

INVESTIGACION HIDROGEOLOGICA

DE LA CUENCA DEL DUERO

SISTEMAS N^{OS} 8 Y 12

TOMO I

RESUMEN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONSULTOR :

INIFIG



OCTUBRE, 1979

INSTITUTO
GEOLOGICO Y MINERO
DE ESPAÑA



MINISTERIO DE
INDUSTRIA Y
ENERGIA

COMISARIA
DE LA ENERGIA Y
RECURSOS MINERALES

33676

MINISTERIO
DE
INDUSTRIA Y ENERGIA

IGME
INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

PROYECTO PARA LA INVESTIGACION HIDROGEOLOGICA
DE LA CUENCA DEL DUERO
SISTEMAS N^{os}: 8 Y 12

TOMO I

RESUMEN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONSULTOR:

IIIFIG



OCTUBRE, 1979

PROYECTO PARA LA INVESTIGACION HIDROGEOLOGICA DE LA

CUENCA DEL DUERO

Sistemas n^{os} 8 y 12

SUMARIO GENERAL

TOMO I	Resumen, conclusiones y recomendaciones
TOMO II	Cap. I. Descripción general de la Cuenca del Duero. Cap. II. Utilización actual del agua y estimación de las necesidades futuras.
TOMO III	Cap. III. Hidrología superficial.
TOMO IV	Cap. IV. Geología y geometría de los acuíferos Cap. V. Acuíferos superficiales.
TOMO V	Cap. VI. Características hidráulicas de los acuíferos profundos. Cap. VII. Piezometría de los acuíferos profundos.
TOMO VI	Cap. VIII. Funcionamiento hidrogeológico de los - acuíferos profundos. Balance hídrico. Cap. IX. Calidad del agua. Cap. X. Aspectos hidroeconómicos de las aguas - subterráneas. Cap. XI. Bibliografía.
TOMO VII	Planos II.1 a III.9
TOMO VIII	Planos IV.1 a IV.11

TOMO IX. Planos V.1 a VI.7

TOMO X Planos VII.1 a X.1

PRESENTACION

El "Proyecto de investigación hidrogeológica de la Cuenca del Duero. Sistemas n^{os} 8 y 12", que aquí presentamos ha sido realizado por el INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA (I.G.M.E.) dentro del "Plan Nacional de Investigación de Aguas Subterráneas" (P.I.A.S.), que a su vez está encuadrado en el "Plan Nacional de Investigación Minera" (P.N.I.M.).

Su realización representa un paso más, de los muchos ya dados por el I.G.M.E., para dotar al país de la infraestructura hidrogeológica que necesita y alcanzar un nivel adecuado en el conocimiento hidrogeológico de los distintos sistemas acuíferos españoles. Desde 1971 -fecha en la que empezó la actividad del P.I.A.S.- hasta el momento actual, además de terminar los estudios de la cuenca del Guadalquivir, se han investigado las siguientes regiones:

- Cuenca Media y Baja del Júcar
- Cuencas Altas del Júcar y del Segura
- Cuenca Media y Baja del Segura
- Cuenca Alta y Media del Guadiana
- Cuenca Sur-Zona Occidental (Málaga)
- Cuenca Sur-Zona Oriental (Almería)
- Baleares
- Cuenca del Duero

y se han iniciado estudios en las Cuencas del Ebro, del Tajo y del Norte.

La Cuenca del Duero ofrece una serie de singularidades que aconsejan abordar su estudio con un planteamiento algo diferente del de las restantes cuencas estudiadas. Ellas se pueden resumir muy brevemente en tres: su gran extensión superficial, el gran espesor de los sedimentos saturados y la compleja es-

estructura interna del Terciario detrítico que es la principal formación acuífera de la Cuenca.

En consecuencia el estudio se planteó en dos fases sucesivas. La primera, 1972-1976, tuvo un carácter preliminar y se centró en tres temas básicos: inventario de puntos de agua, establecimiento de una red piezométrica e iniciación de la cartografía hidrogeológica.

La segunda fase, 1977-1979, es la que constituye el Proyecto de investigación propiamente dicho.

Esta publicación resume los resultados obtenidos en las dos fases mencionadas y tiene por objeto permitir su más amplia difusión entre todas aquellas personas y entidades, públicas o privadas interesadas de un modo u otro en la investigación, planificación o gestión de los recursos hidráulicos de nuestro país. El informe propiamente dicho del Proyecto consta de los siguientes capítulos:

RESUMEN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

CAPITULO	I: DESCRIPCION GENERAL DE LA CUENCA DEL DUERO
CAPITULO	II: UTILIZACION ACTUAL DEL AGUA Y ESTIMACION DE LAS NECESIDADES FUTURAS
CAPITULO	III: HIDROLOGIA SUPERFICIAL
CAPITULO	VI: GEOLOGIA Y GEOMETRIA DE LOS ACUIFEROS
CAPITULO	V: ACUIFEROS SUPERFICIALES
CAPITULO	VI: CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DE LOS ACUIFEROS PROFUNDOS
CAPITULO	VII: PIEZOMETRIA DE LOS ACUIFEROS PROFUNDOS
CAPITULO	VIII: FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLOGICO DE LOS ACUIFEROS PROFUNDOS, BALANCE HIDRICO.
CAPITULO	IX: CALIDAD DEL AGUA

CAPITULO	X: ASPECTOS HIDROECONOMICOS DE LAS AGUAS SUBTE RRANEAS.
CAPITULO	XI: BIBLIOGRAFIA

El informe, así como toda la información complementaria (inventario de puntos de agua, cartografía hidrogeológica, campañas de geofísica, aforos de ríos, ensayos de bombeo, análisis químicos de agua, etc.) se puede consultar en las dependencias del I.G.M.E., especialmente en la oficina regional de Valladolid.

EQUIPOS DE TRABAJO

El presente informe ha sido realizado por el INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA con la colaboración de INIFIG, agrupación de las empresas INTECSA, IBERGESA, FINA IBERICA, IBERICA DE SONDEOS Y GEOTECNIA, temporalmente asociadas a tal fin.

Los técnicos que han intervenido en el estudio han sido los siguientes:

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

D. Juan E. Coma Guillén Supervisor General*	Dr. Ingeniero de Minas
D. Jeronimo Abad Fernandez Supervisor General **	Dr. Ingeniero de Minas
D. Jesús Gómez de las Heras Gandullo Director del Proyecto	Ingeniero de Minas
D. Armando Ballester Rodríguez	Ingeniero de Minas
D. Cayetano Lucena Bonny	Ingeniero de Minas
D. Jorge Porras Martín	Dr. Ingeniero de Minas
D. Antonio Piñero Coronel	Ingeniero Técnico de Minas

* Feb. 1977 - Agosto 1979

** Sep. 1979 - Diciembre 1979

AGRUPACION DE EMPRESAS INIFIG

D. Borja Martí Vallbona Responsable	Dr. Ingeniero Agrónomo
D. Jaime del Pozo Granado	Ingeniero de Minas
D. Manuel Espejo Bueno	Ldo. en Ciencias Geológicas
D. Alfonso Nuñez Galiano	Ldo. en Ciencias Geológicas
D. Fernando Gonzalez Feroso	Ingeniero de Montes
D. Luis López García	Dr. Ingeniero de Caminos C.y P. Ldo. en Ciencias Geológicas
D. Alfonso Maldonado Zamora	Dr. Ingeniero de Minas
D. Vicente Ruiz de la Lopa	Ldo. en Ciencias Geológicas
D. Alberto Mazariegos de la Serna	Ldo. en Ciencias Geológicas
D. Jose M ^a Mena Inglés	Ldo. en Ciencias Geológicas
D. Javier Rodriguez Ayuso	Ldo. en Ciencias Económicas
D. Carlos Kaiser Ruiz del Olmo	Ldo. en Ciencias Geológicas
D. Joaquín Solís Camba	Ingeniero Técnico de O.P.
D. José Monterde Ruiz	Ingeniero Técnico de Minas
D. Manuel Porras Cabañero	Ingeniero Técnico de Minas
D. Vicente Ortiz Mora	Ingeniero Técnico Agrícola
D. José Carles Vento	Ingeniero Técnico Agrícola

D. Francisco Ramirez de Mora	Ingeniero Técnico de Minas
D. Manuel Torres Quintana	Maestro Industrial
D. José M. Sancho García	Auxiliar Técnico

ASESORES ESPECIALISTAS

D. Jean Louis Astier	Asesor en Geofísica
D. Agustín Navarro	Asesor en Hidrogeología
D. Ernesto Orellana Silva	Asesor en Geofísica
D. Nguyen Quang Trac	Asesor en Hidrogeología
D. Manuel López Linares	Asesor en Geofísica

Además, ha colaborado el Departamento de Geodinámica Externa e Hidrogeología de la Universidad de Salamanca a través de Javier Sánchez San Román y Julián Rodríguez Díez que realizan - sus respectivas tesis doctorales sobre la Hidrogeología de - una parte de la Cuenca del Duero.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos la desinteresada colaboración de todas las personas y entidades públicas o privadas que han facilitado datos para la realización del estudio.

En especial agradecemos:

Al Servicio de Extensión Agraria (S.E.A.) su valiosa aportación al conocimiento de las superficies regadas en los municipios de la Cuenca y su colaboración en la preparación y desarrollo de los Cursos de Hidrogeología impartidos a sus Agentes.

Al Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario (IRYDA) las facilidades prestadas para utilizar como piezómetros los sondeos de reconocimiento que ha perforado en la Cuenca así como los datos de dichas perforaciones e información sobre los planes de riego.

A la Confederación Hidrográfica y Comisaría de Aguas del Duero (C.H.D. y C.A.H.) los datos aportados sobre planes hidráulicos y aforos de ríos.

Y a: Vegarada, Perforaciones Farrapeira, Sondeos Martínez, Perforaciones Barbero, Jiménez, Riegos y Proyectos, Perforaciones y Riegos, Rodio, Agua y Suelo, Hidropersa, Perforaciones Testera, Balmasa, Colino, Pozas, San Gregorio y Sondeos - Angel Galián, las facilidades prestadas para obtener datos de los sondeos, testificaciones y ensayos de bombeo por ellos realizados.

RESUMEN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

S U M A R I O

1.- INTRODUCCION

- 1.1.- Importancia de las aguas subterráneas en la Cuenca Terciaria del Duero.
- 1.2.- Antecedentes del actual Proyecto de investigación
- 1.3.- Objetivos del Proyecto
- 1.4.- Actividades del Proyecto

2.- RESUMEN Y CONCLUSIONES

- 2.1.- Características generales de la región
- 2.2.- Utilización del agua
- 2.3.- Recursos de agua superficial
- 2.4.- Recursos de agua subterránea
- 2.5.- Calidad del agua subterránea

3.- RECOMENDACIONES SOBRE LA EXPLOTACION DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS SUBTERRANEOS DE LA CUENCA TERCIARIA DEL DUERO

- 3.1.- Recomendaciones generales
- 3.2. Zonas con problemas de explotación

4.- PROGRAMA DE ACTIVIDADES FUTURAS

- 4.1.- Organización de oficinas regionales
- 4.2.- Estudios complementarios de investigación hidrogeológica.
- 4.3.- Proyectos de explotación de aguas subterráneas
- 4.4.- Establecimiento de zonas piloto de riego con aguas subterráneas
- 4.5.- Cursos de divulgación hidrogeológica
- 4.6. Edición de mapas hidrogeológicos

GRAFICOS

- 1.- Situación de la región en estudio
- 2.- Situación de los principales acuíferos superficiales
- 3.- Corte esquemático del Páramo de Cuéllar
- 4.- Corte esquemático de las Rañas de León
- 5.- División del Terciario Detrítico en regiones hidrogeológicas
- 6.- Esquema del flujo en la región de los Arenales
- 7.- Esquema del flujo en la región Esla-Valderaduey
- 8.- Esquemas del flujo en la región de los Páramos y en la región de la Ibérica
- 9.- Conductividad del agua en el Terciario Detrítico
- 10.- Zonas con problemas de explotación de aguas subterráneas

1.- INTRODUCCION

En este informe se describen los trabajos realizados por el I.G.M.E. para la investigación hidrogeológica de los sistemas acuíferos N^os 8 y 12 del "Mapa de Síntesis de Sistemas Acuíferos de España Peninsular, Baleares y Canarias".

Los dos sistemas mencionados se identifican prácticamente con la Cuenca Terciaria del Duero. Abarcan una extensión de 43.455 Km², lo que representa el nueve por ciento de la superficie nacional. En conjunto, constituyen, sin duda, la mayor unidad hidrogeológica de la Península.

1.1.- Importancia de las aguas subterráneas en la Cuenca Terciaria del Duero

La Cuenca del Duero cuenta con importantes recursos hidráulicos tanto en cifras absolutas como relativas. Su aportación media anual es de unos 11.200 millones de metros cúbicos, situándose por este concepto en el segundo lugar de las cuencas españolas después de la del Ebro. En términos relativos se puede decir que es una región con abundantes recursos pues sus habitantes cuentan con una "renta de agua per cápita" de unos 7.000 m³/hab x año, mientras que la media nacional se sitúa alrededor de los 3.000 m³/hab x año.

En este conjunto las aguas subterráneas son, aparentemente, poco importantes pues solo representan la sexta parte de los recursos totales de la cuenca, -

mientras que las superficiales representan las otras cinco partes. Pero estas cifras conducen a una imagen falsa de la realidad, pues las aguas subterráneas de la Cuenca Terciaria del Duero cobran una especial importancia cuando se contemplan desde el punto de vista del usuario. Ello es así por dos motivos fundamentales:

En primer lugar, porque la red hidrográfica de la Meseta está muy poco desarrollada y sólo un número muy limitado de usuarios tienen acceso directo al agua que discurre por los ríos. Por el contrario, en grandes áreas de la Cuenca, las aguas subterráneas se encuentran al alcance de casi cualquier agricultor.

