

INFORME FINAL

"XVI Curso Internacional de Hidrología Subterránea"

por: Lic. Rodolfo Carlos De Felippi

El presente informe ha sido separado en dos partes:

- a) Una breve reseña del programa de estudios, observaciones y trabajos prácticos realizados;
- b) Mi opinión personal en cuanto a la contribución que la capacitación en el exterior contribuye, tanto a la formación profesional, como a la solución de problemas concretos dentro de mi campo de acción.

- * -

- a) El objetivo principal del curso fue la presentación detallada de las bases teórico-prácticas de la Hidrología Subterránea, de modo que sean directamente aplicables a las diversas situaciones reales que se puedan presentar.

Así, el curso estuvo orientado hacia la ingeniería del comportamiento, estudio, prospección, captación, protección, planificación y gestión de las aguas subterráneas y su interrelación con otras fases del Ciclo Hidrológico. Si bien dominan los aspectos de recursos de agua, se tratan también otros temas en relación con la Ingeniería Civil, Industrial, Ambiental y Agronómica, entre otras.

Fue coordinado por el Instituto de Hidrología, miembro del Consejo Superior de Investigaciones Científicas y patrocinado por los siguientes organismos:

- . Universidad Politécnica de Barcelona
- . Departament de Política Territorial i Obres Públiques de la Generalitat de Catalunya.

- . Dirección General de Cooperación Técnica Internacional. M.A.E.
- . Comisaría de Aguas del Pirineo Oriental. D.G.O.H.
- . Servicio Geológico de Obras Públicas. D.G.O.H.
- . Confederación Hidrográfica del Pirineo Oriental. D.G.O.H.
- . Escuela de Hidrología y Recursos Hidráulicos. C.S.I.C.
- . Sociedad General de Aguas de Barcelona.

La organización del curso se apoya en:

- Comité de Dirección: Provee los medios económicos; facilita locales; proporciona las directrices y orientaciones generales.
- Comisión Docente: Responsable de la programación, docencia y actividades conexas.
- Gerencia: Encargada de la organización administrativa y de la Secretaría.

Cuenta con ayudas científicas y técnicas entre los que cabe mencionar Ediciones Omega; Embajadas de Francia, Países Bajos, Comisaría de Aguas del Pirineo Oriental, etc. Además distintas empresas y organismos conceden anualmente ayudas económicas para los participantes entre ellos:

- . Estadías: Ministerio de Asuntos Exteriores, a través de la Subdirección General de Cooperación Científica y Técnica; estadías para participantes extranjeros de países de habla hispana o portuguesa.
- . Becas: Geotécnia Geólogos Consultores e Hifrensa.
- . Matrículas: Agua/Plan. Catalana de Gas y Electricidad, Enpetrol, Inypsa, Schott-Dubon, Unión Española de Explosivos.
- . Medias matrículas: G.H.E.S.A., Crup Catalá L.E.M.A., Hispanol y Cámara Oficial de Comercio, Industria y Navegación de Barcelona.

La mayoría de los miembros de la comisión docente y demás profesores trabajan en los organismos citados en párrafos anteriores.

El programa cumplido a lo largo del curso puede resumirse en la siguiente lista de temas:

I. Disciplinas Auxiliares

Elementos de Geología

Elementos de Mecánica de Fluidos

Fundamentos de Cálculo y nociones de Estadística Aplicada a la Hidrología.

Elementos de Química del Agua.

II. Hidrología Subterránea

Conceptos básicos y definiciones

Teoría del Flujo del agua subterránea

Hidráulica de captaciones de agua

Modelos analógicos y matemáticos

III. Exploración de Aguas Subterráneas

Prospección geofísica aplicada

Geohidroquímica

Métodos de exploración

Relación entre aguas superficiales y subterráneas

Relaciones agua dulce-agua salada en regiones costeras

Trazadores y técnicas nucleares en Hidrología Subterránea

IV. Elementos de Hidrología de Superficie

Componentes primarios del ciclo hidrológico

Elementos de Hidrología de superficie

V. Métodos de captación y explotación

Construcción de captaciones de aguas subterráneas

Recarga artificial de embalses subterráneos

Calidad del agua subterránea

VI. Planificación Hidráulica y de aguas Subterráneas
Hidroeconomía y planificación de recursos hidráulicos
Legislación
Otros recursos hidráulicos

VII. Casos Reales y Mesas Redondas
Instrumentación
Casos reales
Mesas redondas

Los mismos fueron desarrollados en aproximadamente 300 horas de clases. También se realizaron una serie de visitas, seis en total, y diez salidas de campo que cubrieron la totalidad de los temas tratados.

