreta como el orden de magnitud correspondiente a la antigüedad del agua.

Los valores del **oxígeno-18 y deuterio** se expresan como desviación isotópica respecto a un patrón (VSMOW) y se representa por " δ ‰". El uso de estos isótopos estables está basado en que la composición isotópica del agua subterránea es similar, dado el carácter integrador de los acuíferos, a la de las precipitaciones medias ponderadas de la zona de recarga. Si bien en ocasiones esto no sucede debido a factores como (Plata, A., 1994):

- recarga estacional,
- tiempo de residencia corto,
- recarga procedente de aguas superficiales,
- mezcla de aguas de distintos orígenes,
- evaporación del agua antes de la infiltración, etc.

Además, se ha de tener en cuenta que la composición en estos isótopos en el agua subterránea se mantiene invariable durante su permanencia en el acuífero.

Debido al fraccionamiento isotópico (variación en la composición isotópica como consecuencia de los cambios de estado, es decir, durante los procesos de evaporación y precipitación del agua), la composición isotópica del agua es indicativa de su procedencia o de los procesos que tuvieron lugar durante su historia hidrológica. La mayor parte de las precipitaciones que ocurren en el globo se adaptan a la recta denominada *Línea Meteorica Mundial* (Craig, 1961) que relaciona el contenido en δD y $\delta^{18}O$ según la ecuación $\delta D = 8 \delta^{18}O + 10$. Los valores de δD y $\delta^{18}O$ son más negativos en latitudes altas (efecto de la latitud) y cuanto más alejados de la costa (efecto continental). Del mismo modo estos valores decrecen con la altura (efecto altitud) y se han descrito gradientes de $-0,15$ a $-0,4$ ‰ por cada 100 m para el $\delta^{18}O$ (i.e.: Longinelli, A. & Selmo, E., 2003; Pluemacher, J. & Kinzelbach, W., 2000; Kobayashi, M., Kitaoka, K., Yoshioka, R., Horiuchi, K. & Sasai, E., 1997; Bartarya, S.K., Bhattacharya, S.K., Ramesh, R. & Somayajulu, B.L.K., 1995).

Interpretación de los datos isotópicos

En este apartado se realiza una interpretación general de los datos isotópicos teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, incluyendo, en el epígrafe de *Características geológicas e hidrogeológicas* de las fichas realizadas para cada surgencia, las consideraciones más relevantes referentes a estos datos.

En el gráfico de la figura 1 se han representado los valores de **tritio** de cada uno de los puntos estudiados, diferenciando los tres intervalos indicados con anterioridad, si bien conviene señalar que los límites que se han considerado son meramente orientativos, ya que para establecerlos con exactitud habría que realizar un estudio isotópico más exhaustivo. Por lo tanto, los valores que se encuentran en las proximidades de estos límites (cambio de intervalo) están en una zona de mayor indefinición.

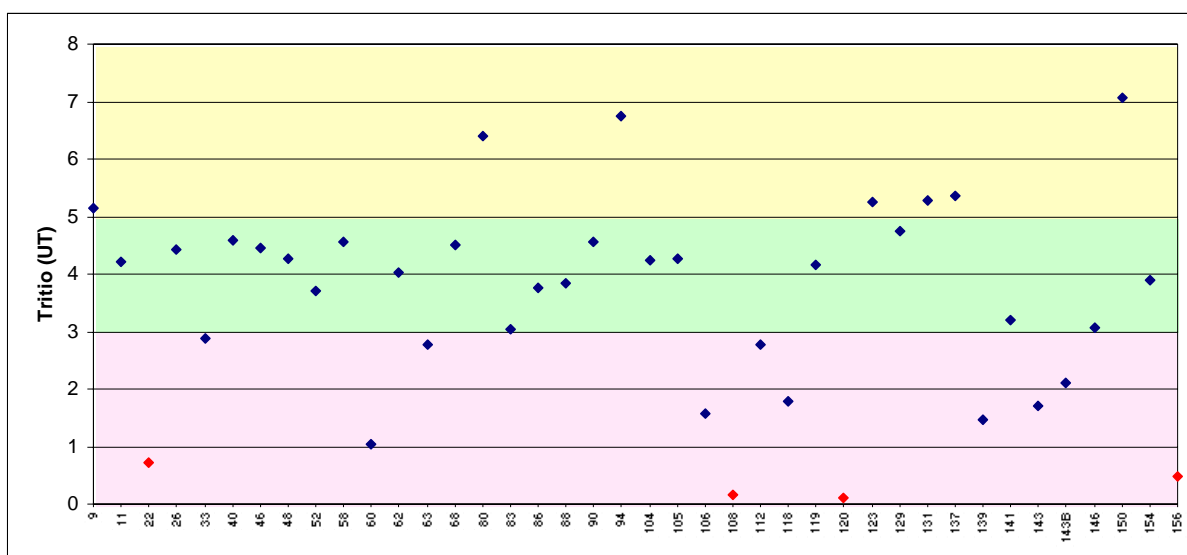


Figura 1.- Representación de los valores de tritio

- 3 a 5 UT - aguas recientes
- 5 a 12 UT - presencia de un componente de aguas infiltradas hace 40-50 años
- < 3 UT - presencia de un componente antiguo, de más de 50 años

En este gráfico y dentro del intervalo “valores de tritio de menos de 3 UT” se han resaltado en color rojo cuatro puntos cuyos valores están muy próximos a cero, lo que supone que prácticamente toda el agua de cada una de estas surgencias es antigua (posiblemente con edad mayor de 500 años), con un tiempo de tránsito muy elevado.