Y, en segundo lugar, son numerosos los ríos que carecen de obras hidráulicas de regulación. Sus agudos estiajes, precisamente cuando son máximas las necesidades de agua para riego, constituyen otro serio inconveniente para la utilización de las aguas superficiales, mientras que las aguas subterráneas se caracterizan por su gran regulación natural.

La consecuencia final es que del total del agua utilizada una cuarta parte es de origen subterráneo y tres cuartas partes de origen superficial. Están más explotados (proporcionalmente) los acuíferos que los ríos, con la circunstancia adicional de que ha sido la iniciativa privada la que ha impulsado (y tiene en sus manos) la explotación de las aguas subterráneas y la Administración Pública quién ha realizado los planes hidráulicos para el aprovechamiento de las aguas superficiales. Esta consideración -

nos lleva de la mano a otra de gran importancia práctica: mientras que la explotación de los ríos está - sometida a una planificación, los acuíferos se explotan anárquicamente con toda la secuela de consecuencias que ello supone.

Otro índice revelador de la importancia hidrográfica en la región estudiada se obtiene de la consideración del número de captaciones existentes y de sus cacterísticas. De los estudios realizados se deduce que en la Cuenca Terciaria del Duero deben existir - unos 2.000 sondeos destinados a abastecimientos urba nos e industriales y de 5.000 a 6.000 sondeos para - regadío. El número de pozos ordinarios supera proba blemente el de 20.000. Las longitudes de las perfora ciones suman, seguramente, más de 1.000 Km y con los sondeos y pozos mencionados se riegan unas 100.000 - ha. y se abastecen más de 800.000 habitantes.

En resumen, para calibrar en su justa medida la im-- portancia hidrogeológica de la región estudiada debe tenerse presente:

- Constituye, por su extensión, la mayor unidad hi-- drogeológica de la Península.
- Sus recursos de agua Subterránea están en la rela-- ción de 1 a 6 respecto a los recursos de aguas su-- perficiales.
- Sin embargo, la relación de aguas subterráneas uti-- lizadas/aguas superficiales utilizadas, es de 1 a 3.
- La explotación de las aguas superficiales está pla-- nificada; la de las aguas subterráneas es anárquica.

- Se abastecen más de 800.000 habitantes y se riegan unas 100.000 ha. con aguas subterráneas.
- Las perforaciones existentes suman, probablemente, más de 1.000 Km de longitud.

1.2.- Antecedentes del actual Proyecto de investigación

La Cuenca Terciaria del Duero cuenta con una gran tradición hidrogeológica -especialmente la cuenca artésiana de León- y ha sido de objeto de numerosos estudios hidrogeológicos regionales y locales.

Los primeros sondeos de los que tenemos noticia datan de finales del siglo pasado y corresponden a sondeos de pequeño diámetro, perforados con "machina" en las áreas surgentes de la cuenca del Esla. Sus datos, acompañados de interesantes anotaciones, están recogidos en el "Estudio general de la Cuenca artésiana de León" realizado por el IGME en 1932. Es un documento de gran valor histórico y constituye el primer inventario de puntos de agua realizado con criterios modernos en la Cuenca del Duero.

En 1966 el IRYDA (INC) redacta el "Plan de Investigación de aguas subterráneas en la Cuenca del Duero". Es un documento especialmente valioso por los importantes trabajos de prospección geofísica realizados y que dió origen a un programa de perforación de sondeos de reconocimiento hidrogeológico llevado a cabo, en su mayor parte, entre 1967 y 1975. En total se perforaron unos 250 sondeos, de profundidades generalmente comprendidas entre 100 y 500 m. y que sirvie--

ron como base al IGME para el establecimiento de una red piezométrica controlada desde 1972.

A partir de 1967 el IGME desarrolla una importante - actividad hidrogeológica en la Cuenca, que en síntesis comprende:

- Redacción del "Estudio Hidrogeológico de la cuenca artesiana de León" (1967).
- Asesoramiento al IRYDA en el desarrollo del programa de perforación de sondeos de reconocimiento y - realización de ensayos de bombeo.
- Acuerdos de asesoramiento hidrogeológico a las Diputaciones provinciales de León, Zamora y Salamanca.
- Redacción del "Estudio hidrogeológico de la Provincia de Zamora" (1970).
- Redacción del "Informe sobre el Cuaternario de la Cuenca del Duero".
- A partir de 1972, establecimiento de una oficina - regional en Valladolid, que culminó sus trabajos - en 1976 con la redacción del "Informe sobre la evolución de los conocimientos hidrogeológicos del - Terciario detrítico de la Cuenca del Duero".

Por su parte el M.O.P.U. a través del Servicio Geológico de Obras Públicas, realiza en 1976 el "Estudio hidrogeológico para el abastecimiento de agua a León" y el mismo Organismo, conjuntamente con la C.A.D. redacta en 1977 el "Estudio de recopilación y síntesis de los recursos hidráulicos de la cuenca del Esla" y

el "Estudio de recopilación y síntesis de los recursos hidráulicos de las cuencas del Arlanza y Arlanza".

Finalmente, debemos citar los numerosos estudios de prospección geofísica con fines hidrogeológicos realizados por personas y entidades públicas o privadas y que en número próximo a los 200 se encuentran archivados en la oficina regional de Valladolid.

La labor realizada por la oficina regional del IGME en Valladolid desde 1972 hasta 1976 constituye el antecedente más directo del presente estudio. Entre los trabajos realizados en dicho periodo destacan: - el inventario de puntos de agua (especialmente la obtención de las columnas litológicas de los sondeos perforados en aquellas fechas), las medidas de niveles piezométricos efectuadas mensualmente en el periodo de 1972-1973 en unos 600 piezómetros y semestralmente durante el periodo de 1973-1976 en unos 300 piezómetros y la iniciación de la cartografía hidrogeológica.

1.3.- Objetivos del Proyecto

La complejidad hidrogeológica de la Cuenca Terciaria del Duero no aconsejaba fijar a priori unos objetivos rígidos al Proyecto de investigación pues se desconocía el orden de magnitud de sus recursos de agua subterránea y se tenían dudas sobre su funcionamiento hidrogeológico general. Incluso llegó a pensarse en algún momento que sus recursos eran despreciables y que el Proyecto debía limitarse a evaluar las re-

servas almacenadas en el Terciario detrítico conside radas como aguas fósiles. Por ello, desde un punto - de vista estrictamente hidrogeológico, sus principales objetivos han sido:

- Definir el esquema general del flujo subterráneo.
- Identificar áreas de recarga y de descarga.
- Estudiar las relaciones entre acuíferos.
- Estudiar y analizar las relaciones entre las aguas superficiales y subterráneas.
- Establecer un balance hídrico.
- Estudiar la calidad del agua subterránea.

Pero, además, dado el carácter práctico del Proyecto ha sido también un objetivo del mismo estudiar la - utilización del agua determinando:

- Caudales de agua utilizados.
- Origen de los mismos (aguas superficiales o subterráneas).
- Destino del agua captada.
- Distribución geográfica y estacional de las demandas de agua.
- Establecer un balance hídrico.
- Estudiar la calidad del agua subterránea.

Pero, además, dado el carácter práctico del Proyecto ha sido también un objetivo del mismo estudiar la utilización del agua determinando:

- Caudales de agua utilizados.
- Origen de los mismos (aguas superficiales o subterráneas).
- Destino del agua captada.
- Distribución geográfica y estacional de las demandas de agua.
- Estimación de las necesidades futuras.

Finalmente, se han analizado, aunque de un modo somero, las posibilidades de la explotación de los recursos hidráulicos subterráneos para satisfacer dichas demandas y resolver los problemas de abastecimiento existentes.

Insistimos en que el objetivo fundamental del Proyecto ha sido la "investigación de las aguas subterráneas" y que se ha prescindido en consecuencia de todos aquellos aspectos secundarios que podían desviarle de tal fin.

1.4.- Actividades del Proyecto

Las actividades desarrolladas durante el periodo de vigencia del Proyecto se pueden clasificar en cuatro grupos:

- De investigación.

- De asesoramiento y solución de problemas existentes
- De divulgación.
- De gestión para el establecimiento de zonas piloto de riego con aguas subterráneas.

Actividades de investigación

Las actividades de investigación han sido, naturalmente, las más importantes en cuanto a dedicación de medios humanos y técnicos. Se pueden a su vez subdividir en dos: obtención de datos básicos y elaboración de informes.

Entre la obtención de datos básicos destacan:

- Inventario de puntos de agua.
- Cartografía hidrogeológica a escala 1:50.000.
- Testificación de sondeos.
- Sondeos eléctricos verticales.
- Aforos con molinete en ríos y manantiales.
- Ensayos de bombeo.
- Medidas de niveles piezométricos.
- Encuestas sobre riego.
- Recopilación de estudios e informes existentes.

Los informes y notas técnicas elaboradas a lo largo del proyecto pasan de 30 y sus títulos se detallan en el capítulo XII. Bibliografía. Han servido de base para la redacción de este informe.

Actividades de asesoramiento y solución de problemas existentes

El Proyecto ha prestado su asesoramiento a todas aquellas empresas, entidades o personas que lo han solicitado, como ha sido el caso del IRYDA, Delegaciones del Ministerio de Industria de Avila, Zamora, Valladolid y Salamanca, Episa, Hispano-Alemana de Sondeos, Sondeos Martínez, Sondeos Angel Galiñán, Aguas Subterráneas, Ayuntamiento de Zaratán, Jefatura Regional del Arma de Ingeniero, Agentes de Extensión Agraria, Gerencia de Tierra de Campos, Ayuntamiento de Matapuzuelo, etc.

Además, ha colaborado en los siguientes abastecimientos con aguas subterráneas realizados por el IGME o por los Servicios Técnicos de las Diputaciones Provinciales:

- | | |
|-------------------------|------------------------------|
| - Villamarciel | - Boadilla de Rioseco |
| - Fuentelisendo | - C.I.B.A. |
| - Villamañán | - Boadilla |
| - San Esteban del Molar | - Santibañes de Vidriales |
| - Medina de Rioseco | - Bercianos de Vidriales |
| - Villanueva de Azoague | - Martín de Yeltes |
| - León | - El Cubo del Vino |
| - Toro | - Navatalgordo y Navaquesera |
| - Mancera de Abajo | - Mata de Armuña |
| - Tordillos | - Villarino de los Aires |
| - Tamames | - Las Veguillas |
| - Vega de Sta. María | - Matapuzuelo |

Divulgación hidrogeológica

El Proyecto consideró que una actividad importante era la divulgación de los conocimientos que sucesivamente se iban obteniendo sobre la hidrogeología de la cuenca del Duero para que fueran útiles a la re--

gión sin necesidad de esperar al fin de los trabajos en curso.

Dado el carácter esencialmente agrícola y rural de la Cuenca estaba claro que los destinatarios tenían que ser los agricultores de la Cuenca, que son los grandes consumidores de agua subterránea. Y se pensó que el canal idóneo para transmitir los conocimientos hidrogeológicos era el Servicio de Extensión Agraria del Ministerio de Agricultura.

Por otra parte, ya los primeros contactos del Proyecto con la realidad de la Cuenca, habían puesto de relieve la ignorancia a nivel de hombre de la calle en todo lo concerniente a las aguas subterráneas y las obras de captación, por lo que la labor de divulgación se programó en forma de Cursillos en los que se incluían una serie de clases de divulgación hidrogeológica general.

En total se impartieron cuatro cursillos, de una semana de duración cada uno, por los que pasaron todos los Agentes de Extensión Agraria de la Cuenca del Duero que podían estar interesados en el tema en función de las características de sus respectivas Agencias.

Los cursillos se celebraron en la Escuela de Capacitación Agraria del S.E.A. en Palencia, en total coordinación con dicho Servicio.

Los cursillos tuvieron un fruto inmediato en dos aspectos. En primer lugar, los Agentes de Extensión Agraria pudieron, a partir de ese momento, aconsejar a los agricultores interesados en realizar transformaciones en regadío mediante aguas subterráneas. En segundo lugar, se inició una estrecha colaboración IGME-SEA de incalculable transcendencia para el Proyecto pues el IGME continuó su labor divulgadora realizando ensayos de bombeo demostrativos con la asistencia de Agentes de Extensión Agraria, e inició una labor de asesoramiento a los Agentes que lo solicitaban. A su vez el SEA proporcionó al IGME valiosa información sobre distribución de regadíos, análisis químicos de agua y facilitó la realización de testificaciones y de ensayos de bombeo muy útiles para la investigación hidrogeológica de la Cuenca.

Gestiones para el establecimiento de zonas piloto de regadío con aguas subterráneas

En la Cuenca Terciaria del Duero existe un elevado número de explotaciones agrícolas que por su reducido tamaño no justifican la perforación de sondeos profundos para su transformación en regadío pues ésta es a todas luces antieconómica. Por análogas razones muchos de los sondeos existentes están infrautilizados, ya que pueden proporcionar caudales superiores a los necesarios para regar las tierras disponibles en la explotación, lo que se traduce en definitiva en un mayor coste del agua utilizada.

Ante ésta situación se pensó que podía tener interés establecer una serie de zonas piloto de regadío con aguas subterráneas con el principal objetivo de mos-

trar a los agricultores las ventajas que, en muchas ocasiones, puede reportar la explotación en común de las obras de captación (línea de transporte de energía, estación transformadora, sondeos, equipo de bombeo y depósito de regulación). Además, dichas explotaciones proporcionarían al Proyecto datos fidedignos sobre la rentabilidad de los regadíos con agua subterránea en la Cuenca del Duero.

Evidentemente, una acción de este tipo no la podía abordar el I.G.M.E. por sí solo, por lo que se buscó la cooperación del S.E.A. y del IRYDA.

La misión del IGME sería seleccionar las zonas hidrogeológicamente favorables para el establecimiento de las zonas piloto y la redacción de los proyectos de captación de regadío.

El IRYDA proporcionaría los auxilios económicos necesarios para la ejecución de las obras.