En el Anexo N° I se incluyen fotografías con la correspondiente explicación de algunas visitas y salidas.

El curso, notablemente intensivo, requiere una dedicación mínima de 50 horas semanales.

Las clases se realizaron en un aula de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales dotada de un adecuado confort y provista de un suficiente material didáctico. Las clases, tanto teóricas como prácticas se realizaron de horas 16,30 a 21.

A lo largo del curso se desarrollaron, generalmente en horario matutino, distintas conferencias y mesas redondas, alrededor de treinta en total, con profesores de distintas nacionalidades: franceses, israelíes, holandeses, norteamericanos, argentinos y por supuesto españoles.

El número de participantes fue de 23, de los cuales 10 eran españoles; 3 portugueses, 1 rumano y 9 provenientes de países latinoamericanos: 3 argentinos, 3 Brasileños, 1 colombiano y 2 mejicanos.

El aprovechamiento del curso fue controlado y orientado a través de Test (bimestrales) que cubrieron los 22 temas tratados, además de distintos cuestionarios y ejercicios de problemas.

El correspondiente diploma, otorgado por la Universidad Politécnica de Barcelona, se obtiene aprobando las pruebas detalladas en el párrafo anterior y la realización de un trabajo práctico real. En mi caso he realizado, conjuntamente con Geólogo Español, dos trabajos en sendas áreas de la costa mediterránea. En el Anexo II se reseñan el enfoque del problema, los objetivos buscados, la manera de llegar a ellos y las principales conclusiones.

- * -

b) La capacitación obtenida en el exterior, mediante un curso de 6 meses de duración como el tratado, la debemos enfocar desde dos puntos de vista:

1) El humano, donde sin lugar a dudas el hecho de compartir vivencias similares, con personas de distintas idiosincracias, llevan a un enriquecimiento cultural, se obtiene una mayor amplitud de criterios o puntos de vista para la resolución de un determinado problema y ayudan a profundizar el sentido común.

2) El Técnico, que permite ampliar y afianzar los conocimientos básicos y paralelamente profundizar en ciertos temas o técnicas de uso frecuente, en mi caso la Hidrogeología.

También el intercambio de información, la comparación con profesionales de otros países en cuanto al nivel de conocimientos y trabajo, redundan en una experiencia que habilita al profesional a desenvolverse con una gran seguridad en su actividad.

En cuanto a la solución de problemas concretos que la experiencia adquirida puede aportar, podemos decir que en general se afianza el convencimiento de que:

- El desarrollo económico y social de la comunidad depende, entre otros factores, de la formación de sus recursos humanos.
- Debemos procurar una mejor y más justa gestión de los recursos de agua, el constante crecimiento demográfico y el aumento de regadíos, hace que dichos recursos cada vez más escasos y necesarios sean continuamente amenazados cuali y cuantitativamente.
- Tanto en países desarrollados como en aquellos en vías de desarrollo se ha producido una clara conciencia de la importancia, desde varios puntos de vista, científico-técnico, socioeconómico, administrativo y legal que tiene la Hidrología Subterránea en toda planificación hidráulica.

En la región noroeste en particular, lugar donde he desarrollado mi actividad, existen enormes desiertos que, aún potencialmente ricos en otros recursos naturales, no pueden ser ocupados y desarrollados por la ausencia, escasez o lo que es peor el desconocimiento de la existencia de agua subterránea. En contrapartida, otras zonas sufren en forma temporal o permanente el exceso del recurso hídrico sin poder recuperarse e incorporarse a la actividad productiva.

Las características geográficas, climáticas, sociales y económicas muy distintas de la región, hacen imprescindible el conocimiento y evaluación detallada del agua superficial y subterránea.

Es función de los gobiernos proporcionar a organismos oficiales, a instituciones privadas y a particulares los lineamientos principales a aplicar en una determinada área con respecto a: zonas favorables para la captación de aguas subterráneas; posibles caudales de explotación; calidad química; adecuado manejo; principales normas de conservación del recurso, etc.

Una correcta evaluación constituye el instrumento adecuado para procurar el desarrollo económico y social.

Se trata de obtener el diagnóstico actual del área y establecer una política y estrategia acorde con dicha realidad.

La tarea debe comenzar con una eficiente coordinación institucional, una intensa recopilación de antecedentes y una adecuada divulgación (charlas, conferencias, etc.) a los principales interesados.

A manera de conclusión, el curso de Hidrología Subterránea es un excelente curso, trata todos los temas con los que actualmente se desarrolla la Hidrología y lo que es muy importante se realiza en un país que por su idiosincracia común permite adaptar los conocimientos adquiridos en la República Argentina.