Con los datos obtenidos de **oxígeno-18 y deuterio** se ha elaborado el gráfico de la figura 2. En él se representan, además de los datos obtenidos para este estudio y de la recta calculada a partir de los mismos, la *Línea Meteorológica Mundial* (Craig, 1961) y la recta elaborada con los datos de la Estación Meteorológica de Santander (año 2000), incluidos en la Base “*Global Network for Isotopes in Precipitation*” (IAEA, 2001). También se han incluido otros ocho valores de otros tantos puntos pertenecientes al Proyecto “*Estudio y Evaluación del Estado Actual de las Aguas Minero-Medicinales, Termales y de Bebida Envasadas. Reconocimientos Hidrológicos Detallados*” (IGME,1995).

En dicho gráfico se ha hecho una discriminación atendiendo a la situación geográfica de cada punto, en cuanto a su *longitud (Oriental, Central y Occidental)* y su *distancia al mar (Costa e Interior)*.

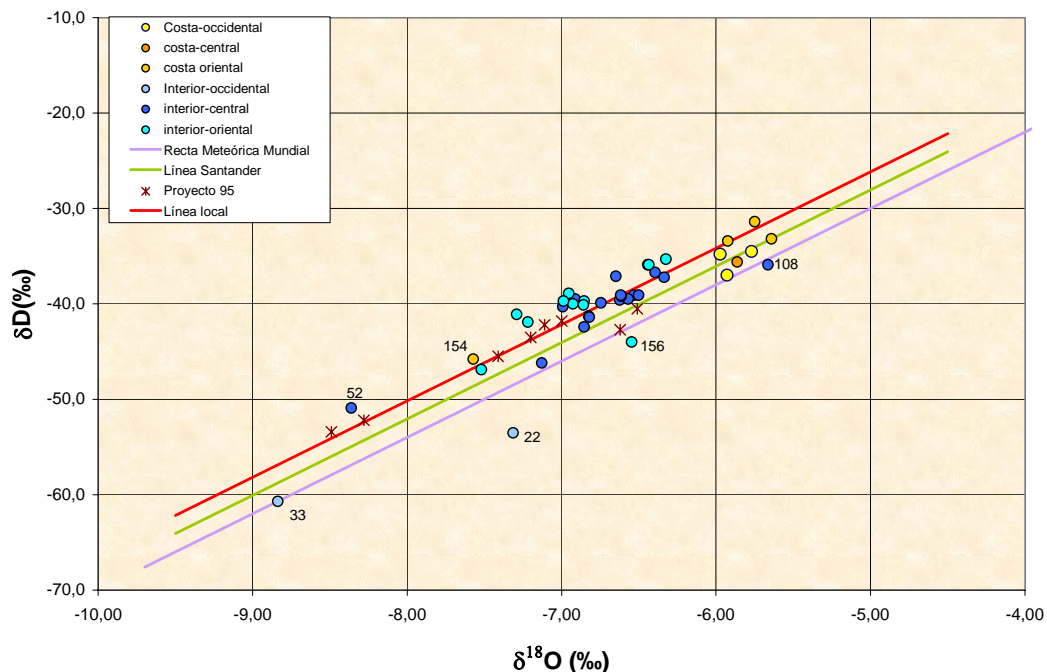


Figura 2.- Gráfico $\delta^{18}\text{O}$ - δD

Para el cálculo de la recta local se ha obtenido, previamente, el llamado “exceso de deuterio (ΔD)” mediante la ecuación: $\Delta\text{D} = \delta\text{D} - 8 \delta^{18}\text{O}$. El valor obtenido (13,8 ‰) se asemeja al calculado por Antonio Plata (Plata, 1994) para los frentes

procedentes de la vertiente atlántica (11,5 ‰), lo cual concuerda con lo que cabe esperar, dado que las precipitaciones de la Cornisa Cantábrica tienen mayoritariamente esta procedencia. Se destaca que la recta calculada con los datos de la precipitación de la Estación Meteorológica de Santander es muy similar a la recta local, ya que la procedencia de los frentes en ambos casos es la misma.

Se puede apreciar en el gráfico cierta distribución de los puntos de acuerdo con su situación geográfica; así, un conjunto bien definido está formado por los puntos costeros y otro gran conjunto está constituido por los puntos del interior. El punto nº 108, que por situación geográfica se encuentra en el interior, presenta relaciones isotópicas características de los puntos de la costa. Esto mismo ocurre, pero en sentido contrario, en el punto nº 154, en el que los valores son más negativos que los que le corresponderían por su posicionamiento geográfico. El que más se separa de la recta local es el nº 22, que presenta un valor de deuterio muy negativo. Igualmente, aunque en menor medida, ocurre con el nº 156. También se encuentran fuera del grupo los puntos nºs 52 y 33, que se ubican en la zona más negativa del diagrama. En estos dos últimos los valores isotópicos son coherentes, ya que se encuentran en zonas frías y con cotas elevadas. En el resto de los casos anómalos mencionados habría que buscar una explicación en el funcionamiento hidrogeológico (véanse las fichas correspondientes).