En el momento actual se han seleccionado siete posibles zonas de actuación y se cuenta, en dos de ellas, con sendos grupos de agricultores dispuestos, en principio, a utilizar en común las obras de captación de agua y se está estudiando con el IRYDA su modo concreto de colaboración.

Como se puede ver, la labor está solamente iniciada y todavía no se han conseguido resultados concretos, pero confiamos que se podrán alcanzar en un futuro próximo constituyendo una de las actividades más importantes del Proyecto.

2.- RESUMEN Y CONCLUSIONES

2.1.- Características generales de la región

Para comprender correctamente el alcance y el significado del estudio realizado es preciso tener en cuenta el marco físico, humano y socioeconómico en el que se encuadra, pues en la medida en que este varía de una región a otra o de un país a otro las conclusiones pueden ser distintas aún cuando los resultados técnicos sean análogos.

Geografía física

La región estudiada (gráficos 1 y 1-A) tiene una extensión de 43.455 Km². Constituye una altiplanicie de 600 m. de altitud media, en la que predominan las superficies planas subhorizontales (pendientes del orden del 5 por mil) situadas a distintas cotas: páramos de rañas de 850 a 1000 m., páramos calcáreos de 800 a 900 m., campiñas de 700 a 900 m., separadas entre sí por "cuestas" más o menos pronunciadas.

Desde el punto de vista geológico constituye una gran cubeta de origen tectónico formada ya en sus rasgos esenciales a finales del Mesozoico y que fué rellenándose durante el Terciario con sedimentos detríticos, y evaporíticos. El espesor del terciario es grande, en general superior a 1000 m., alcanzándose más de 2000 en algunas zonas como Burgos y Aranda de Duero.

El mayor volúmen de sedimentos terciarios está constituido por capas más o menos lenticulares de arenas y arenas limosas o arcillosas englobadas en una matriz limosa y arcillo-arenosa o con menos frecuencia arcillosa, caracterizada en su conjunto por los frecuentes cambios de facies tanto vertical como horizontalmente. Hacia los bordes, pero ya muy próximos a ellos, las facies se vuelven más conglomeráticas con mayor proporción de elementos gruesos.

En una gran zona central, de forma groseramente triangular, comprendida entre Medina de Rioseco^{VA}-Palencia-Castrogeriz-Peñafiel^{VA}-Cuéllar^{SA}, sobre los sedimentos detríticos e indentados con ellos aparecen otros evaporíticos, también de edad terciaria, constituidos por margas y margas yesíferas coronadas por calizas pontienses que la erosión ha reducido a isleos. Solamente en Cuéllar y en Torozos el páramo calcáreo tiene apreciable extensión pero con una importante diferencia: entre 20 y 60 m., mientras que en Torozos el espesor de las calizas es de unos pocos metros.

El Pliocuaternario, en forma de rañas, está ampliamente representado en las cuencas del Esla, Cea-Valderaduey y Carrión, donde puede alcanzar varias decenas de metros de espesor.

El Cuaternario está representado por las terrazas y aluviales depositados a lo largo de los ríos. Estas formaciones están bien desarrolladas a lo largo del Duero y sus afluentes de la margen derecha (Esla, Valderaduey, Pisuegra, etc.), pero son prácticamente inexistentes en los afluentes de la izquierda (Eresma, Voltoya, Adaja, etc.). Las recientes investiga-

ciones realizadas para el MAGNA señalan que las terrazas de estos ríos tienen mayor extensión que la supuesta hasta ahora, pero carecen de interés hidrogeológico. En estas cuencas el Cuaternario está representado por extensos arenales que ocupan gran parte de las provincias de Avila, Segovia y Valladolid.

La antiplanicie está circundada por un perímetro montañoso constituido por los Montes de León al Noroeste, la Cordillera Cantábrica al Norte, la Cordillera Ibérica al Este y Noreste y el Sistema Central al Sur, y que confiere un gran aislamiento orográfico a la región estudiada.

Consecuencia de este aislamiento y de su elevada altitud media, es su clima extremado con inviernos largos y fríos y veranos cortos.

Geografía humana y económica

La población de la región estudiada asciende a 1.645.000 habitantes (datos de 1975), lo que supone el 5% de la población total española. Su densidad de población es de 37 hab/Km²; inferior a la media nacional (68 hab/Km²). El 47% de la población se concentra en las capitales de provincia, distribuyéndose el resto entre 1348 municipios de los que sólo 11 superan los 6.000 habitantes.

POBLACION DE LAS CAPITALS DE PROVINCIA
INCLUIDAS EN LA REGION ESTUDIADA (1975)

Burgos	134.682
León	115.176
Palencia	63.557
Salamanca	133.288
Valladolid	287.230
Zamora	<u>52.180</u>
	786.113

DISTRIBUCION DE LA POBLACION RURAL (1975)

	<u>Número de</u> <u>Municipios</u>	<u>Población</u>
Menos de 1.000 habitantes	1.042	297.571
De 1000 a 6000 "	295	427.576
De 6000 a 12.000 "	8	81.866
De 12.000 a 50.000 habitantes	<u>3</u>	<u>52.233</u>
	1.348	859.266

Estas cifras demuestran el carácter marcadamente rural de la región.

Durante las últimas décadas la evolución de la población ha sido creciente, excepto en el período 1970-75 en que ha sufrido una ligera disminución. En el año 1960 la población regional era de 1.535.000 habitantes frente a 1.645.000 en 1975. Sin embargo, estas cifras enmascaran el proceso de despoblación rural, pues todas las capitales de provincia crecieron fuertemente en dicho período.

	<u>Año 1950</u>	<u>Año 1975</u>
Capitales de provincia	418.152	786.113
Población rural	<u>1.116.751</u>	<u>859.266</u>
Total	1.534.903	1.645.379

Así pues el campo ha perdido 257.000 habitantes en el periodo 1950-75.

Estas cifras, de por sí preocupantes, lo son todavía más si se tiene en cuenta que el principal pilar económico de la región es la agricultura, sector que emplea al 36% de la población activa (dato de 1976) y que aporta el 25% del producto neto total de la región.

La región tiene, en efecto, una clara vocación agrícola y ganadera, pese a la rudeza del clima que limita los cultivos posibles. En el secano tienen un gran peso los cultivos cerealistas (cebada, trigo) y en menor proporción las leguminosas y el girasol. La superficie cultivada en regadío es importante, pues asciende a 330.000 ha., que representan alrededor del 11% del total nacional. El principal cultivo de regadío es la remolacha azucarera, seguido muy de lejos por la patata y la alfalfa.

La ganadería (ovino, vacuno, porcino y aves) constituye una parte importante de la producción final agraria de la región estudiada y su entorno. Llama la atención la desproporción que existe entre la importancia de la ganadería en la región y la escasez de cultivos forrajeros, lo que obliga a importar forrajes (alfalfa) de otras regiones españolas (Navarra,

Valle del Ebro) en cuanto escasean los pastos naturales. Ante esta situación es razonable suponer que en el futuro se incrementarán los cultivos forrajeros, lo que permitirá aumentar la cabaña o mejorar las razas actuales. En este sentido los regadíos, o sea el agua, desempeñarán un papel de primer orden.

El sector industrial tiene poca importancia en el conjunto de las provincias que integran la Cuenca del Duero, pues su producción solo representa el 6% del total nacional. Valladolid y León son las provincias más industrializadas, sumando entre ambas el 46% del valor añadido bruto de las nueve provincias del Duero; Avila, Soria, Segovia y Zamora solo suman el 18%.

En cuanto a la composición del sector, los subsectores con más peso son: edificación y obras públicas, transformados metálicos, alimentación y aguas, gas y electricidad que en conjunto suman el 61% del total de la producción industrial del conjunto de las provincias de la Cuenca.

2.2.- Utilización del agua

Actualmente se utilizan en la región $2.310 \text{ hm}^3/\text{año}$, que supone el 20% de sus recursos hidráulicos totales. No se contabiliza en esta cifra el agua utilizada para producción de energía hidroeléctrica. El uso consuntivo (no recuperable) es de $1.560 \text{ hm}^3/\text{año}$ ascendiendo las aguas residuales y sobrantes de riego a $700 \text{ hm}^3/\text{año}$.

Aproximadamente, el 75% del agua utilizada es de origen superficial y el 25% restante de origen subterráneo.

Las necesidades futuras de agua son difíciles de evaluar y el estudio detallado de los factores que en ella influyen se sale de los límites lógicos del Proyecto. Creemos razonable estimar que en el año 1995 las necesidades totales de agua en la región será - del orden de $3.240 \text{ hm}^3/\text{año}$.

El desglose de las demandas de agua por sectores es el siguiente:

Abastecimientos urbanos

Actualmente se utilizan para el abastecimiento de la población $157 \text{ hm}^3/\text{año}$, correspondiendo el 70% a las capitales de provincias ($106 \text{ hm}^3/\text{año}$) y el 30% restante a la población rural ($51 \text{ hm}^3/\text{año}$).

DEMANDA DE LA POBLACION RURAL

<u>Nivel Urbanístico</u>	<u>Número de municipios</u>	<u>Población en 1975</u>	<u>Dotación 1/h x dfa</u>	<u>Demanda $\text{hm}^3/\text{año}$</u>
A	1.042	297.571	110	12
B	295	420.750	165	26
C	8	61.133	220	5
D	3	<u>79.812</u>	275	<u>8</u>
Totales	1.348	859.266		51

DEMANDA DE LAS CAPITALS DE PROVINCIA

<u>Capital</u>	<u>Población</u>	<u>Dotación l/hab. x día</u>	<u>Demanda hm³/año</u>
Burgos	134.682	330	16
León	115.176	330	14
Palencia	63.557	330	8
Salamanca	133.288	330	16
Valladolid	287.230	440	46
Zamora	<u>52.180</u>	330	<u>6</u>
Totales	786.113		106

Todas las capitales de provincia se abastecen con - aguas superficiales y prácticamente la totalidad de la población rural se abastece con aguas subterráneas por lo que se puede admitir con suficiente aproximación que 110 hm³/año proceden de ríos y 47 hm³/año - son de origen subterráneo.

Desde el punto de vista práctico es interesante señalar que la demanda para el abastecimiento de la población rural ofrece una gran dispersión geográfica y que los caudales puntuales necesarios son siempre pequeños (inferiores a 1,2 l/s en el 80% de los casos). Ambas características hacen que sea muy idóneo su abastecimiento con pozos o sondeos.

En primera aproximación se supone que las aguas residuales representan el 75% del agua utilizada:

Agua utilizada	157 hm ³ /año
Agua consumida	39 hm ³ /año
Aguas residuales	118 hm ³ /año

La demanda futura para el año horizonte 1995 se ha estimado suponiendo que la población rural permanece estacionaria y que las capitales de provincia siguen creciendo a un ritmo análogo al observado durante las últimas décadas (lo que puede ser optimista). Además, se supone que las dotaciones se multiplican por 1,6. Con estas hipótesis resulta una demanda futura estimada de $350 \text{ hm}^3/\text{año}$ en números redondos.

Abastecimientos industriales

Las dotaciones para el abastecimiento de la población incluyen las necesidades de agua para las industrias próximas a los núcleos urbanos, por lo que aquí sólo consideraremos los polígonos industriales existentes. Los principales son: Gamonal y Villalonguejat en Burgos, Allende Duero en Aranda de Duero, N^a S^a de los Angeles en Palencia, El Montalvo en Salamanca y Argales en Valladolid. Otros como son los de León y Zamora, todavía no están en funcionamiento.

En conjunto se estima que utilizan anualmente unos 50 hm^3 , y que en el futuro esta cifra se podría multiplicar por dos.

Regadíos

El gran consumidor de agua en la Cuenca del Duero es el sector agrícola. En total se riegan 330.000 ha., cuyo desglose por cuencas hidrográficas y según el origen del agua es el siguiente:

HECTAREAS REGADAS

<u>Cuenca</u>	<u>Ríos</u>	<u>Manantiales</u>	<u>Pozos</u>	<u>Sondeos</u>	<u>Total</u>
Esla	98.460	2.252	15.101	1.849	117.705
Cea-Valde <u>ra</u> duey	8.263	44	1.638	2.300	12.181
Pisuerga	66.275	668	2.955	929	70.872
Tormes	11.011	420	2.002	2.949	16.382
Alto Duero	12.425	-	85	245	12.755
Duero Infe- rior	<u>29.541</u>	<u>1.401</u>	<u>18.974</u>	<u>50.543</u>	<u>100.499</u>
Totales	225.975	4.785	40.755	58.815	330.330

Como se ve, los regadíos con aguas subterráneas se concentran en la cuenca del Esla y en el Duero inferior pero con una notable diferencia. En la cuenca del Esla la mayor parte de las captaciones son pozos ordinarios que, además, se concentran a lo largo de los ríos, es decir, se explotan las terrazas y los aluviales de los ríos. En el Duero inferior se concentran la mayor parte de los sondeos y, por otra parte, los pozos se reparten por amplias superficies explotando los arenales cuaternarios que se extienden por la Moraña y Tierra de Pinares.

Para evaluar el volumen anual de agua utilizado para regadío se ha supuesto una dotación de $7.500 \text{ m}^3/\text{ha}$ x año en el caso de aguas superficiales y $4.500 \text{ m}^3/\text{ha}$ x año en el caso de aguas subterráneas, considerando dotaciones mitad para los riegos eventuales. Por otra parte se supone que se consume el 70% de las aguas superficiales aplicadas para riego y el 80% si se trata de aguas subterráneas.

	<u>Agua Utilizada</u>	<u>Agua Consumida</u>	<u>Sobrantes de riego</u>
Aguas superficiales	1.640	1.148	492
Aguas subterráneas	<u>465</u>	<u>372</u>	<u>93</u>
Totales	2.105	1.520	585

La demanda futura con fines agrícolas se ha estimado con las siguientes hipótesis: se supone que los regadíos con aguas superficiales aumentan en fase de transformación por la Administración, y en cuanto a las aguas subterráneas se supone que aumentan al ritmo de 2.000 ha/año. Con estas hipótesis la demanda futura para regadíos ascenderá a 2.770 hm³/año.