ANEXO I

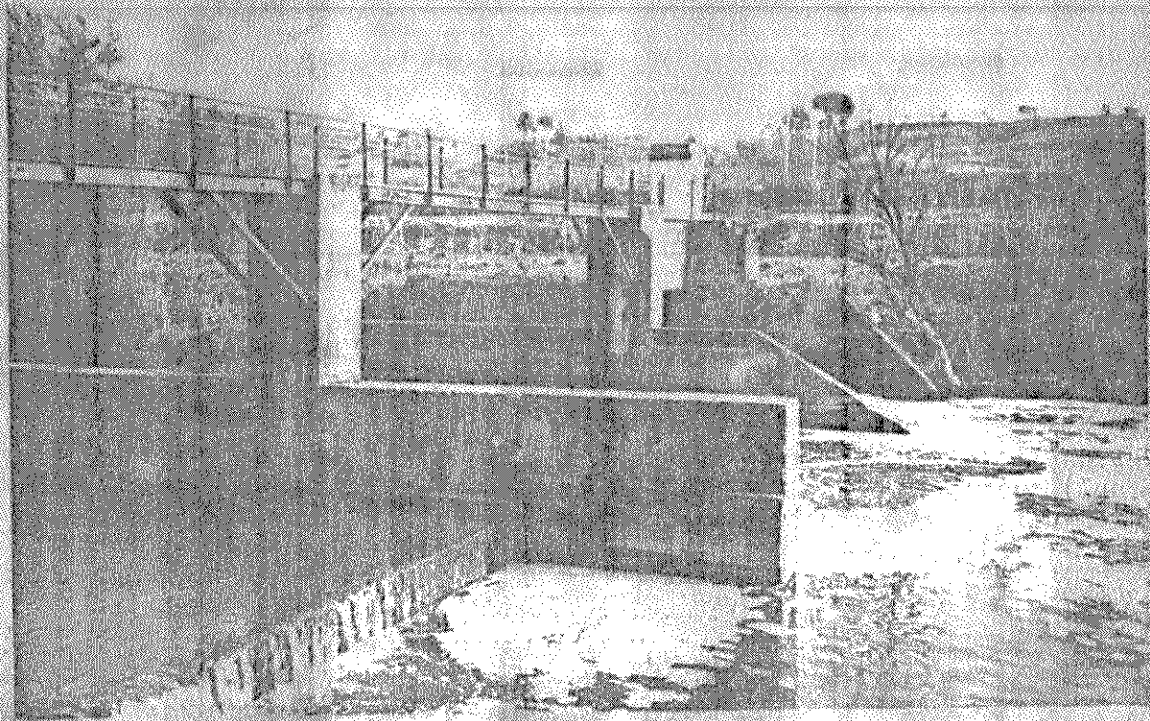


Foto N°1: Estación de aforos sobre un afluente del Rfo Llobregat (Barcelona)

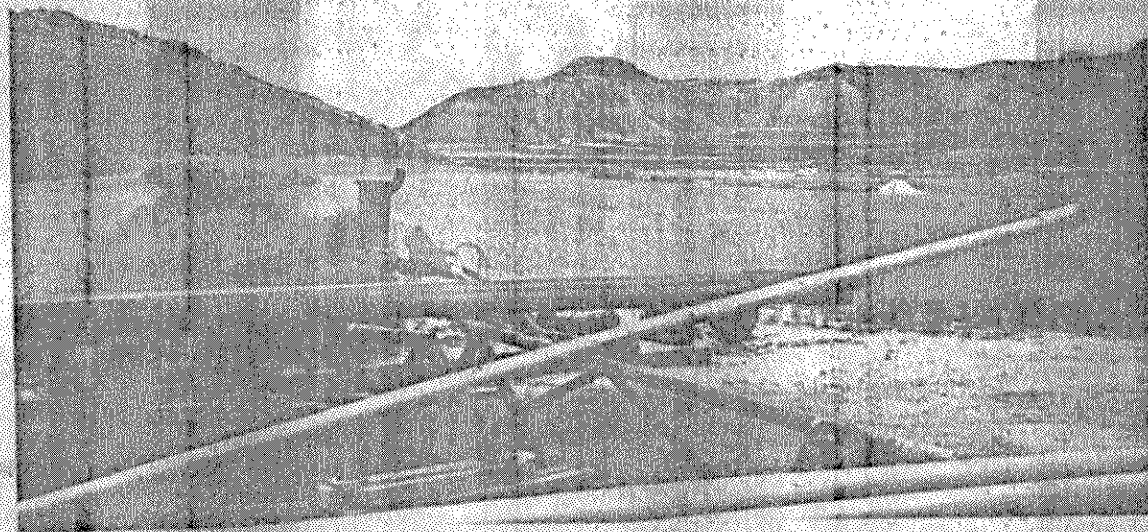


Foto N°2: Elementos de perforación en Zaragoza (nótese la aridez de la región).