Una conclusión de carácter general, que puede deducirse, consiste en que la composición isotópica de las aguas subterráneas de Asturias está condicionada preferentemente por la distancia a la costa, y que no se aprecia influencia notable respecto a la longitud geográfica. Con el fin de corroborar esta hipótesis, en la figura 3, gráfico $\delta^{18}\text{O}$ -“Distancia a la costa”, se han representado únicamente las surgencias en las que se considera que el tiempo transcurrido entre la infiltración y la descarga no es muy elevado. En él se aprecia, en términos generales, que cuanto mayor es el alejamiento del punto a la costa más negativo es el valor $\delta^{18}\text{O}$. Se ha trazado una recta que establece esta relación de forma aproximada. Conviene destacar que la dispersión en los valores de $\delta^{18}\text{O}$ que se manifiesta en los puntos con distancia a la costa entre 8 y 30 Km puede ser consecuencia del efecto topográfico (apantallamiento por presencia de cadenas montañosas y cota de surgencia), sin que la distancia a la costa en estos puntos sea tan significativa. En este gráfico también se indica la cota de las surgencias, ya que ambos efectos, continentalidad y altitud, en cierta medida podrían estar superpuestos. En la figura 4, en la que se correlacionan los tres parámetros (cota, distancia a la costa y $\delta^{18}\text{O}$), se pone de manifiesto este comportamiento.

Como se ha comentado anteriormente, existe una relación directa entre el contenido isotópico y la altitud a la que se produce la precipitación, siendo este hecho utilizado en hidrogeología para estimar la cota de recarga. Con este fin, se ha elaborado un diagrama $\delta^{18}\text{O}$ -“cota de surgencia” (figura 5), trazando en él la línea que representa la función que relaciona el contenido en $\delta^{18}\text{O}$ con la altitud aproximada a la que se producen las precipitaciones que constituyen la recarga principal de cada uno de los puntos. El gradiente que representa la variación de $\delta^{18}\text{O}$ en relación con la

altitud es de 0,32 ‰ por cada 100 m, que es coherente con otros datos publicados en la bibliografía consultada. A partir de este gráfico se ha estimado la cota de recarga para cada surgencia, utilizándose este dato para la interpretación hidrogeológica. Como puede apreciarse, hay puntos cuya cota es bastante más baja que la altitud de recarga obtenida en el gráfico. En la mayoría de los puntos existe una explicación geológica e hidrogeológica que se recoge en el apartado *Características geológicas e hidrogeológicas* de la ficha. Únicamente en alguno de los puntos no se encuentra una justificación lógica con los conocimientos geológicos actuales de la zona.

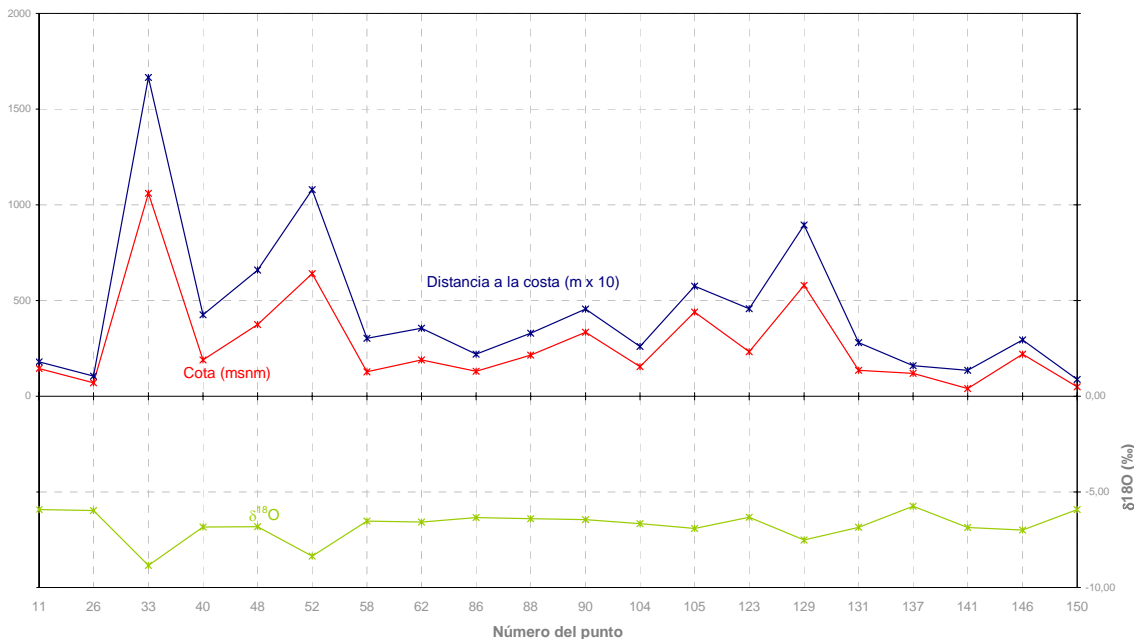


Figura 4.- Gráfico de correlación de altitud, $\delta^{18}\text{O}$ y distancia a la costa.

En la figura 6, donde se ha representado la conductividad frente a los valores de $\delta^{18}\text{O}$, se aprecia que la mayor parte de los puntos estudiados tienen una conductividad menor de 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Las únicas excepciones son los puntos con números 108 y 112, ambos con conductividad mayor de 65.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Si la elevada conductividad (salinidad) de las aguas de estos dos puntos estuviera asociada a una concentración en sales debido a procesos de evaporación, debería poder establecerse una relación directa entre ambos parámetros, ya que el fraccionamiento isotópico que tiene lugar con este proceso lleva como resultado valores de $\delta^{18}\text{O}$ y δD más positivos. De este modo, resultaría que a valores mayores de conductividad corresponderían valores más positivos de $\delta^{18}\text{O}$ y δD , fenómeno que no se aprecia en el gráfico, por lo que puede deducirse que la elevada salinidad en estos dos puntos es debida a procesos de disolución. Los bajos valores en tritio en ambos corroboran este hecho.

En el resto de los puntos estudiados, con salinidades normales, tampoco se aprecian fenómenos de evaporación.