2.3.- Recursos de agua superficial

Los recursos de agua superficial de los sistemas números 8 y 12 proceden fundamentalmente de las áreas montañosas que los circundan. La cuenca vertiente sobre ambos sistemas es de unos 23.000 Km² y recibe una precipitación media anual de 20.000 hm³/año. La escorrentía superficial que en ella se origina es alta debido a las características del terreno y a la abundante precipitación. Así pues, cuando los ríos entran en la Meseta tienen ya un caudal importante.

Río	Aportación media al llegar a Meseta
Tera	740 hm ³ /año
Orbigo y afluentes	1.545 "
Esla y afluentes	2.165 "
Pisuerga y afluentes	1.690 "
Duero	770 "
Riaza	80 "
Duratón	140 "
Cega	115 "
Adaja y afluentes	485 "
Tormes	1.115 "
Totales	8.850 hm ³ /año

Se observa que los afluentes de la derecha del Duero son más caudalosos que los de la izquierda debido a la mayor precipitación en la Cordillera Cantábrica - que en el Sistema Central ya que sus cuencas de cabeza están más desarrolladas. Las aportaciones medias de los ríos considerando incluidos los sistemas 8 y 12 son de 11.200 hm³/año.

En los sistemas números 8 y 12 la precipitación media anual es de 510 mm/año, equivalentes a 22.200 - hm³/año. Debido a su llana topografía y a la relativa abundancia de materiales permeables en superficie la escorrentía superficial originada es relativamente pequeña, cobrando mayor importancia la escorrentía subterránea. Por esta razón, los ríos que desarrollan toda su cuenca en el Terciario como son el Valderaduey, Zapardiel, Trabancos o Guareña tienen escaso caudal.

A partir de las campañas de aforo realizadas en una serie de puntos seleccionados se ha podido evaluar - el caudal ganado o cedido por los ríos a su paso por la Meseta. En general todos los ríos ganan caudal, - es decir drenan a los acuíferos. Solamente se han observado pérdidas importantes de caudal en tramos localizados de los ríos: Eresma ($0,62 \text{ m}^3/\text{seg.}$) Arlanza ($0,5 \text{ m}^3/\text{seg.}$) Cega ($0,15 \text{ m}^3/\text{seg.}$) y Valderaduey --- ($0,15 \text{ m}^3/\text{seg.}$). Los caudales drenados por los distintos ríos son:

Guareña	0,25	Ucieza	0,25
Trabancos	0,05	Valdavia	0,75
Zapardiel	0,10	Hornija-Bajoz	0,40
Adaja-Arevalillo	0,40	Valderaduey	0,35
Eresma-Voltoya	0,54	Cea	0,70
Cega-Pirón	0,30	Pisuerga	0,70
Riaza	0,65	Arlanzón	0,70
Esqueva	1,10	Duero Alto	3,20
Arlanza	0,90	Duero Inferior	7,00
Odra	0,35		

El caudal de drenaje "medido" en los distintos ríos suma $18,7 \text{ m}^3/\text{seg.}$ pero el caudal real drenado es sin duda mayor pues no ha sido posible efectuar aforos - en la cuenca del Esla ni en la del Tormes, ni en la totalidad del río Duero. Posiblemente el drenaje total sea del orden de $30 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Puesto que la mayor parte de las aportaciones de los ríos proceden de escorrentía superficial, sus caudales naturales están muy poco regulados y ha sido preciso construir embalses para su regulación. Limitándonos a los embalses situados en la cuenca vertiente a los sistemas nº8 y 12, la situación actual es la siguiente:

<u>Situación</u>	<u>N° de Embalses</u>	<u>Capacidad total (hm³)</u>	<u>Regulación conjunta (hm³/año)</u>
En explotación	21	2.273	2.222
En construcción	3	831	541
En proyecto	5	408	243
Con estudio de <u>via</u> bilitad	6	2.173	---
En estudio	15	1.208	---

No se incluyen en estas cifras los 1.184 hm³ de capacidad del embalse de Ricobayo ni el caudal regulado por el mismo.

Trece de los embalses en explotación se utilizan para riego dominando una superficie regable de 254.000 ha. Análogamente, se destinarán a regadío dos de los embalses actualmente en construcción con los que se podrán atender 70.500 ha. de regadío. Con los embalses en proyecto o estudio se podrían regar 225.000 ha. adicionales.

2.4.- Recursos de agua subterránea

Los sistemas acuíferos números 8 y 12, que se identifican prácticamente con la Cuenca Terciaria del Duero, constituyen en conjunto la mayor unidad hidrogeológica de la Península.

Geológicamente constituyen una gran cubeta que se fué rellenando durante el Terciario con sedimentos depositados en un medio continental, alcanzando un espesor medio superior a los 1.000m. El zócalo es de edad mesozoica en la parte oriental (calizas, dolo--

mías, arenas y areniscas, margas, arcillas yesíferas) y de carácter metamórfico o eruptivo en la occidental (cuarcitas, pizarras, granitos, gneises).

Entre los materiales de relleno (principalmente miocenos) predominan los de tipo detrítico (arenas, limos y arcillas en el centro, areniscas y conglomerados en los bordes) excepto en una gran zona central de carácter evaporítico (margas yesíferas coronadas por calizas pontienses que la erosión ha reducido a isleos).

El Terciario se encuentra parcialmente recubierto por formaciones pliocuaternarias (rañas, aluviales, terrazas, etc.). Entre estas formaciones destacan, por su influencia en el funcionamiento hidrogeológico de la Cuenca, los extensos arenales que se encuentran al Sur del Duero, en las provincias de Avila, Segovia y Valladolid.

Como suele ocurrir en las cuencas continentales en las que la sedimentación fluvial ha jugado un importante papel, las arenas están dispuestas en capas lenticulares de escasa continuidad lateral, excepto quizás en la dirección de la corriente que las depositó. Su distribución espacial dentro de la Cuenca es aparentemente aleatoria y se pueden encontrar casi en cualquier lugar y a cualquier profundidad. Lo que diferencia unas zonas de otras es la frecuencia de los lentejones arenosos, la permeabilidad de los mismos, y, lo que quizás es más importante, la permeabilidad de la matriz que engloba los lentejones.

En el conjunto sedimentario descrito se distinguen - dos tipos de acuíferos: acuíferos superficiales li-- bres y acuíferos profundos confinados o semiconfinados. Excepto en algunos casos particulares ambos tipos de acuíferos suelen estar estrechamente relacionados entre sí, por lo que su diferenciación es en - algunos casos hasta cierto punto arbitraria, pero có moda desde el punto de vista expositivo.

ACUIFEROS SUPERFICIALES

Entre los acuíferos superficiales podemos citar (grá fico n°2).

- Los páramos calcáreos de Cuéllar, el Durantón y To rozos.
- Los páramos de rañas de León y Norte de Palencia.
- Los arenales del Sur del Duero (Avila-Segovia-Va-- lladolid).
- Los aluviales de los ríos.

Tienen como rasgos comunes el encontrarse próximos a la superficie del terreno y el comportarse como acuíferos libres. Se recargan fácilmente por la infiltración de la lluvia que directamente reciben, su explotación es económica realizándose mediante pozos excavados de pequeña profundidad y son fácilmente contaminables, propagándose los contaminantes con rapidez especialmente en el caso de los aluviales conectados con ríos y en los acuíferos calcáreos.

Difieren en sus características hidrogeológicas y en

el papel que desempeñan en el conjunto hidrogeológico regional.

Páramos calcáreos

Las calizas pontienses se extienden sobre una gran zona central de la Cuenca comprendida entre Medina de Rioseco-Palencia-Castrogeriz-Peñafiel y Cuéllar - de 6.634 Km² de extensión, pero sólo en Cuéllar, el Durantón y Torozos tienen interés hidrogeológico, pues la erosión ha reducido el resto a isleos de reducidas dimensiones.

La mesa de Cuéllar constituye un acuífero libre, de naturaleza calcárea, o sea cárstico, de 555 Km² de extensión. Las calizas están dispuestas en bancos horizontales con pequeñas intercalaciones margosas. El espesor del conjunto calizo es de unos 50 m. como media, siendo el espesor saturado de unos 35 m. El acuífero está apoyado sobre un paquete de margas impermeables de más de 200 m de espesor que le aíslan de los posibles acuíferos detríticos subyacentes a las formaciones margosas (facies blanca). Gráfico n°3.

La transmisividad de las calizas es de media a alta (200 a 1.000 m²/día) obteniéndose caudales de 10 a 30 l/s por pozo.

Debido a la posición topográfica que ocupa el acuífero coronando el páramo, toda la recarga procede de la infiltración del agua de lluvia, produciéndose la descarga, además de por bombeo, por un rosario de ma

nantiales perimetrales situados en los puntos de menor cota del contacto calizas-margas.

La precipitación media sobre el páramo es de 285 hm^3 /año (510 mm) siendo la recarga de 66 hm^3 /año, o sea el 24% de la precipitación media anual. El caudal -- drenado por los manantiales, según las medidas mensuales efectuadas durante 1978, es de 55 hm^3 /año correspondiendo el máximo al mes de Abril ($7,4 \text{ hm}^3$) y el mínimo a Septiembre ($1,9 \text{ hm}^3$). El bombeo es de unos 11 hm^3 /año, de los que 1 hm^3 /año se destina a abastecimientos urbanos (19.000 habitantes) y 10 hm^3 /año al regadío de 3.300 ha. Actualmente se utiliza -- por consiguiente el 20% de los recursos totales anuales.

Separado de la Mesa de Cuellar por el río Durantón se encuentra el páramo del mismo nombre de 300 Km^2 de -- extensión y al que suponemos características hidrogeológicas muy similares a las de Cuellar, con la diferencia de que las calizas pontienses del Durantón están en contacto directo con las calizas mesozoicas de la Ibérica, de las que pueden recibir un importante aporte de agua subterránea. De hecho, no lejos -- del contacto Pontense-Cretácico, pero ya en el Pontense, se encuentran los manantiales de Fuentidueña con un caudal medio de 900 l/s que procede sin duda del Cretácico. A lo largo del perímetro se han inventariado una serie de manantiales cuyos aforos periódicos a lo largo de 1978 han dado un caudal medio para el conjunto de 45 hm^3 /año. Sin contabilizar el manantial de Fuentidueña. En este páramo no existen -- sondeos de explotación y por ello se desconocen sus características hidrogeológicas.

El páramo de Torozos tiene una superficie de 975 Km^2 y en ciertos aspectos es similar al páramo de Cuéllar pues constituye otro acuífero pontiense "isla" separado por la erosión de los acuíferos adyacentes y por un paquete de margas de los acuíferos subyacentes.

Sin embargo su importancia hidrogeológica es menor (pese a su mayor extensión) debido a que las calizas son más margosas y a que el espesor saturado es de unos 5 m como media. Según la información actualmente disponible, a lo largo del páramo se suelen encontrar dos niveles calizos de unos 3-4 m. de espesor - cada uno, el superior no siempre saturado, situados entre 5 y 15 m. de profundidad.

La recarga procedente de la infiltración del agua de lluvia, la hemos estimado en unos $50 \text{ hm}^3/\text{año}$, lo que equivale a un 11% de la lluvia media anual. Actualmente se extraen $0,8 \text{ hm}^3/\text{año}$ para abastecimientos urbanos y de 5 a $8 \text{ hm}^3/\text{año}$ para regadío. Sus posibilidades de explotación a gran escala mediante pozos están muy limitadas debido al reducido espesor del acuífero.

Páramos de rañas

Por el cuadrante Noroccidental de la Cuenca se localizan extensos depósitos de rañas que han dado origen a relieves en cierto modo similares a los de los páramos calcáreos. Los afloramientos más extensos de rañas se sitúan en el interfluvio Orbigo-Esla (950 Km^2) entre el Esla y el Cea (545 Km^2) y en la margen

derecha del río Carrión (550 Km²) siendo el primero el más interesante por su extensión y por su continuidad.

Estos depósitos están constituidos por cantos y bolos casi exclusivamente de cuarcita con una matriz arcillo arenosa de color rojizo apoyándose sobre un mioceno detrítico. Constituyen un acuífero libre de escasas posibilidades hidrogeológicas en cuanto a una explotación a escala regional. Gráfico n°4.

Sus espesores varían de Norte a Sur. Al Norte del paralelo de León pueden encontrarse espesores de hasta 30 m.; hacia el Sur los espesores medios oscilan entre 5 y 8 m. llegando a cifras menores en las zonas más meridionales. Al Norte del citado paralelo la orografía es bastante accidentada debido a los numerosos barrancos excavados en las propias rañas, no existiendo tierras de labor; al Sur las rañas se presentan con una morfología plana ligeramente inclinada, estando ampliamente cultivadas.

La permeabilidad del acuífero es pequeña, siendo la transmisividad probablemente inferior a 10 m²/día. Los pozos existentes suelen agotarse a las 4-6 horas bombeando caudales de 1 a 2 l/s. y tardan 24 horas en recuperarse, lo que da una idea de la pobreza del acuífero. Para aumentar el caudal de los pozos es una práctica común perforar barrenas o machinas en el fondo de los mismos buscando los acuíferos frecuentemente artesianos, del Mioceno Subyacente. En la actualidad gran parte de los pozos están abandonados desde que entraron en funcionamiento los regadíos del sistema Orbigo-Tuerto a partir de los embalses de Villameca y Barrios de Luna.

Es difícil (y no se ha podido) establecer un balance hídrico de las rañas por dos motivos. Primero, por que deben existir intercambios de flujo con el Mioceno, prácticamente imposibles de medir. Y segundo, por la dificultad de medir los caudales de los numerosos manantiales perimetrales de caudal individual tan pequeño que en muchas ocasiones se pueden catalogar como rezumes. A título orientativo estimamos que la recarga debe ser del orden del 5% de la precipitación media anual.