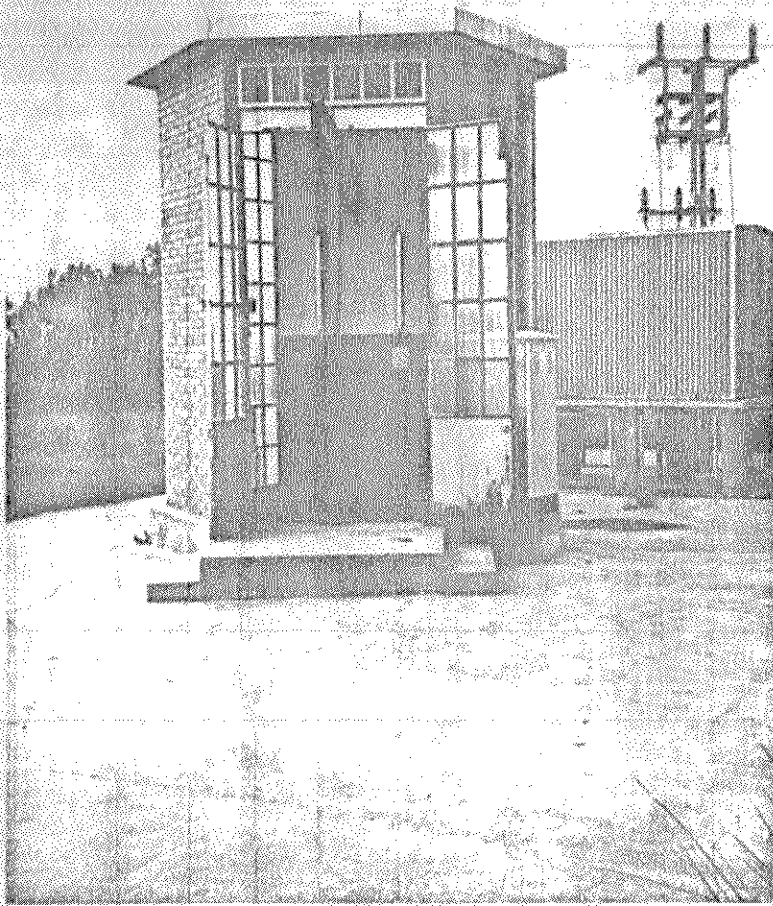


Foto N°3: Refugio empleado por la Sociedad de Aguas de Barcelona para protección de las instalaciones en los pozos de abastecimiento (Barcelona).

Foto N°4: Perforadora a rotación con testigo continuo en plena acción (Barcelona).