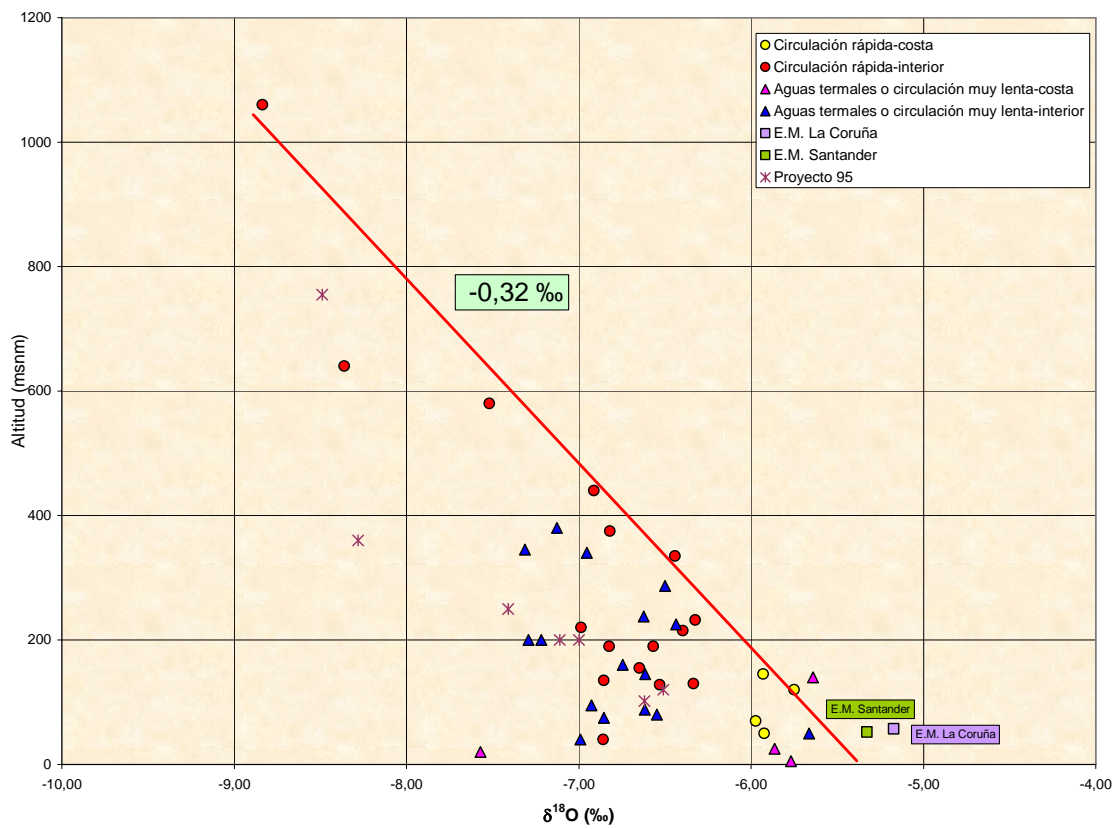


Figura 5.- Gráfico $\delta^{18}\text{O}$ -Altitud

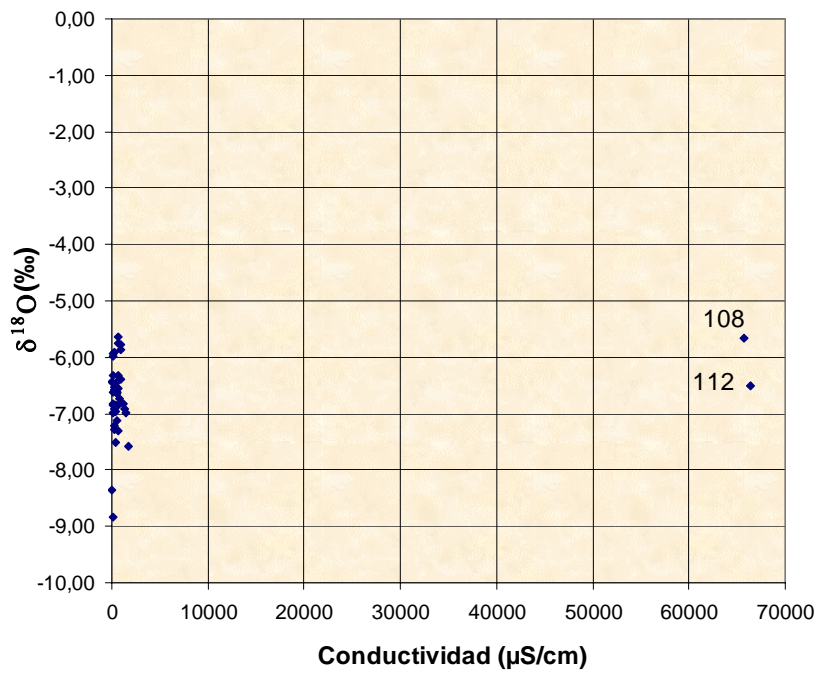


Figura 6.- Relación Conductividad- $\delta^{18}\text{O}$

Durante la tercera fase de este estudio se realizaron dataciones en seis de los puntos estudiados mediante la determinación de **carbono-14**. Los resultados de dicha determinación y su interpretación se recogen en la Tabla 4.