Arenales de la Moraña y Tierra de Pinares

Sobre la margen izquierda del Duero, en las provincias de Avila, Segovia y Valladolid, se encuentran extensos depósitos de arenas cuaternarias que recubren parcialmente a las formaciones arcillo-arenosas del Mioceno.

Los arenales, junto con los lentejones arenosos del Mioceno próximos a la superficie, constituyen un sistema de acuíferos libres de gran extensión y pequeño espesor, que desempeña un importante papel en el funcionamiento hidrogeológico general de la Cuenca.

La superficie afectada por los arenales es de unos 6.000 Km², pero sólo una tercera parte de la misma está cubierta por arenales propiamente dichos, correspondiendo el resto a los afloramientos arcillo-arenosos de la facies Tierra de Campos (s.l.). A escala local cada arenal o lentejón de arena constituye un acuífero, sin embargo a efectos hidrogeológicos regionales se puede considerar que existe un manto acuífero libre, continuo y heterogéneo.

Los espesores de las capas de arena son pequeños, en general inferiores a 5 m. y rara vez superiores a 15 m. Sin embargo, sondeos de investigación minera perforados recientemente al sur de Cuéllar han revelado espesores, hasta ahora desconocidos, de más de 30 m.

Las transmisividades son de medias a bajas, estando generalmente comprendidas entre 10 y 100 m²/día.

Los caudales de los pozos son muy variables pero en general pequeños, oscilando entre menos de 1 l/s y 23 l/s en el mejor de los casos. Con frecuencia los pozos se agotan después de 6-8 horas de bombeo, tardando otras tantas en recuperarse.

La recarga del acuífero proviene de la infiltración del agua de lluvia que oscila, en función de la litología del terreno, entre un 20% de la precipitación media anual en el caso de los arenales propiamente dichos y un 5% para los terrenos arcillo-arenosos. La media se sitúa en un 11%, lo que representa una recarga de 325 hm³/año sobre los 6.000 km².

Como se acaba de ver los arenales desempeñan un importante papel en la hidrogeología regional de la Cuenca del Duero pues, una vez recibida el agua de lluvia la almacenan temporalmente cediéndola lentamente por filtración vertical a los acuíferos profundos subyacentes. Constituyen, por lo tanto un elemento regulador de la recarga de dichos acuíferos miocenos. Localmente constituyen interesantes unidades de explotación para atender pequeñas demandas de agua puntuales.

Aluviales de los ríos

Considerados a escala regional, los aluviales de los ríos de la Cuenca del Duero tienen un limitado interés hidrogeológico por dos motivos: en primer lugar porque la mayoría de los cuaternarios de los ríos - que por su anchura podrían tener entidad como acuíferos, están dominados por canales de riego que atienden todas las necesidades de agua hasta el punto de que los pozos antiguos han sido cegados o abandonados. En segundo lugar, porque, según se deduce del inventario realizado rara vez se sobrepasan los 10 m de espesor saturado.

Los principales cuaternarios se desarrollan a lo largo de los ríos Duero, Orbigo y Esla, Pisuegra, Arlanza y Arlanzón y Tormes. En los restantes casos, especialmente en los afluentes de la margen izquierda del Duero como son el Cega, Eresma, Voltoya, Adaja, etc. el aluvial alcanza un desarrollo irrelevante desde el punto de vista hidrogeológico.

En general están constituidos por una capa superficial de tierra de labor y limos depositada sobre gravas y arenas más o menos limpias de 3 a 16 m. de espesor en la mayor parte de los casos.

Los pozos suelen tener profundidades comprendidas entre 2 y 10 m., encontrándose el agua entre 1 y 3 m. de profundidad.

Los pozos más productivos se encuentran en los cuaternarios de los ríos Esla, Duero (aguas abajo de Simancas) y Arlanzón donde no es raro encontrar caudales superiores a 20 l/s. En el río Pisuerga los caudales oscilan frecuentemente entre 5 y 15 l/s; en el Duero, aguas arriba de Simancas, suelen ser inferiores a 10 l/s. En numerosos ríos o tramos de ríos (como por ejemplo el Orbigo, Tormes, Pisuerga hasta el Arlanzón, Duero entre Toro y Zamora, etc.) no se conocen los caudales de los pozos porque estos están cegados o abandonados desde que se comenzó a regar con aguas superficiales. De hecho es muy frecuente que los pozos actuales se mantengan para complementar, en años muy secos, el caudal derivado de los ríos. Ejemplos típicos son los pozos existentes en el cuaternario del Duero aguas arriba de su confluencia con el Pisuerga o los del cuaternario del río Esqueva.

En la generalidad de los casos carece de sentido hablar de los recursos propios de los aluviales pues están íntimamente ligados a los de los ríos que por ellos discurren y a la recarga inducida por los sobrantes de riegos con aguas superficiales. Además, en muchas ocasiones los aluviales son los receptores del flujo subterráneo que, procedente del Terciario detrítico es drenado finalmente por los ríos. En consecuencia, conviene tener en cuenta la posibilidad de proceder en los cuaternarios a captaciones puntuales de caudales importantes (por ejemplo mediante pozos radiales) siempre que esté asegurada la recarga por algún río próximo, sobrantes de riegos, etc.

ACUIFEROS PROFUNDOS

El Terciario detrítico de los sistemas números 8 y - 12, formado por capas lenticulares de arenas o gravas englobadas en una matriz más o menos semipermeable, se comporta en conjunto como un gran acuífero heterogéneo y anisótropo, confinado o semiconfinado según zonas.

La extensión total del acuífero coincide con la del estudio (43.455 Km²) y se ha subdividido en cinco regiones homogéneas desde el punto de vista del flujo subterráneo, que se describen a continuación (ver gráfico n°5).

Región Sur o de los Arenales

Se extiende al Sur del Duero entre este río y el Sistema Central, sobre una superficie de 7.632 Km².

El espesor del Terciario crece rápidamente desde los bordes hacia el centro estimándose en más de 1.000 m en las proximidades del río Duero.

Sus recursos están explotados por numerosos sondeos de profundidades variables entre 50 y 250 m. aunque en algún caso se llegue hasta 500 m. de profundidad. En total se estima que existen unos 3.000 sondeos con los que se riegan 42.000 ha. y se abastece la mayor parte de la población.

Las extracciones netas (descontada el agua que se --
reinfiltra en el acuífero) se han estimado en 150 --
 $\text{hm}^3/\text{año}$ en números redondos.

Los caudales por pozo son muy variables pero en la --
mayor parte de los casos oscilan entre 10 y 30 l/s,
siendo el caudal específico del orden de 1 l/s x m.

Prácticamente toda la recarga procede de la infiltra--
ción del agua de lluvia. Esta es retenida temporal--
mente por los acuíferos superficiales libres (arena--
les) que la ceden lentamente por goteo a los acuífe--
ros profundos. Cerca del Sistema Central el agua si--
gue una trayectoria descendente y, después de un re--
corrido horizontal más o menos largo, se inicia una
trayectoria ascendente hasta alcanzar el río Duero -
directamente o por medio de los cuaternarios. El flu--
jo es tridimensional como se indica en el gráfico n°
6.

El balance hídrico de la región es simple y se puede
resumir de la siguiente manera:

Entradas:

Goteo desde los acuíferos superficiales $380 \text{ hm}^3/\text{año}$

Salidas:

Bombeos netos $155 \text{ hm}^3/\text{año}$

Drenaje por ríos $235 \text{ hm}^3/\text{año}$

Aunque según este balance hay un exceso de recursos sobre extracciones, existen problemas de sobreexplotación debido a la inadecuada distribución geográfica de las mismas. La zona sobreexplotada se localiza en La Moraña (Avila) y Peñaranda de Bracamonte (Salamanca) manifestándose la sobreexplotación por un continuado descenso de los niveles piezométricos y un - un incremento de la amplitud de las oscilaciones estacionales de los niveles, que se inició hacia 1973-1974.

También en la zona de Olmedo existen problemas, pero aquí son debidos a la progresiva degradación en la - calidad del agua.

En el apartado 3.2. se vuelven a tratar estos temas.

Región Norte o del Esla-Valderaduey

Coincide a grandes rasgos con las cuencas del Esla y del Valderaduey, incluyendo también parte de la cuenca del Carrión. Su extensión es de 16.360 Km².

En una extensa zona (6.740 Km²) los acuíferos son - surgentes. La recarga se produce por la infiltración del agua de lluvia en las áreas no surgentes que coinciden con los interfluvios de los ríos y con una extensa franja adosada al borde Norte. Además, existe una apreciable recarga subterránea por las calizas y cuarcitas fracturadas de los bordes. El flujo subte-

ráneo se dirige hacia los principales ríos que cruzan la región (Orbigo, Esla, Cea-Valderaduey) y sólo una pequeña parte es drenada directamente por el río Duero (gráfico nº7).

Los grandes núcleos urbanos (León, Zamora, Benavente) se abastecen con aguas superficiales pero en los restantes predominan ampliamente los abastecimientos a partir de sondeos profundos. Muchos de ellos son surgentes y están continuamente abiertos extrayendo volúmenes de aguas muy superiores a las necesidades reales. Se estima que las salidas por este concepto están comprendidas entre 60 y 100 hm³/año.

Además, se riegan unas 10.000 ha. con pozos profundos, la mayor parte situadas en las provincias de Valladolid y Zamora. Las extracciones netas se estiman en 30 hm³/año.

En la parte central de la cuenca del Esla los sondeos suelen ser muy profundos (entre 250 y 500 m. de profundidad). Hacia los bordes Norte y Oeste y hacia el río Duero los sondeos suelen tener menores profundidades (entre 100 y 200 m. generalmente).

Los mayores caudales específicos (más de 1 l/s x m - como media) se localizan en la zona de Villalpando-San Pedro de Latarce-Toro-Tordesillas y al Sur de León en Santa María del Páramo y Mansilla de Las Mulas.

Las entradas y salidas globales se estiman en los siguientes órdenes de magnitud:

Entrada:

Infiltración del agua de lluvia	175 a 350 hm ³ /año
Entradas laterales por los bordes	30 a 50 "

Salidas:

Bombes netos en sondeos profundos	30 hm ³ /año
Salidas por sondeos surgentes	60 a 100 "
Drenajes por ríos	110 a 280 "

Este balance es una simple estimación que consideramos razonable en función de los conocimientos actuales, pero que puede estar sujeto a errores relativamente importantes.

Por ahora no se han observado en esta región síntomas de sobreexplotación del Terciario detrítico. En León capital y alrededores se ha observado un descenso de niveles relativamente importantes durante las últimas décadas debido al progresivo aumento de las extracciones, estimándose que si estas se estabilizaran se alcanzaría con relativa rapidez una situación de equilibrio ya que coincide con una zona de descarga de agua subterránea.

No hay, por lo tanto sobreexplotación. Sin embargo, existe el problema de las interferencias entre sondeos próximos.

En la zona de Valderas-Villafáfila se han detectado aguas de mala calidad química, coincidiendo con una zona de salida de las aguas subterráneas profundas -

hacia las lagunas del mismo nombre y hacia el río Sa lado, habiéndose medido valores de la conductividad superiores a $6.000 \mu\text{hmos/cm}$ en algunos puntos. Sin embargo, no se trata de un problema de sobreexplotación, sino de un fenómeno natural (ver apartado 3.2.)

Región Centro o de los Páramos

Son una superficie de 6.634 Km^2 se sitúa esta región en la parte Centro-Oriental de la Cuenca entre Medina de Rioseco, Palencia, Castrogeriz, Cuellar y Valladolid.

En toda la región así definida el Terciario detrítico subyace a un potente paquete de margas y margas yesíferas impermeables, de espesores comprendidos entre 80 y más de 400 m., constituyendo un acuífero confinado.

En consecuencia, el acuífero profundo, aislado de los ríos y de los acuíferos superficiales libres (aluviales, terrazas, calizas del páramo) no recibe aporte alguno en sentido vertical (infiltración de lluvia o goteo de los acuíferos superiores) ni cede agua hacia arriba (drenaje por ríos). Todas las entradas y salidas (excepto los bombeos) se producen lateralmente por los límites de esta región con las regiones colindantes. El flujo es, obviamente, bidimensional horizontal (gráfico nº 8).

Las entradas subterráneas (o sea los recursos de la región) son muy reducidas ,habiéndose estimado en -- unos $6 \text{ hm}^3/\text{año}$, que equivalen en números redondos a $3 \times 10^{-2} \text{ l/s} \times \text{Km}^2$.

Este exiguo caudal explica que en los valles del Esgueva y del Cerrato se estén produciendo descensos - en los niveles piezométricos del orden de 2 m. por - año con un bombeo total de unos $4 \text{ hm}^3/\text{año}$ destinados al riego de 800 ha.

El problema no sería excesivamente grave si se prohi**bi**era el aumento de los regadíos. Pero todo parece - indicar que los regadíos seguirán aumentando en los próximos años debido a los buenos rendimientos que - se obtienen en los valles (especialmente en remola--cha y alfalfa) y a los problemas que presentan los - regadíos con aguas superficiales debido a la falta - de regulación del río Esgueva (ver apartado 3.2.). - Por otra parte, el aluvial del río constituye un acuífero muy pobre y tampoco permite solucionar el problema.

El agua es de calidad mediocre (del orden de $2.500 \mu\text{mhos/cm}$ y convendrá vigilar la evolución de su cali**dad** ante el peligro de contaminación que suponen las margas yesíferas del techo.

Región Este o de la Ibérica

Incluye esta región las cuencas de los ríos Pisuerga, Arlanzón, Arlanza, Duero y Rianza desde que penetran

en la Meseta hasta que alcanzan la región de los Páramos. Cubre una superficie de 8.456 Km^2 .

Sus características hidrogeológicas son todavía mal conocidas debido a los relativamente escasos sondeos existentes, que se encuentran concentrados además en las zonas de Burgos-Lerma y Roa-Aranda de Duero.