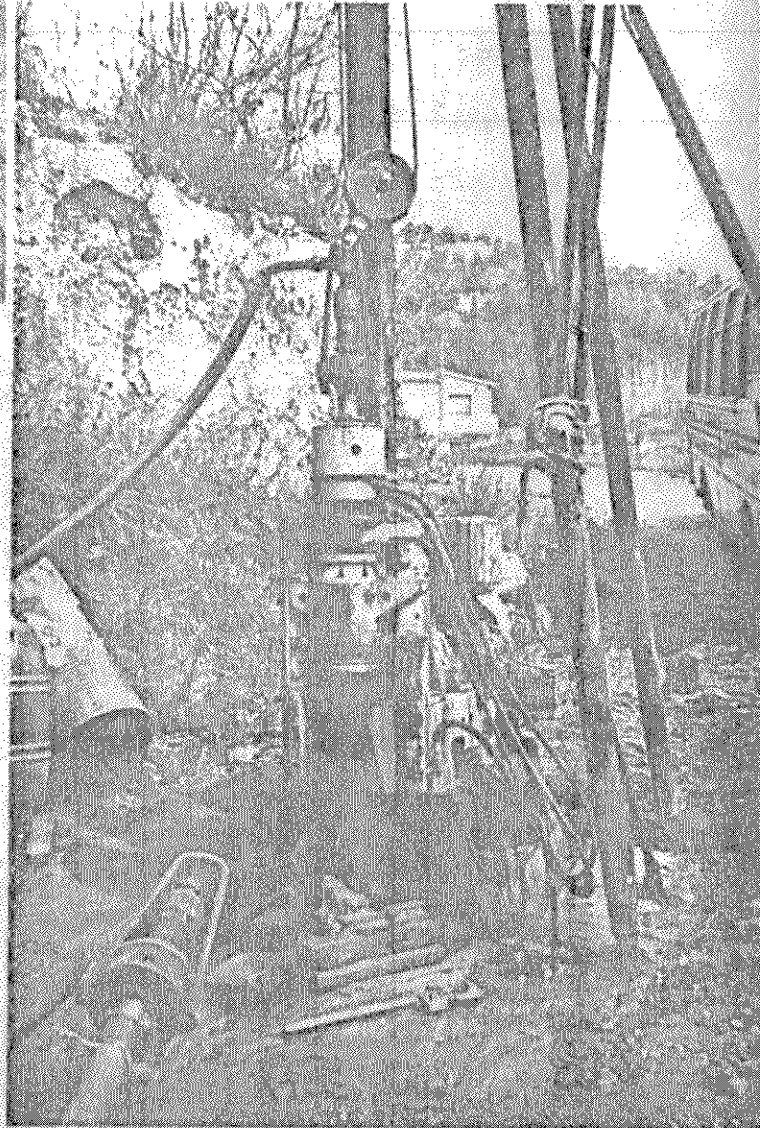




Foto N°5: Planta potabilizadora de Playa de Aro-Provincia de Gerona.



Foto N°6: Caudal proveniente de un pozo entregado a un canal de conducción (Barcelona).

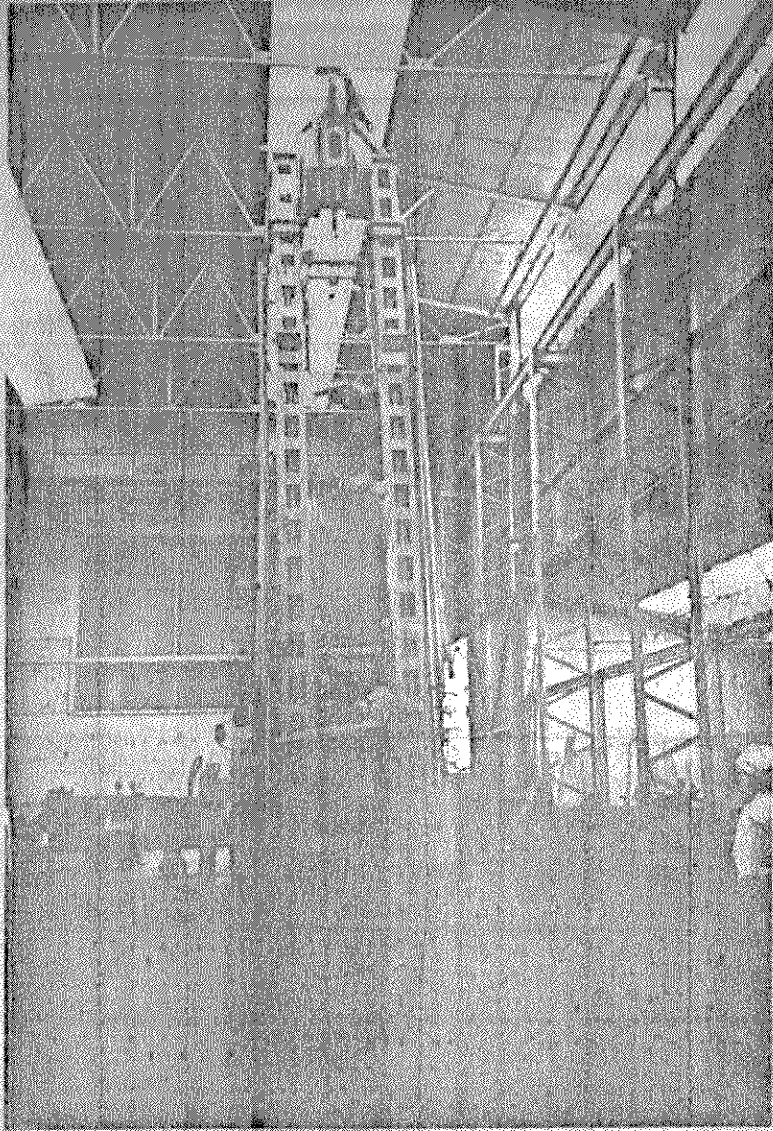


Foto N°7: Visita a una fábrica de máquinas perforadoras. Polígono Industrial de Malpica (Zaragoza).