Tabla 4.- Datación mediante carbono-14

Muestra	pMC	Err.	Edad	Err.	d13C	Err.	Estimación años*
22-Allande	48,78	0,22	5766	36	-21,1	0,4	5.000
63-Llanera	90,38	0,35	812	31	-12,8	1,0	Reciente**
106-Villaviciosa	40,40	0,19	7280	37	-9,7	0,6	Reciente**
120-Piloña	5,46	0,11	23357	161	-8,0	0,7	15.000
154-Ribadedeva							
156-Peñamellera	12,66	0,12	16601	76	-9,1	0,8	9.000

* Esta estimación corresponde al orden del valor medio de las correcciones según diferentes métodos realizados

** Edad menor de 500 años

6.- INTERPRETACIÓN DE LOS ANÁLISIS DE GASES

Para un mejor conocimiento de las características geoquímicas del agua subterránea y definición del modelo geológico, se realizó una campaña de toma de muestras para análisis de gases en aquellos puntos en los que se consideró que dicha determinación podría complementar o mejorar la información hidroquímica existente.

La toma de muestras para la extracción y análisis de gases fue llevada a cabo por técnicos de la empresa Tecnologías y Recursos de la Tierra (TRT) durante el mes de mayo de 2003, en los siguientes puntos:

Tabla 5. Puntos en los que se realizaron análisis de gases

Muestra	Denominación	Municipio	Fecha muestreo
Nº 22	Balneario del Puelo	Allande	14/05/03
Nº 58	Manantial de Foncaliente	Las Regueras	14/05/03
Nº 60	Fuente de Fuentecaldiente	Corvera	14/05/03
Nº 106	Fuente de Tevía	Villaviciosa	13/05/03
Nº 120	Balneario de Fresnosa	Piloña	13/05/03
Nº 139	Manantial de Tornín	Cangas de Onís	12/05/03
Nº 154	Balneario de Andinas	Ribadedeva	12/05/03
Nº 156	Manantial Puente Llés	Peñamellera Baja	13/05/03

Los gases disueltos más abundantes en el agua subterránea son N₂, O₂, CO₂, CH₄, H₂S y N₂O. También se encuentran presentes, aunque en menor proporción, Ar, He, H₂ y Kr.

La presencia de gases disueltos en el agua subterránea es el resultado de (Freeze y Cherry, 1979):

- exposición a la atmósfera antes de la infiltración en el subsuelo
- contacto con los gases del suelo durante la infiltración a través de la zona no saturada
- producción de gas en la zona saturada debido a reacciones químicas y bioquímicas en las que están implicadas las aguas subterráneas, los minerales, la materia orgánica y la actividad bacteriana.

Los resultados de laboratorio obtenidos se recogen en las Tablas 6 y 7. Dichos resultados se presentan estandarizados respecto al 100%.

Tabla 6. Resultados de los análisis de gases

Muestra	Denominación	H ₂ (ppmv)	He (ppmv)	CH ₄ (ppmv)	N ₂ (%V)	O ₂ (%V)	CO ₂ (%V)	³⁶ Ar (ppmv)	³⁸ Ar (ppmv)	⁴⁰ Ar (ppmv)	⁸⁴ Kr (ppmv)
Nº 22	Balneario del Puelo	2,85	588,58	1348,29	45,8	0,50	0,04	32,1	7,72	9564	2,02
Nº 58	Manantial Foncaliente	2,29	3,61	79,39	32,1	10,82	2,76	941,5	13,20	7336	1,82
Nº 60	Fte. de Fuentecaliente	1,40	1,84	0,90	27,8	0,32	5,85	22,0	5,18	6563	1,36
Nº 106	Fuente de Tevía	1,83	5,55	1,34	48,8	0,83	2,58	36,5	8,42	10934	1,71
Nº 120	Balneario de Fresnosa	5,37	3,91	2476,59	14,5	0,33	0,33	25,6	44,12	4992	2,09
Nº 139	Manantial de Tornín	1,42	3,47	1,18	33,0	8,09	1,64	31,5	7,41	9041	1,99
Nº 154	Balneario de Andinas	1,46	3,34	1,11	24,3	1,64	1,59	22,5	5,61	6538	1,79
Nº 156	Manantial Puente Llés	1,52	8,96	36,51	65,5	15,23	0,82	30,6	7,05	8851	1,22

ppmv: partes por millón en volumen

Tabla 7. Resultados estandarizados al 100%

Muestra	Denominación	H ₂ (%V)	He (%V)	CH ₄ (%V)	N ₂ (%V)	O ₂ (%V)	CO ₂ (%V)	³⁶ Ar (%V)	³⁸ Ar (%V)	⁴⁰ Ar (%V)	⁸⁴ Kr (%V)
Nº 22	Balneario del Puelo	0,000601	0,123994	0,284040	96,433	1,047	0,088	0,006752	0,001626	2,014767	0,000426
Nº 58	Manantial Foncaliente	0,000493	0,000775	0,017066	69,006	23,253	5,940	0,202384	0,002838	1,577013	0,000390
Nº 60	Fte. de Fuentecaliente	0,000405	0,000530	0,000260	80,286	0,925	16,885	0,006348	0,001496	1,894601	0,000393
Nº 106	Fuente de Tevía	0,000344	0,001040	0,000252	91,552	1,554	4,832	0,006849	0,001580	2,051377	0,000321
Nº 120	Balneario de Fresnosa	0,003383	0,002460	1,559160	91,064	2,106	2,077	0,016147	0,027775	3,142564	0,001315
Nº 139	Manantial de Tornín	0,000325	0,000795	0,000271	75,629	18,527	3,762	0,007216	0,001698	2,071466	0,000455
Nº 154	Balneario de Andinas	0,000519	0,001187	0,000392	86,213	5,815	5,639	0,008000	0,001992	2,320196	0,000635
Nº 156	Manantial Puente Llés	0,000184	0,001087	0,004432	79,440	18,480	0,995	0,003708	0,000855	1,074269	0,000148
Patrón de calibración: AIRE ESTÁNDAR		0,000050	0,000524	0,000170	78,088	20,940	0,037	0,003200	0,000630	0,929980	0,000050

En todas las muestras los valores de H₂S y SO₂ resultaron menores de 0,01 ppmv. En algunas de ellas se había detectado con anterioridad presencia de gas H₂S mediante análisis semicuantitativo, motivo por el cual los datos de laboratorio correspondientes a dichos parámetros no se han tenido en cuenta para la interpretación.