Parece fuera de dudas que existen entradas subterráneas laterales procedentes del Mesozoico de la Cordillera Ibérica, detectadas por la forma que adoptan - las isopiezas en sus proximidades y por la inversión en la calidad química del agua observada en la zona de Aranda, pero no ha sido posible medir dicho caudal.

Estimando la recarga por infiltración del agua de lluvia en $106 \text{ hm}^3/\text{año}$ resultan las siguientes cifras (redondeadas).

Entradas:

Infiltración del agua de lluvia	100 $\text{hm}^3/\text{año}$
Entradas laterales procedentes de la Ibérica	135 $\text{hm}^3/\text{año}$

Salidas:

Drenaje por ríos	220 $\text{hm}^3/\text{año}$
Bombeos	10 "
Salidas hacia la región de los páramos	5 "

Como se ve las extracciones son muy reducidas y no existen problemas de sobreexplotación en toda esta región.

Región Suroeste o del Tormes

Corresponde a la parte del Terciario detrítico que es drenada por el río Tormes y que coincide a grosomodo con la cuenca terciaria del mismo río. Su extensión es de 4.373 Km².

El río Tormes divide a la región en dos partes de distintas características hidrogeológicas. La situada sobre la marginderecha (zona de la Armuña) es muy similar a la región Sur o de Los Arenales, con las siguientes diferencias: el flujo subterráneo se dirige hacia el río Tormes, excepto una pequeña parte (10 - Hm³/año) que a través de las capas más profundas se dirige a la región de los Arenales, el espesor del Terciario es mucho más reducido (generalmente menos de 300 m.) y los materiales son más conglomeráticos y areniscosos, especialmente en el dominio de sedimentación eocena. La extensión de esta subzona es de 2.160 Km².

La subzona correspondiente a la margin izquierda del Tormes (zona de Ciudad Rodrigo) constituye un corredor Terciario, de 2.213 Km² de extensión, encajado entre terrenos paleozoicos y graníticos. Sus características hidrogeológicas son mal conocidas por la escasez y dispersión de los datos existentes. Las isopiezas se disponen en dirección NE-SO, paralelas al eje del pasillo terciario. Los resultados conocidos de los sondeos existentes son aparentemente aleatorios y erráticos, parece ser que están estrechamente relacionados con la tectónica y estructura del zócalo y bordes paleozoicos.

En la margen derecha del Tormes se riegan 2.900 ha. con sondeos profundos y 2.000 con pozos excavados en arenas, lo que representa unas extracciones netas del orden de $10 \text{ hm}^3/\text{año}$ y $7 \text{ hm}^3/\text{año}$ respectivamente. Por comparación con las zonas próximas a la región de Los Arenales estimamos que la infiltración del agua de lluvia es del orden del 8% de la precipitación, o sea, unos $70 \text{ hm}^3/\text{año}$. El goteo hacia los acuíferos profundos será de $63 \text{ hm}^3/\text{año}$. En resumen, el balance estimado es como sigue:

Entradas:

Goteo hacia los acuíferos profundos	$63 \text{ hm}^3/\text{año}$
-------------------------------------	------------------------------

Salidas:

Bombeo con sondeos profundos	$10 \text{ hm}^3/\text{año}$
Salida subterránea hacia la región de los Arenales	10 "
Crenaje por el río Tormes	43 "

Los recursos de la zona situada en la margen izquierda del Tormes son desconocidos. Suponemos que son muy pequeños y que carecen de importancia a escala regional teniendo en cuenta la dirección general del flujo subterráneo (orientado hacia un borde impermeable) y que los principales ríos (Huebra, Agueda, Yeltes, etc.) están secos casi todo el año.

Balance hídrico medio de los acuíferos

Como resumen de todo lo dicho, se puede establecer el siguiente balance hídrico (cifras redondeadas):

Entradas:	<u>hm³/año</u>
1. Infiltración de lluvia en páramos calcáreos (Duratón, Cuellar, Torozos).	150
2. Infiltración de lluvia en cuaternarios de ríos	220
3. Infiltración de lluvia en afloramientos de Terciario detrítico, -rañas y arenales	850
4. Entradas subterráneas por los bordes paleozoicos	50
5. Entradas subterráneas por el borde de la Ibérica	130
6. Retornos de riegos con aguas superficiales:	<u>470</u>
Total entradas	1.870

Salidas:	<u>hm³/año</u>
7. Manantiales de los páramos (Duratón, Cuellar, Torozos)	140
8. Otros manantiales (*)	150
9. Bombeo en los páramos	20
10. Bombeo en pozos excavados en cuaternarios de ríos	70

(*) Estimado a partir del inventario y de los datos sobre regadíos con manantiales.

Salidas: (cont)	<u>hm³/año</u>
11. Bombeo en pozos excavados en arenales y rañas	70
12. Bombeo en sondeos profundos	210
13. Salidas por sondeos surgentes <u>siem</u> pre abiertos	80
14. Drenaje por ríos	<u>1.130</u>
Total Salidas	1.870

La cifra del drenaje por ríos, que aquí se ha obtenido por diferencia entre los demás términos del balance, es aproximadamente el doble del drenaje medido en las campañas de aforos efectuadas. Pero hay que tener en cuenta que no se han aforado las cuencas del Esla, Tormes, y Carrión ni diversos tramos de los ríos Duero, Pisuerga, Arlanzón, etc.etc., por lo que estimamos que ambas cifras son coherentes en un orden de magnitud.

El balance hídrico restringido al Terciario detrítico, es en resumen, el siguiente

Entradas	<u>Hm³/año</u>
15. Goteo a partir de los acuíferos superficiales (3-11)	780
16. Entradas subterráneas por los <u>bor</u> des (4 + 5)	<u>180</u>
Total entradas	960

Salidas	<u>Hm³/año</u>
12. Bombeo en sondeos profundos	210
13. Salidas por sondeos surgentes siempre abiertos	80
17. Drenaje por ríos a través de los cuaternarios	<u>670</u>
Total salidas	960

2.5.- Calidad del agua subterránea

Los trabajos realizados a lo largo del Proyecto han puesto de relieve la gran influencia que en la calidad química del agua tienen los depósitos margo-yesíferos situados en la parte centro-nororiental de la Cuenca así como el funcionamiento hidrogeológico general de la misma.

Terciario detrítico

En términos muy generales se puede considerar la Cuenca Terciaria del Duero dividida en tres partes en cuanto a la calidad del agua (gráfico n°9).

- Areas de recarga, que coinciden en líneas generales con una extensa franja periférica incluyendo los interfluvios de los ríos.
- Zona margo-yesífera, situada en la parte centro-oriental de la Cuenca.

- Zona de descarga que coincide con una extensa franja central, con eje en el río Duero, desde Valladolid hasta Zamora.

En la primera de estas zonas las aguas son, en general, bicarbonatadas calcico-magnésicas. La conductividad suele ser inferior a 500 μ mhos/cm (e incluso inferior a 150 μ mhos/cm en el borde Norte). Los cloruros permanecen por debajo de 50 ppm, y los sulfatos inferiores a 100 ppm. Los contenidos en nitratos no llegan a 30 ppm. Se trata por consiguiente de aguas poco cargadas en sales, convenientes para el consumo humano según el Código Alimentario Español (C.A.E.) y que se pueden utilizar para regadío sin problemas.

En la zona margo-yesífera las conductividades suelen estar comprendidas entre 1000 y 3000 μ mhos/cm, pero en algún caso se alcanzan valores de 8.000 μ mhos/cm. El anión más abundante es el sulfato, cuyas concentraciones suelen estar comprendidas entre 1.000 y 2.000 ppm.; el contenido en cloruros suele oscilar alrededor de 500 ppm. En general predominan las aguas sulfatadas cálcicomagnésicas, excepto en la parte más occidental donde se clasifican como sulfatadas sódicas.

En la zona centro-occidental de la cuenca, comprendida entre Olmedo-Valladolid-Valderas-Villafáfila y Zamora, por ser una zona de descarga donde confluye el flujo subterráneo procedente de una gran parte de la cuenca y con un gran recorrido por el terreno, se encuentran aguas relativamente cargadas en sales. La conductividad es en general superior a los 1000 μ ohmos/cm, alcanzándose los máximos valores (entre 3000 y

6.000 μ mhos/cm) en las zonas de Olmedo, Valladolid-Tordesillas y Villafáfila. En Olmedo y Villafáfila - las aguas son cloruradas, con concentraciones en cloruros de hasta 2.000 ppm. En el resto predominan las aguas sulfatadas, alcanzándose en Tordesillas concentraciones de 2.000 ppm de sulfatos.

Acuíferos superficiales

La calidad química de las aguas contenidas en los - acuíferos superficiales ofrecen, como es obvio, una gran variedad.

En los páramos calcáreos son muy carbonatados pero - apenas tienen cloruros y el contenido en sulfatos es también bajo. En múltiples ocasiones el contenido en nitratos es superior a 30 ppm. El total de sólidos - disueltos es inferior a 700 ppm.

En los páramos de rañas, el agua es de bajo contenido en sales (generalmente menos de 500 ppm. de sólidos disueltos). Sus dos características más notables son el elevado contenido en nitratos (más de 50 ppm.) y que la salinidad aumenta de norte a sur, los que - podría estar relacionado con una mayor intensidad y abonado de los cultivos.

En los arenales el agua tiene también un bajo contenido iónico, pero no es potable debido a su alto contenido en nitratos (a veces más de 100 ppm.) que proceden sin duda de los abonos agrícolas. Es interesante señalar que el agua contenida en los arenales es siempre de mejor calidad química que la de los acuíferos terciarios subyacentes.

3.- RECOMENDACIONES SOBRE LA EXPLOTACION DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS SUBTERRANEOS DE LA CUENCA DEL DUERO

3.1.- Recomendaciones generales

Todo plan para la explotación de los recursos hidráulicos de una región dada se basa en la adecuación de los recursos a las demandas teniendo en cuenta las características de unos y otras.

Características de las demandas de agua

De lo dicho en el apartado 2.2. de este capítulo se deduce que en la región estudiada, las demandas de agua se pueden clasificar en cuatro tipos homogéneos en cuanto a sus características.

El primer tipo corresponde a la demanda de las capitales de provincia y de los polígonos industriales. Se caracteriza por ser una demanda relativamente constante a lo largo del año, exigente en cuanto a la calidad del agua y garantía en el suministro y poco condicionada por el coste de agua. Los caudales exigidos son altos y están geográficamente concentrados y en el caso concreto que nos ocupa se sitúan siempre junto a ríos de gran caudal (Duero, Esla, Tormes, Pisuegra, Arlanzón).

El segundo tipo corresponde a la demanda de la población rural que se diferencia de la demanda de las capitales de provincia en dos aspectos: los caudales -

puntuales exigidos son muy pequeños y ofrecen una gran dispersión geográfica.

El tercer tipo corresponde a los planes estatales de riego. Se caracteriza por ser una demanda fuertemente estacional, que requiere caudales concentrados muy altos (generalmente de varios metros cúbicos por segundo) siendo relativamente poco exigente en cuanto a calidad y garantía de suministro. La utilización del agua está muy condicionada a su coste.

El cuarto tipo de demanda se refiere a la de los regadíos privados. Se diferencia de la anterior en la gran dispersión geográfica de los mismos, aunque por efecto aditivo se pueden crear áreas con una gran demanda concentrada.

Características de los recursos hidráulicos

Por otra parte, los recursos de aguas superficiales de la Cuenca del Duero se caracterizan por estar con centrados en unos pocos ríos cuyos caudales medios se miden en decenas o en centenares de metros cúbicos por segundo. Las aguas subterráneas tienen por el contrario un carácter extensivo, los caudales puntualmente captados se miden en litros o decenas de litros por segundo y aunque teóricamente podrían concentrar se las captaciones para conseguir caudales relativamente altos en áreas reducidas, las características hidrogeológicas de los acuíferos no aconsejan este tipo de explotación.

Adecuación de los recursos a las demandas

A la vista de estos hechos es evidente que, dentro de una ordenación lógica de los recursos, las aguas superficiales deben utilizarse para abastecer a las capitales de provincias, a los polígonos industriales y para satisfacer las necesidades de los planes hidráulicos estatales. Esta norma general no implica que no puedan utilizarse las aguas subterráneas para complementar los abastecimientos existentes, como puede ser, por ejemplo, el caso de León capital.

Las aguas subterráneas deben utilizarse para abastecer la multitud de pequeños núcleos urbanos dispersos por toda la cuenca y a una gran parte de los regadíos privados. Siempre que sea posible se utilizarán sondeos profundos para los abastecimientos urbanos, pues los acuíferos superficiales son muy vulnerables a la contaminación y sus caudales pueden disminuir notablemente durante los estiajes. Si el abastecimiento se realiza mediante pozos poco profundos, debe establecerse un perímetro de protección adecuado.

Explotación coordinada de las aguas superficiales y subterráneas

En los futuros planes de riegos con aguas superficiales deberá tenerse en cuenta el efecto beneficioso que pueden producir en las aguas subterráneas, los sobrantes de riego que se infiltran en el terreno. Actualmente, los regadíos con aguas superficiales se encuentran sobre los cuaternarios de los ríos o muy

próximos a ellos, coincidiendo con las zonas en las que el flujo subterráneo del Mioceno Detrítico es ascendente. Por esta razón, los sobrantes de riegos son directamente drenados por los ríos sin recargar los acuíferos profundos. Por el contrario, situando los regadíos con aguas en ríos en las zonas de recarga de los acuíferos profundos se originará una importante recarga inducida en los mismos, que, en primera aproximación, se puede suponer comprendida entre el 10% y el 30% de agua aplicada para riego según sea el sistema utilizado y su eficacia. De acuerdo con estas ideas sería aconsejable, como norma general intensificar los regadíos con aguas subterráneas en las proximidades de los ríos (en general zonas de descarga) y ubicar los regadíos con aguas superficiales en los interfluvios y hacia los bordes de la Cuenca Terciaria (generalmente zonas de recarga). La distribución actual de los regadíos es justamente la contraria, y por eso comienzan a observarse algunos problemas de sobreexplotación.