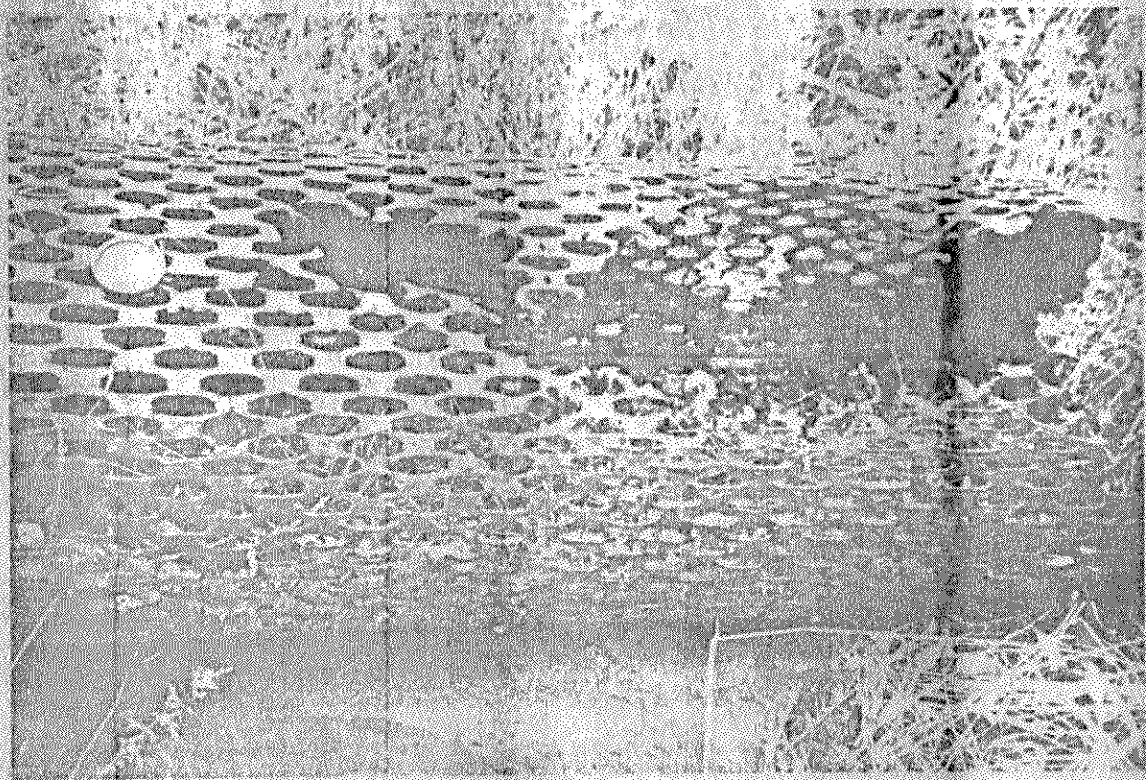


Foto N°8: Efectos del hierro en las aguas subterráneas (Costa Brava Catalana).