Algunas relaciones entre gases son utilizadas frecuentemente con el objeto de precisar, en lo posible, conocimientos aportados por otros procedimientos analíticos. Teniendo en consideración lo antedicho, se han tenido en cuenta los valores de las relaciones entre gases que figuran en la Tabla 8 para mejorar la interpretación hidroquímica de las aguas estudiadas.

Tabla 8. Relaciones utilizadas

Muestra	Denominación	N ₂ /O ₂	N ₂ / ⁴⁰ Ar	⁴⁰ Ar/ ³⁶ Ar	He/Ar	CH ₄ /H ₂
Nº 22	Balneario del Puelo	92,1	47,9	298,4	0,061287	472,564
Nº 58	Manantial de Foncaliente	3,0	43,8	7,8	0,000435	34,5983
Nº 60	Fuente de Fuentecaliente	86,8	42,4	298,5	0,000278	0,64183
Nº 106	Fuente de Tevía	58,9	44,6	299,5	0,000505	0,73250
Nº 120	Balneario de Fresnosa	43,2	29,0	194,6	0,000772	460,857
Nº 139	Manantial de Tornín	4,1	36,5	287,1	0,000382	0,8336
Nº 154	Balneario de Andinas	14,8	37,2	290,0	0,000509	0,7550
Nº 156	Manantial Puente Llés	4,3	73,9	289,7	0,001008	24,0375
Patrón de calibración: AIRE ESTÁNDAR		3,729	83,968	290,625	0,000561	3,4

Para la correcta interpretación de los resultados del análisis de gases se han tenido en cuenta, además, los valores obtenidos de los análisis isotópicos ya comentados en el Capítulo 5. Resulta obvio que dicha interpretación debe ser coherente con el modelo hidrogeológico planteado en la ficha de cada punto; por lo tanto, el conocimiento sobre el contenido de la fase gaseosa en cada punto ha supuesto, en algunas ocasiones, la confirmación de dicho modelo y, en otras, una modificación en la hipótesis hidrogeológica que se había deducido de los estudios precedentes.

A la vista de los datos contenidos en las Tablas 6 y 7 y con los resultados de los análisis isotópicos, así como con el conocimiento del modelo hidrogeológico de cada punto, se han realizado las siguientes interpretaciones:

Nº 22-Balneario del Puelo

Los elevados valores de CH₄ e H₂, así como el bajo porcentaje de O₂, se justifican por la existencia de procesos biogénicos que implican un ambiente reductor. Los valores de las relaciones He/Ar, N₂/O₂ y de He y tritio indican que se trata de aguas muy antiguas. Esto se corrobora igualmente por la datación mediante carbono-14 (del orden de 5.000 años).

Este punto presenta un contenido muy elevado en He (0,123994 % V) que podría estar asociado a la desintegración de minerales de uranio presentes en los filones mineralizados de la zona de borde del Granito de Linares, por donde el agua circula de una manera lenta adquiriendo su quimismo. Por lo tanto, se corrobora el modelo hidrogeológico descrito en la ficha correspondiente.

Nº 58-Las Regueras

Los valores de los análisis de gases de estas aguas ponen de manifiesto una coexistencia contradictoria entre los altos valores de oxígeno y de dióxido de carbono propios de aguas aireadas y con tiempo de residencia relativamente corto y los valores, también importantes, de CH₄ y H₂, que se corresponden con ambientes reductores y con mayores tiempos de residencia.

La única explicación posible sería que se trate de mezcla de aguas de diferente origen (de circulación profunda a favor de una fractura y de circulación superficial en el acuífero kárstico frío), que avalaría la hipótesis planteada en el modelo hidrogeológico para este punto.

Nº 60-Fuentecaliente

El valor de tritio analizado (1,05 UT) así como el valor de la relación N₂/O₂ indican que se trata de aguas que contienen un componente antiguo (más de 100 años). No obstante, estos datos no concuerdan con la información aportada por los valores de la relación He/Ar.

El valor de dióxido de carbono es el más elevado de todos los analizados, y podría deberse a la inexistencia de materiales de naturaleza básica que pudieran neutralizarlo (Catalán, 1981).

Nº 106-Fuente Tevía

La antigüedad del agua, que ya había sido interpretada a partir del resultado del análisis de tritio (1,58 UT), queda corroborada por el valor de la relación N₂/O₂.

Destaca el importante contenido en CO₂, que se puede explicar por la reacción del carbonato cálcico con el agua a no muy elevadas temperaturas, y el alto valor del N₂, que puede estar relacionado con la degradación termal de la materia orgánica rica en nitrógeno y contenida en las formaciones sedimentarias de tipo lacustre con presencia de materiales evaporíticos.

Nº 120-Balneario de Fresnosa

Se trata de aguas muy antiguas (tritio: 0,12 UT) y datadas mediante carbono-14 en aproximadamente 15.000 años. Estas aguas presentan un alto contenido en metano e hidrógeno que se justifican por la existencia de procesos biogénicos. El valor de la relación He/Ar está en consonancia con el que cabría esperar dada la antigüedad del agua.