Densidad de explotación de las aguas subterráneas

Ya hemos dicho anteriormente que las características hidrogeológicas de los acuíferos de la Cuenca Terciaria del Duero no aconsejan concentrar los bombeos en áreas reducidas (excepto en las proximidades de los ríos) pues en la generalidad de los casos se producirá una sobreexplotación local del acuífero, aún cuando en el conjunto no haya sobreexplotación. O dicho con otras palabras, para que no haya sobreexplotación no es suficiente con que los bombeos sean inferiores a los recursos, es preciso además que la densidad de explotación de los recursos sea adecuada. El problema que se plantea es definir el límite superior a partir del cual comienza la sobreexplotación.

Mediante el modelo matemático tridimensional mencionado en el apartado 2.4. se ha podido verificar que, para que las áreas de recarga de la zona situada al Sur del Duero (Zona de los Arenales) no se debe sobrepasar una densidad de explotación del orden de $60.000 \text{ m}^3/\text{año} \times \text{Km}^2$, como media.

3.2.- Zonas con problemas de sobreexplotación

A lo largo del desarrollo del Proyecto se han identificado tres zonas con problemas de sobreexplotación de aguas subterráneas (ver gráfico n°10).

- . Zona de La Moraña
- . Valle del Esgueva
- . Zona de Olmedo

A éstas se puede añadir la zona de Villafáfila, con problemas de calidad de agua, aunque no se trate de un problema de sobreexplotación propiamente dicho.

Zona de La Moraña

La zona sobreexplotada incluye el Norte de la provincia de Avila y la parte colindante de la provincia de Salamanca. La sobreexplotación se ha producido por una excesiva densidad de las extracciones de agua subterránea, que oscila en la actualidad entre 2 y $3,5 \text{ l/seg.} \times \text{Km}^2$, manifestándose por un progresivo descenso de los niveles piezométricos y un aumento en la amplitud de las oscilaciones estacionales de los mismos.

Actualmente, los niveles descienden al ritmo de 1 a 2 m. por cada año desde 1972. Con la ayuda de un modelo matemático tridimensional ajustado en régimen transitorio se ha estimado que, aún en la hipótesis de mantener la explotación actual, los niveles seguirán descendiendo en los próximos hasta cotas inaceptables para el regadío (más de 30 m. en 15 años). Si aumentaran las extracciones, los descensos serían lógicamente mayores. Este fenómeno afectará a unas 15.000 ha regadas con aguas subterráneas, que verán disminuida su rentabilidad al aumentar progresivamente las alturas de bombeo.

El problema es grave por afectar a la principal actividad económica de la región de La Moraña, limitando sus posibilidades de desarrollo futuro y poniendo en peligro los logros alcanzados en las pasadas décadas por sus habitantes.

Para resolverlo, se recomienda un plan de explotación conjunta de las aguas superficiales y subterráneas - que, en síntesis, consiste en:

- a) Establecer en La Moraña 11.500 ha. de regadío con aguas superficiales procedentes de los ríos Adaja y Voltoya (o alternativamente del Almar) con un doble objetivo. En primer lugar, provocar una recarga inducida en los acuíferos de unos $16 \text{ hm}^3/\text{año}$. En segundo lugar, reducir las extracciones actuales de agua subterránea en unos $6 \text{ hm}^3/\text{año}$ sustituyendo parte de los actuales regadíos con sondeos por los nuevos regadíos con aguas superficiales.

- b) Establecer plantas de recarga artificial para inyectar en los acuíferos un caudal de $6 \text{ hm}^3/\text{año}$. - En principio, debe preverse que la recarga se efectuará mediante pozos, utilizando los caudales de invierno de los ríos de la región.

El plan propuesto, además de resolver (o paliar) el problema de la sobreexplotación en La Moraña, tendría otras ventajas adicionales como son la posibilidad de producir energía hidroeléctrica instalando una central en el Adaja y resolver el problema del abastecimiento de agua en Avila capital.

En el apartado 4.3. se especifican los programas de trabajos a realizar para estudiar la viabilidad técnico-económica del plan propuesto.

Valle del Esgueva

El Valle del río Esgueva (afluente del Pisuerga por su margen izquierda) es una de las zonas con mayor tradición de riesgos de toda la Cuenca del Duero, obteniéndose las más altas producciones de remolacha y alfalfa.

Actualmente se riegan 2.800 ha. a lo largo del valle correspondiendo 2.130 a regadíos con aguas superficiales (complementadas con pozos excavados cuando hay escasez de agua en el río), regándose el resto con sondeos profundos. En valles próximos se riegan unas 125 ha. con sondeos profundos.

El agricultor de esta región muestra una excelente - actitud frente al regadío y es de prever que en el - futuro se incremente la superficie regada. Este in- - cremento no podrá realizarse a partir de aguas super- - ficiales a no ser que se llevara a cabo el embalse - de Torresandino, cuyo proyecto se redactó en 1972, - pero que está en suspenso por diversos motivos. Tam- poco podrá incrementarse la explotación del acuífero cuaternario, pobre en general y explotado por numero- - sos pozos cuya principal misión consiste en paliar - la escasez del agua superficial durante los estiajes de los años secos. Así pues, es previsible que se in- - cremente la explotación del acuífero profundo en los próximos años.

Por otra parte, las medidas de niveles piezométricos realizadas periódicamente por el IGME desde 1972, re- - velan que los niveles del acuífero profundo están -- descendiendo de un modo progresivo y generalizado a lo largo del Valle del Esgueva, al ritmo de 2 m. por año, constituyendo un problema que se agravará en el futuro si no se adoptan las medidas oportunas.

Para analizar con detalle este problema se elaboró - un modelo matemático que permitiera evaluar los recur- - sos anuales del acuífero y prever la evolución futu- - ra de los niveles piezométricos con distintas hipóte- - sis de explotación.

Los resultados del modelo (aunque provisionales por la relativa escasez de los datos disponibles) indican que los recursos del acuífero son muy pequeños (del orden de $5 \text{ hm}^3/\text{año}$) y que aún en el caso de que se - mantuviera la explotación actual, los niveles segui-

rían descendiendo, tardando más de 30 años en alcanzar el equilibrio, si se duplicara el bombeo, en pocos años se producirían descensos excesivos para la explotación del acuífero con fines de riego.

Para resolver el problema planteado, se propone proceder a la recarga artificial del acuífero profundo utilizando los caudales de invierno del río Esgueva y del Arroyo de Los Madrazo, que no son objeto de ningún aprovechamiento. Como posible solución alternativa a la recarga artificial se propone estudiar la posibilidad de proceder a la regulación del Esgueva mediante pozos que explotarán los acuíferos cretácicos situados en su cabecera.

Los programas de trabajo necesarios para estudiar una y otra solución se describen en los apartados 4.2. y 4.3. de este capítulo.

Puesto que en esta zona el Terciario detrítico está confinado por un potente paquete de margas impermeables, la recarga artificial deberá efectuarse mediante sondeos de inyección.

Podrían utilizarse en una primera fase experimental los sondeos perforados por el IRYDA y que no son utilizados, perforando después otros expresamente si la experiencia diera resultados positivos.

Zona con problemas de calidad del agua

En una gran zona centro-occidental de la Cuenca com-

prendida entre Olmedo, Valladolid, Tordesillas, Valderas y Villafáfila se han detectado aguas con alto contenido en sales disueltas (conductividades entre 2.000 y 6.000 $\mu\text{mhos/cm}$). todavía no se conoce bien el origen de las sales, aunque se supone que es debido al largo recorrido del agua subterránea o a la existencia de depósitos salinos englobados en el Terciario detrítico.

El problema es especialmente agudo en la zona de Villafáfila donde se han tenido que abandonar numerosas parcelas antes regadas con sondeos o pozos por la salinización del suelo. Coincide esta zona con un área de descarga de aguas subterráneas como lo demuestra la existencia de lagunas y el drenaje por el río Salado.

En el resto, aunque el problema no es tan agudo como en Villafáfila se ha encontrado aguas salinas a profundidades variables (100 m. en Olmedo y Tordesillas, 200 m. en Villalpando, etc.), que han obligado al abandono de las perforaciones más profundas y a reducir la de las nuevas.

En casi toda la zona, la agricultura es floreciente y se prevé un aumento de las extracciones de aguas subterráneas por iniciativa privada, lo que puede provocar un ascenso de la interfase agua dulce-agua salobre.

Teniendo en cuenta que la salinización de un acuífero es un proceso prácticamente irreversible, es preciso estudiar el problema sin demora para buscar la

solución más adecuada. Un programa de investigación se detalla en el apartado 4.2. Mientras tanto se recomienda no promover el establecimiento de nuevos regadíos en la zona o, al menos, limitar las profundidades de los nuevos sondeos a 100 m. máximo.

El establecimiento de regadíos, con aguas superficiales de buena calidad química, aguas arriba de la zona, tendría muy probablemente efectos beneficiosos.

4.- PROGRAMA DE ACTIVIDADES FUTURAS

La realización del "Proyecto para la investigación hidrogeológica de la Cuenca del Duero. Sistemas números 8 y 12", ha supuesto un gran avance en el conocimiento de los recursos hidráulicos subterráneos y de la problemática general del agua en la región estudiada, pero es natural que todavía queden lagunas en nuestros conocimientos y cuestiones por resolver.

Por otra parte, es un deseo explícito del I.G.M.E. mantener su presencia física en todas aquellas regiones en las que ha desarrollado proyecto de investigación hidrogeológica, pues es el único método eficaz de dar continuidad a la labor iniciada y controlar la mejor gestión de sus recursos en aguas subterráneas mediante la permanente actualización del balance hídrico.

De acuerdo con esta política general y teniendo en cuenta los resultados hasta ahora obtenidos, pensamos que el IGME podría desarrollar en el futuro las siguientes actividades hidrogeológicas en la Cuenca del Duero:

- Reestructuración de la infraestructura creada.
- Estudios complementarios de investigación hidrogeológica:
 - . Investigación del pasillo de Ciudad Rodrigo.
 - . Investigación de los sistemas periféricos (Nº 9 y 10).
 - . Investigación del páramo del Duratón y del páramo de Torozos.
 - . Elaboración de un modelo matemático de la cuenca del Esla.

- . Estudio detallado de la calidad química del agua en las zonas de Olmedo-Villafáfila.

- Proyectos de explotación:
 - . Proyecto de explotación conjunta de aguas superficiales y subterráneas en la zona de Los Arenales.
 - . Proyecto de recarga artificial en el Valle del Esgueva.
 - . Proyectos para los abastecimientos de agua a León, Avila y Olmedo.
 - . Proyectos para la explotación integral de los recursos de agua de los páramos calcáreos (Cuéllar, Duratón y Torozos).

- Establecimiento de zonas piloto de riego con aguas subterráneas.

- Cursos de divulgación hidrogeológica.

- confección de mapas hidrogeológicos y de orientación de vertidos.

Algunas de las actividades enumeradas podrán ser realizadas íntegramente por el IGME, pero se requerirá el concurso de otros Departamentos (especialmente de los Ministerios de Agricultura y de Obras Públicas y Urbanismo) para que sean efectivos algunos de los trabajos propuestos.

4.1.- Reestructuración de la infraestructura creada

Al entrar en una nueva fase de investigación será preciso adecuar la Organización general a las nuevas necesidades, diferenciando los trabajos sistemáticos -

como son por ejemplo el mantenimiento de los archivos y las medidas periódicas de control hidrogeológico, de las restantes actividades enumeradas en el epígrafe anterior.

Organización de oficinas regionales

La gran extensión de la Cuenca Terciaria del Duero aconseja establecer tres oficinas situadas en Valladolid, León y Burgos, funcionando la de Valladolid como oficina central.

Las principales misiones de las oficinas consistirán en:

- . Mantenimiento de los archivos hidrogeológicos (especialmente inventario de puntos de agua).
- . Mantenimiento de las redes de control hidrogeológico (medidas de niveles piezométricos, control de calidad del agua, aforos diferenciales en ríos y manantiales).
- . Asesoramiento hidrogeológico a las personas privadas y organismos oficiales, autonómicos o locales que lo soliciten.

Cada oficina constará como mínimo de un Hidrogeólogo y un Ingeniero Técnico. La oficina de Valladolid estará reforzada con otro Ingeniero Técnico, contando además con un Delineante, una Secretaria y un Auxiliar.

4.2.- Estudios complementarios de investigación hidrogeológica

Teniendo en cuenta los conocimientos actuales se recomiendan los siguientes:

Investigación del pasillo de Ciudad Rodrigo

Pensamos que los recursos hidrogeológicos de esta zona son limitados, pero tiene interés su investigación dado que parecen ser, en general, los únicos disponibles para satisfacer las demandas de los núcleos urbanos existentes que con frecuencia tienen problemas de agua.

Se recomienda centrar la investigación en los siguientes aspectos:

- . Reconocimiento geológico, incluidos los bordes paleozoicos para definir la estructura del zócalo.
- . Prospección geofísica (unos 100 SEV con AB=1500) - para definir el zócalo Paleozoico.
- . Sondeos de reconocimiento hidrogeológico (unos 500 metros).

Investigación de los sistemas periféricos (nº9 y 10)

En general corresponden a zonas poco pobladas, montañosas, con pequeñas demandas de agua.

El interés de su investigación hidrogeológica se centra en dos aspectos:

- . Relaciones con el Terciario Detrítico.
- . Posibilidad de su utilización como embalses subterráneos para regular alguno de los ríos que los cruzan.

En nuestra opinión, debe hacerse un estudio general de ambos sistemas basados en tres aspectos fundamentales:

- . Inventario de manantiales.
- . Cartografía hidrogeológica.
- . Hidrología superficial (aforos diferenciales en ríos).

a fin de disponer de los datos básicos necesarios para abordar en cualquier momento, con conocimiento de causa, los estudios detallados necesarios para resolver problemas específicos que se planteen.