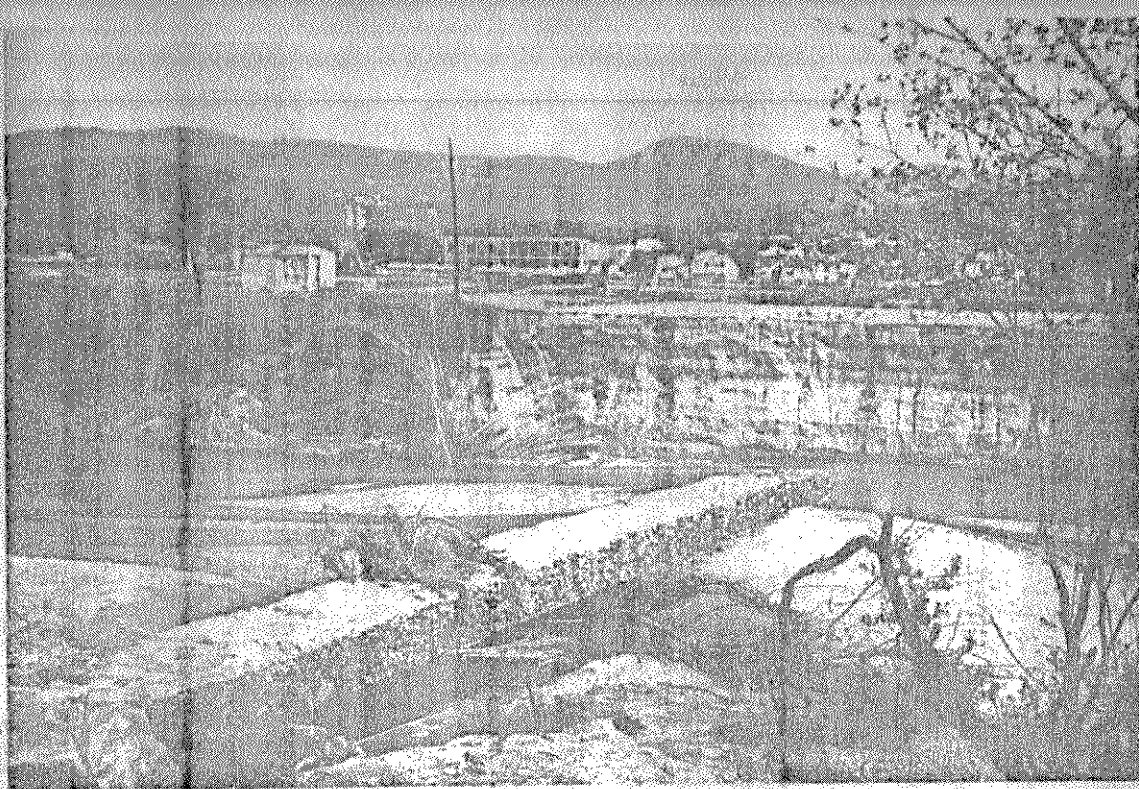


Foto N°9: Muro de contención en la riera del ridaura para provocar recarga artificial.



Foto N°10: Dispositivo de pozos de recarga (centro) y limpieza (anillo) en el Rfo Besos (Sociedad General de Aguas de Barcelona).

ANEXO II

A efectos de satisfacer uno de los requisitos del XVI Curso Internacional de Hidrología Subterránea de realizar un trabajo práctico de carácter real, he desarrollado en forma conjunta con un Geólogo español y una Ingeniera Agrónoma de Argentina, un estudio global sobre la evolución de dos acuíferos costeros con una problemática muy característica de zonas de elevada explotación temporal.

Las dos áreas estudiadas, debido a una gran afluencia turística en los meses de verano, se ven obligadas a una gran extracción temporal de agua subterránea, agravada por la coincidencia con una época de recarga prácticamente nula.

A pesar de su proximidad geográfica constituyen dos cuencas totalmente independientes con características propias en cada una de ellas, por este motivo se ha considerado oportuno senarar su tratamiento en dos partes:

- I Acuífero de la Riera de Aubí y
- II Acuífero de la Riera del Ridaura

En el mapa adjunto puede observarse la situación geográfica de las mismas.

I Acuífero de la Riera de Aubí

El acuífero aluvial de la Riera Aubí ha sido fuertemente explotado a través de los años debido a la demanda provocada por la afluencia turística en los

meses de verano. Esta sobreexplotación, llevada a cabo en captaciones puntuales, ha provocado la consecuente intrusión marina, disminución en los niveles piezométricos regionales y degradación en la calidad química del agua.

A través de numerosos trabajos, a partir del año 1968, se conoce la morfología del acuífero como así también el comportamiento hidrogeológico del mismo.

El trabajo realizado, tuvo como objetivo conocer el estado actual y la evolución del acuífero con vistas a proporcionar recomendaciones o previsiones que atenuen los problemas antes mencionados.

La metodología empleada puede resumirse en los siguientes puntos:

- . Recopilación de antecedentes
- . Reconocimiento general de la zona
- . Inventario de puntos de agua y recopilación de datos
- . Toma de muestras de agua
- . Medida de niveles piezométricos
- . Registros de salinidad y temperatura
- . Ensayo de bombeo
- . Plan de remodelación de la actual red piezométrica

Las principales conclusiones y recomendaciones pueden sintetizarse de la siguiente manera:

* La suma de la infiltración más la escorrentía superficial se cifra aproximadamente en:

1,2 hm³ para año seco (400 mm de precipitación)

6 hm³ para años medio (600 mm de precipitación)

17 hm³ para año húmedo (1.000 mm de precipitación)

teniendo en cuenta que la escorrentía superficial en años húmedos es muy importante (más de 90%), mientras que en años secos se puede considerar prácticamente nula.

* De los años 1976 a 1979, el volumen de extracción anual de abastecimiento urbano fue de 1,1 hm³. En los años 1980 y 1981, disminuyó a 0,8 hm³.

* Aguas abajo de la confluencia de las rieras de Vall Llobrega y Aubi, se distinguen dos acuíferos: uno inferior, en el que la intrusión marina penetra 2 km, siguiendo en forma sagital la margen izquierda de la riera y otro superior, donde se introduce 300 m.

* La elevada extracción de agua realizada en los pozos X y B, durante los años 1976 a 1979, fue la causa principal de la intrusión marina actual.

* El cono de bombeo provocado por los pozos de captación de S.C.A.P., se encuentra con niveles negativos a una distancia de 500 m del frente de intrusión salina, lo que representa un grave riesgo de salinización de estas captaciones.