Nº 139-Manantial de Tornín

Estas aguas presentan como dato más reseñable un valor de oxígeno elevado, indicativo de aguas muy aireadas. Por otra parte, el bajo valor de tritio (1,46 UT) y la existencia de cierta termalidad indican que se trata de aguas de mezcla, como se explica en el Capítulo 5. Se considera, por lo tanto, que el oxígeno se incorpora al agua por la aireación que tiene lugar durante la circulación de la misma a través de la red kárstica en la zona más superficial del karst. Las relaciones He/Ar y N₂/O₂ corroboran esta hipótesis.

Nº 154-Balneario de Andinas

Estas aguas presentan un valor de tritio (3,9 UT) que denota la presencia de un componente importante de aguas recientes, como se comenta en el Capítulo 5.

No hay nada destacable en los resultados de los análisis de gases realizados, si bien la existencia de termalidad (31,6 ° C) y la presencia de boro (IGME, 1985) se relaciona con la existencia de circulación de aguas profundas a través de fallas. Las condiciones en que se encontraba la zona de alumbramiento de las aguas en el momento de la toma de la muestra, así como las dificultades operativas para la propia toma, hacen que los resultados obtenidos de la fase gaseosa no sean representativos.

Nº 156-Balneario de Puente Llés

El valor de tritio, así como la datación del agua mediante carbono-14 (del orden de 9.000 años), indica que se trata de aguas muy antiguas. Sin embargo, existe una incongruencia entre los valores de metano y oxígeno. El alto valor de este último podría explicarse por la aireación del agua con la incorporación de oxígeno en los conductos kársticos de salida o en el lugar de la surgencia.

Comparación de edades de las aguas, de más antigua a más moderna, según diferentes criterios

Carbono 14

Fresnosa > Puente Llés > Tevía > Puelo

Tritio

Fresnosa > Puente Llés > Puelo > Corvera > Tornín > Tevía > Andinas > Regueras

He/Ar

Puelo > Puente Llés > Fresnosa > Andinas > Tevía > Regueras > Tornín > Corvera

N₂/O₂

Puelo > Corvera > Tevía > Fresnosa > Andinas > Puente Llés > Tornín > Regueras

7.- TÉCNICAS GEOFÍSICAS (Tomografía eléctrica)

Para la correcta interpretación del modelo hidrogeológico vinculado a la génesis de las surgencias, resulta indispensable el conocimiento de las formaciones geológicas, su morfología y las estructuras que las afectan. Dada la dificultad de observación directa como consecuencia de la superposición de sedimentos recientes, resulta aconsejable recurrir a métodos indirectos que nos permitan obtener información referente al subsuelo. Con este fin se ha aplicado un método geofísico denominado "Tomografía eléctrica" que persigue la detección de cualquier heterogeneidad del subsuelo que delate una discontinuidad apreciable en la distribución de la resistividad eléctrica de los materiales, ya sean fallas, contactos, recubrimientos y accidentes de origen cárstico o de otra naturaleza (Granda y Cambero, 2000).

Teniendo en cuenta la cartografía hidrogeológica y los análisis previamente efectuados se decidió aplicar este método en el entorno de doce puntos. Éstos se relacionan a continuación:

- Nº 26-Fuente del Bao (Valdés)
- Nº 46-Fuente de Foncaliente (Grado)
- Nº 52-Fuente Calda (Teverga)
- Nº 60-Fuente de Fuentecaliente (Corvera)
- Nº 83-Fuente de San Jorge (Gozón)
- Nº 106-Fuente Tevía (Villaviciosa)
- Nº 108-Manantial de El Salmorial (Villaviciosa)
- Nº 112-Manantial Pozo Salau (Sariego)
- Nº 131-Manantial Fuente Blanca (Parres)
- Nº 139-Manantial de Tornín (Cangas de Onís)
- Nº 154-Manantial de Andinas (Ribadedeva)
- Nº 156-Manantial De Puente Llés (Peñamellera Baja)

Este estudio geofísico fue realizado por la empresa International Geophysical Technology (IGT) y figura como Anexo III.

A grandes rasgos, este método ha determinado con cierta precisión los espesores de los recubrimientos presentes. En algunos casos ha permitido la determinación de contactos entre diferentes litologías y localización de zonas de fractura.

En los casos en los que se ha considerado conveniente, estas interpretaciones han sido incorporadas a la descripción del modelo hidrogeológico descrito en las fichas del Anexo I.

8. CONSIDERACIONES GENERALES

Durante el desarrollo del estudio de la segunda fase del Proyecto se han realizado, sobre los treinta y nueve puntos estudiados, las siguientes actuaciones:

- visita de campo para la medida “in situ” de los siguientes parámetros: pH, temperatura, conductividad eléctrica, caudal y características organolépticas, así como para la obtención de información referente al comportamiento de las surgencias mediante consulta con los usuarios y lugareños.
- una nueva campaña de análisis químicos, a fin de comprobar la estabilidad en la composición de las aguas.
- una nueva campaña de análisis bacteriológicos, tras la limpieza y acondicionamiento del entorno de las surgencias en la medida de lo posible, al objeto de mejorar las condiciones de la toma de muestras.
- una campaña de toma de muestras para análisis isotópicos: oxígeno, deuterio y tritio, para profundizar en los conocimientos hidrogeológicos de las surgencias.

Con los nuevos datos obtenidos en esta fase se ha procedido, por parte de la catedrática D^a Josefina San Martín Bacaicoa, a la ampliación del estudio sobre las posibles aplicaciones terapéuticas de las aguas.

El estudio de campo y la interpretación de la nueva información proporcionada por las distintas actuaciones mencionadas anteriormente, han permitido mejorar el conocimiento hidrogeológico de las surgencias respecto a la fase precedente, su comportamiento hidrodinámico y sus posibilidades de aprovechamiento.

La finalización de esta fase permitió una nueva selección más rigurosa de dieciocho puntos que se han considerado de mayor interés para las distintas aplicaciones (termales y terapéuticas, envasadas y minero-industriales) sobre los que se desarrolla una tercera fase de estudio que incluye:

- Trabajos de campo: revisión de las características geológicas e hidrogeológicas de cada surgencia y su entorno, obtención de parámetros “in situ” (pH, temperatura, conductividad eléctrica, caudal y características organolépticas)
- Toma de muestras para análisis químico y bacteriológico
- Datación mediante ¹⁴C en 6 puntos
- Análisis de gases en 8 puntos
- Prospección geofísica mediante Tomografía eléctrica en 12 puntos
- Estudio de viabilidad económica en 4 puntos

Toda la información se recoge en una nueva ficha con una estructura similar a la realizada en la primera fase de este estudio. Conviene resaltar que en dicha ficha figuran todos los datos obtenidos en las tres fases de estudio, al objeto de comparar y comprobar la estabilidad de las aguas en aquellos aspectos que se consideran de interés para los objetivos contemplados en el Proyecto.

A partir del “*Mapa de aguas minero-medicinales y termales de Principado de Asturias. Escala 1:200.000*”, presentado en la primera fase del Proyecto, se ha elaborado otro mapa que representa agrupaciones de litologías, definidas éstas según los tipos de aguas contemplados en dicha fase (Mapa 1) y en el que se han situado los puntos estudiados en la segunda fase.

En las fichas de los dieciocho puntos estudiados durante la tercera fase se contempla una valoración sobre el interés que presentan las aguas para las distintas posibles aplicaciones (termales-terapéuticas, envasadas y minero-industriales), desde el punto de vista de su aprovechamiento industrial. En el Mapa 2 se recogen los once puntos que presentan una valoración positiva para alguna de estas aplicaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- **Bartarya, S.K., Bhattacharya, S.K., Ramesh, R. & Somayajulu, B.L.K. ,1995.** $\delta^{18}\text{O}$ and δd systematics in the surficial waters of the Gaula River catchment area, Kumaun Himalaya, India. *Journal of Hydrology*, 167: 1-4.
- **Catalán Lafuente, J. (1981).** Química del agua. Talleres Gráficos Alonso, S.A.
- **Clark, Ian D. & Fritz, P. (1997).** Environmental isotopes. C.R.C., Press, Incorporated.
- **Custodio, E. & Llamas, M.R. (1975).** Hidrología subterránea. Ediciones Omega, S.A. Barcelona
- **D'Amore, F., Scandiffio, G. & Panichi, C. (1983).** Some observations on the chemical classification of groundwaters. *Geothermics*, Vol. 12. Nº 2/3, pp. 141-148.
- **Freeze, R. A. y Cherry, J. A. (1979).** Groundwater. Ed Prentice-Hall, 604 pp.
- **Granda, A. y Cambero, J. C. (2000).** INGEOPRES. En: <http://www.igt-geofisica.com/>
- **Hem, J. (1970).** Study and interpretation of the chemical characteristics of natural waters. US Geological Survey, paper 1473.
- **IAEA (2001/2).** Isotope Hydrology Information System. The ISOHIS Database. Accessible at: <http://isohis.iaea.org>.
- **I.G.M.E (1985).** Análisis metodológico de las técnicas geoquímicas empleadas en prospección geotérmica.
- **I.T.G.E. (1991).** Guía metodológica para la elaboración de perímetros de protección de captaciones de aguas subterráneas.
- **I.T.G.E. (1992).** Jornadas de aguas minerales y minero-medicinales en España.
- **I.T.G.E. (1995).** Guía para la elaboración de perímetros de protección de captaciones de aguas mineromedicinales, termales y de bebida envasadas.
- **I.T.G.E. (1997).** Guía operativa para la recogida, almacenamiento y transporte de aguas subterráneas destinadas al análisis químico y bacteriológico.
- **I.T.G.E. (2000).** Panorama actual de las aguas minerales y minero-medicinales en España.
- **Kobayashi, M., Kitaoka, K., Yoshioka, R., Horiuchi, K. & Sasai, E., (1997).** Hydrogen and oxygen isotopic ratios in precipitation, river and groundwater in the eastern area of the Hiei Mountains. *Journal of Japanese Association of Hydrological Sciences*: 27, 3.
- **Lucas, L.L. & Unterweger, M.P. (2000).** Comprehensive review and critical evaluation of the half-life of tritium. *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, Vol. 105.
- **Longinelli, A. & Selmo, E. (2003).** Isotopic composition of precipitation in Italy; a first overall map. *Journal of Hydrology*. Vol 270; 1-2.
- **Lloyd, J.W. & Heathcote, J.A. (1985).** Natural inorganic hydrochemistry in relation to groundwater. Clarendon Press. Oxford.
- **Plata, A. (1994).** Composición isotópica de las precipitaciones y aguas subterráneas de la Península Ibérica. CEDEX (Monografías, Serie Azul).
- **Pluemacher, J. & Kinzelbach, W. (2000).** Calibration of a regional groundwater flow model using environmental isotope data. IAHS-AISH Publication 262.
- **Völkle, H. (2002).** Environmental Radioactivity and Radiation Doses in Switzerland in 2001: Summary. Swiss Federal Office of Public Health.
- http://www.bag.admin.ch/strahlen/ionisant/radio_env/pdf-2001/RAP-ANG-01.pdf