* La recuperación de los niveles a partir del año 1980, fecha en que disminuyeron las extracciones, se estima a 1 km de la costa en 1,5 m por año.

* Según su composición química el agua puede dividirse en dos grupos:

- un agua continental bicarbonatada cálcica y de carácter ligeramente incrustante y

- un agua salina clorurada sódica.

* A excepción de la zona salinizada, la calidad química del agua es buena. En la zona próxima al canal de desvío, se aprecia un cierto aumento en el contenido de nitratos.

* La red piezométrica actual presenta deficiencias para el seguimiento de la intrusión marina y la toma de niveles. Se cree imprescindible una remodelación de la misma.

Recomendaciones

* Se deben extremar las medidas de precaución para que los pozos de abastecimiento no sufran los efectos de la intrusión salina. A tal efecto habrá que realizar un control periódico de cloruros, niveles y caudales extraídos.

* Los volúmenes extraídos del acuífero deberán repartirse en un número mayor de cantaciones, evitando así la extracción puntual de grandes caudales.

- * No deberán utilizarse para riego aguas con alto contenido de sodio, producto de la intrusión marina, pues se produciría una degradación de los suelos agrícolas.
- * Se aconseja proceder, a corto plazo, una remodelación de la red piezométrica actual, con el objeto de precisar la posición y evolución de la intrusión salina, como asimismo efectuar un control periódico de niveles y salinidad.

II Acuífero de la Riera del Ridaura

Al igual que el caso anterior en los meses de verano se efectúa una sobreexplotación, sin embargo por ser un acuífero con grandes reservas no se ha detectado una intrusión marina de gran magnitud, pero sí una disminución en los niveles piezométricos regionales.

La cuenca del ridaura tiene 74 km² formada en su totalidad por terrenos graníticos de la cordillera litoral catalana.

El valle bajo de esta cuenca y que constituye el acuífero propiamente dicho, ocupa una superficie de 9 km² y tiene espesores crecientes hacia el mar, alcanzando en la costa un valor de unos 35 m.

El origen de los materiales es fluviodeltaico y la litología consta de arenas, gravas y arcillas.

La metodología seguida para llevar a cabo el diagnóstico de la situación a Julio de 1982 consistió, al igual que para la riera de Aubi, en una serie de acciones entre las que podemos mencionar:

- . Reconciliación de antecedentes
- . Inventario de puntos de agua
- . Toma de muestras
- . Niveles piezométricos
- . Registro de salinidad
- . Ensayo de bombeo

Con los datos de más de 40 puntos de agua fue posible construir las líneas isopiezas para distintos años y para distintas épocas (verano-invierno) pudiendo observarse que la isopieza de cota + 1 m se desplaza a más de 1 km hacia aguas arriba. Se señala además un hecho muy importante como es la construcción de dos pozos de abastecimiento ubicados a 200 m del mar; situación considerada muy perjudicial en referencia a la intrusión marina.

Las conclusiones y recomendaciones arribadas se transcriben a continuación:

Conclusiones

- * El volumen extraído durante el año 1981 fue de 4 hm³.
- * A partir de Agosto de 1981 las extracciones en Playa de Aro han aumentado en forma desmesurada, pasando de 30% del total de agua puesta en la red a valores superiores al 60%.

- * Bajo el régimen actual de extracciones, el embalse tiene una gran capacidad de recuperación, incluso para una situación crítica como la del verano pasado, en la que la isopieza de 2 m sobre el nivel del mar retrocedió a 3 km de la costa.
- * La interfaz no ha variado en los últimos 15 años, ya que el caudal subterráneo vertido al mar regula la intrusión.
- * Actualmente, el acuífero se encuentra en un estado de equilibrio con respecto a la interfaz agua dulce-agua salada. La puesta en explotación de los pozos 4, 5 y 6 romperá este equilibrio y salinizará dichos pozos.
- * La calidad de las aguas es aceptable. Presentan un variable contenido en hierro que es solucionado con la Planta Depuradora. En las zonas muy próximas a la costa, aumenta el contenido en sales disueltas.

Recomendaciones

- * A efectos de permitir una mayor recuperación en el acuífero de Playa de Aro, sería conveniente cubrir el abastecimiento invernal utilizando exclusivamente los pozos ubicados en Santa Cristina de Aro y Castillo de Aro.
- * Para los pozos Pou Petit, se aconseja no realizar una extracción ininterrumpida, como la efectuada este último año.
- * En cuanto a prácticas de explotación, se recomienda no provocar descensos por debajo de la rejilla, logrando así una mayor vida útil de las captaciones.

* Para no provocar una salinización del acuífero, no debe procederse a la explotación de los pozos 4, 5 y 6.