Un caso concreto que se recomienda estudiar ya con el debido detalle es el de la posible regulación del Esgueva mediante pozos perforados en cabecera (sistema n°10) como alternativa al embalse de Torresandino. Para ello, una vez realizado el estudio general del sistema n°10 se recomienda perforar primero sondeos de reconocimiento de pequeño diámetro (en principio 4) y después pozos de preexplotación (en principio 2). Los resultados obtenidos indicarán la conveniencia o no de plantear un "Proyecto de regulación del Esgueva con los embalses subterráneos de cabecera".

Investigación del Páramo del Duratón

En el momento actual se sabe que el Páramo del Duratón cuenta con recursos hidráulicos subterráneos importantes debidos en parte a la infiltración del agua de lluvia y en parte a una alimentación subterránea lateral procedente del Cretácico. Por el momento, no existen pozos que exploten el acuífero del páramo, - aunque sí se utilizan en parte los manantiales.

El objetivo de este estudio será investigar las características geométricas (espesores) e hidrogeológicas (transmisividad y coeficiente de almacenamiento) del páramo para definir las posibilidades de explotación del mismo con fines de riego regando en el mismo páramo o en su periferia. Los trabajos más significativos que se recomienda realizar son:

- . Continuar las medidas periódicas de aforos de manantiales:
- . Campaña de prospección geofísica (unos 30 SEV de $AB=1000$) para determinar los espesores de las calizas pontienses y la naturaleza del sustrato.
- . Perforación de sondeos de reconocimiento hidrogeológico que permitan medir las transmisividades del acuífero (en principio 200 m. de perforación).
- . Estudio preliminar de la viabilidad de regadíos - con pozos en el páramo, centrado en dos aspectos: evaluación preliminar de suelos potencialmente regables y actitud de los agricultores respecto al regadío.

. Estudio de vertidos-calidad del agua.

Los resultados de estas investigaciones permitirán - definir la conveniencia o no de promover el establecimiento de regadíos con pozos o sondeos en dicha zo
na.

Investigación del Páramo de Torozos

El páramo de Torozos tiene una extensión relativamente importante (955 Km²) y, aunque en general no parece que constituya un acuífero importante debido al - pequeño espesor de las calizas, es posible que en al
gunas zonas éstas sean más potentes constituyendo un acuífero interesante.

Se recomienda investigar esta posibilidad efectuando los siguientes trabajos:

- . Campaña rápida de prospección geofísica para definir mejor la geometría del acuífero (100 SEV con - AB=500).
- . Perforación de 200 m. de sondeo de reconocimiento (3-4 sondeos) en lugares seleccionados.
- . Aforos mensuales de los manantiales perimetrales - del páramo durante un año.

Modelo matemático de la cuenca del Esla

Durante el proyecto se intentó realizar un modelo matemático parcial de la cuenca del Esla que no tuvo éxito por dos motivos: no se eligió adecuadamente la zona a simular y se introdujeron hipótesis simplificativas que en este momento consideramos inaceptables.

Sin embargo, consideramos importantísimo para avanzar en el conocimiento hidrogeológico de la Cuenca - sacar adelante un modelo del Esla.

El ámbito del modelo sería aproximadamente las cuencas de los ríos Esla y Valderaduey desde el Duero - hasta la Cordillera Cantábrica y desde los Montes de León hasta la divisoria con el Pisuerga.

Por el momento, no parece necesario realizar trabajos adicionales de campo para la elaboración del modelo, pero, si fuera posible, sería muy conveniente realizar aforos diferenciales en el río Esla y afluentes.

Del modo, ajustado, se espera la siguiente información:

- . Infiltración del agua de lluvia: evaluación y distribución geográfica.
- . Entradas laterales subterráneas: evaluación y distribución geográfica.
- . Drenaje por ríos, especialmente Orbigo, Esla y Cea.

- . Distribución de las transmisividades.
- . Valores del coeficiente de almacenamiento.

Ajustado el modelo se podrá utilizar de un modo inmediato:

- . Para el estudio del abastecimiento de agua a León.
- . Para evaluar las posibilidades de regadío con agua subterránea en los valles del Tera, Jamuz, etc., - tema por el que está muy interesado el IRYDA.
- . Para prever la evolución futura de los niveles piezométricos en los valles del Hornija y del Bajoz, cuyo futuro preocupa al IRYDA.

Estudio detallado de la calidad química del agua en la zona central de la Cuenca comprendida entre Olmedo-Valladolid-Valderas y Villafáfila

De cara a la futura explotación a gran escala de las aguas subterráneas de la Cuenca del Duero, es éste - uno de los estudios más importantes. A la vez, es uno de los más complejos.

Su importancia estriba en que, en toda la zona Central de la Cuenca (más o menos próxima al río Duero) la limitación en la explotación del Terciario detrítico será consecuencia de la evolución de la calidad química del agua más que por problemas de piezometría.

Hasta el momento actual solo en la zona de Olmedo y en la de Villafáfila la calidad del agua constituye un problema real. En el resto, se trata de un problema latente, pero de tal envergadura y tan complejo - que es preciso abordar sin demora, además, es un problema prácticamente irreversible que debemos prevenir antes de que se produzca.

La complejidad del problema está ligada a tres aspectos que no se deben olvidar para plantear el estudio correctamente.

- . El largo recorrido del agua subterránea hasta llegar a la zona en cuestión.
- . La posible existencia de sedimentos salinos más o menos localizados y englobados en el Terciario detrítico.
- . La tridimensionalidad del flujo subterráneo.

Todo ello aconseja abordar el estudio con amplitud y en sucesivas fases de complejidad creciente. Aquí -- nos referimos exclusivamente a lo que podría ser la primera fase de la investigación

Los principales objetivos de esta fase serán:

- . Definir con más precisión que la actual, la extensión del problema, tanto en planta como en profundidad.
- . Definir el origen de la salinidad teniendo en cuenta las direcciones del flujo subterráneo y las características geoquímicas del terreno.

- . Establecer una red de observación permanente para conocer la evolución futura de la calidad del agua.

Para conseguir estos objetivos será necesario perforar un número relativamente alto de sondeos de reconocimiento, tomando muestras de agua a distintas profundidades. En principio, cabe pensar en 30 sondeos de profundidades comprendidas entre 150 y 350 m.

La red de observación permanente estaría formada por los 30 sondeos mencionados complementados con otros 100-150 puntos seleccionados entre los sondeos existentes.

4.3.- Proyectos de explotación de aguas subterráneas

Los proyectos de explotación propuestos son de tres tipos: para solucionar problemas de sobreexplotación, para solucionar problemas de abastecimiento urbano, para promover la explotación de recursos no utilizados.

Proyecto de explotación conjunta de las aguas subterráneas y superficiales en la región de los Arenales

El objetivo de este proyecto es resolver el problema de sobreexplotación existente en la zona de La Moraña y paliar el problema de la calidad del agua en la zona de Olmedo (ver apartado 3.2.) mediante una explotación conjunta de las aguas superficiales y subterráneas.

Dada la magnitud del proyecto se sugiere dividirlo - en tres fases que tratarán respectivamente sobre los estudios básicos, los estudios de viabilidad y el - proyecto propiamente dicho de la solución existente.

La primera fase incluye los siguientes estudios básicos:

- . Modelo detallado del acuífero, tomando como base - el modelo tridimensional existente, pero reduciendo el tamaño de la malla. Tendrá un doble objetivo: conocer mejor la hidrogeología de la región, y, en el futuro, controlar la eficacia del plan propuesto.
- . Planta piloto para el estudio de la recarga artificial. En principio habría que pensar en dos tipos de plantas para comparar sus resultados: balsas de recarga en arenales sobreexplotados y pozos de inyección.
- . Estudio hidrológico detallado de los principales ríos de la región (Adaja, Voltoya, Arevalillo, Zapardiel, Trabancos) para conocer los caudales disponibles con vistas a la recarga artificial, así - como sus principales características (turbidez, - temperatura, gases disueltos) y químicas.
- . Estudio agronómico preliminar de áreas preseleccionadas con vistas a determinar la aptitud de los - suelos para regadío, su distribución y las dotaciones de riego.

La segunda y tercera fases consistirán en la realización de los estudios de viabilidad técnico-económica y la redacción del Proyecto elegido.

Para el desarrollo del proyecto propuesto es necesaria una estrecha colaboración entre los Ministerios de Industria y Energía, Agricultura y Obras Públicas y Urbanismo. Si ésta no se consiguiera habría que modicificar radicalmente el planteamiento del proyecto.

Proyecto de recarga artificial en el valle del Esgueva

El objetivo de este proyecto es resolver el problema de la sobreexplotación del acuífero profundo a lo largo del valle del Esgueva.

La sobreexplotación está originada por la extracción de unos $4 \text{ hm}^3/\text{año}$, necesarios para el riego de unas 800 ha. distribuidas a lo largo de dicho valle y de otros próximos (arroyo de Los Madrazo) como ya se explicó en el apartado 3.2. de este capítulo.

Una de las soluciones propuestas consiste en recargar artificialmente el acuífero utilizando el agua sobrante del Esgueva durante otoño, invierno y primavera.

Puesto que en España la experiencia sobre recarga artificial es prácticamente nula, se propone actuar en dos fases sucesivas.

La primera tendría carácter experimental utilizando como sondeos de inyección los piezómetros 1714-6-001 y 171-2-002 que corresponden a sendos pozos perforados por el IRYDA y que no están utilizados. Si la ex

perencia tuviera éxito se procederá a proyectar el sistema definitivo de recarga teniendo en cuenta los resultados previamente obtenidos.

Las obras necesarias para iniciar la fase experimental son relativamente simples pues los dos pozos seleccionados para la recarga se encuentran muy próximos a las respectivas fuentes de suministro de agua. Los trabajos a realizar serán los siguientes:

- . Realización de un ensayo de bombeo en cada uno de los pozos.
- . Realización de un ensayo de recarga de corta duración tomando agua del río.
- . Realización de análisis químicos del agua del río y del acuífero.
- . Diseño del dispositivo de recarga, a partir de los resultados previos, incluyendo:
 - Obras de toma en el cauce del río.
 - Conducción del agua hasta el sondeo.
 - Instalación de decantadores y filtros de arenas.
 - Instalación de caudalímetro.
 - Instalación de tubo de inyección.
 - Instalación de piezómetros de observación.

Simultáneamente a la realización de los trabajos descritos sería necesario concienciar a los usuarios del acuífero de los problemas existentes, informarles periódicamente sobre los trabajos realizados y los resultados obtenidos y, finalmente, recabar su colabo-

ración para que participen en la gestión de los recursos hidráulicos subterráneos de la región.

Proyecto para el abastecimiento de agua a León

León capital cuenta en la actualidad con algo más de 115.000 habitantes y sus necesidades de agua ascienden a unos $17 \text{ hm}^3/\text{año}$.

El abastecimiento se efectúa mediante una conducción que toma agua del canal de Velilla (400 l/s) y una captación en el río Torío con una capacidad teórica de 250 l/s, pero que sólo capta unos 50 l/s durante los estiajes. Así pues, en verano existe un déficit en el abastecimiento de unos 150 l/s

El problema está agravado porque en el canal de Velilla se producen averías relativamente frecuentes que interrumpen el suministro de agua.

Existe un proyecto de la Confederación Hidrográfica del Duero para abastecer a León mediante una captación de agua en el río Porma. Actualmente se está redactando el anteproyecto y no parece probable que pueda entrar en servicio antes de siete u ocho años. Este es un plazo demasiado largo teniendo en cuenta que las necesidades de León crecen al ritmo de unos 30 l/s por año y que existe un compromiso moral para suministrar agua al polígono industrial (unos 200 l/s). Dentro de siete años el déficit total sería de unos 550 l/s.

Es difícil que las aguas subterráneas puedan constituir una solución definitiva al problema del abastecimiento de agua, pero es indudable que pueden constituir una solución puente hasta que entre en servicio la traída de aguas del Porma.

De acuerdo con esta idea comenzó a actuar el IGME en 1976, perforando un sondeo junto a los depósitos de regulación de Oteruelo pero que no se puede utilizar a pleno rendimiento por las afecciones que produce - en otros sondeos próximos.

Posteriormente, en 1978 y 1979 por iniciativa del propio Instituto, se han perforado otros dos sondeos junto a la captación en el río Torío, que todavía no han entrado en servicio.

El proyecto cuya realización aquí se propone tiene - por objeto abordar de una vez por todas el problema del abastecimiento de agua a León buscando, como se ha dicho antes, una solución puente a base de aguas subterráneas hasta que lleguen las aguas del Porma. La solución prevista consiste, en síntesis, en perforar una serie de sondeos en la margen izquierda del Torío al ritmo que vaya marcando la evolución real - de las necesidades de agua. Para ello, es preciso redactar un proyecto de explotación que defina:

- . Características previstas de los pozos.
- . Caudales previstos de explotación.
- . Distribución de los pozos.

- . Obras de electrificación y grupos de bombeo.
- . Obras complementarias.
- . Orden de ejecución de los trabajos.
- . Coste del agua suministrada.

Para redactar el proyecto se considera de gran utilidad realizar previamente los siguientes trabajos:

- . Hacer ensayos de bombeo en los pozos ya construidos.
- . Elaborar el modelo matemático de la cuenca del Esla (ver apartado 4.2.).
- . Perforar 2-3 sondeos de reconocimiento hidrogeológico en la zona prevista para la ubicación del campo de pozos (unos 1.000 m. de perforación).

Señalemos que una parte al menos del proyecto debería ser financiada por el Ayuntamiento de León y que el IGME debería recuperar gran parte de las inversiones que realice.

Proyecto para el abastecimiento de agua a Olmedo

Olmedo, con algo más de 3.000 habitantes, es uno de los pocos núcleos rurales de la Cuenca, con una clara tendencia creciente de la población.

Actualmente padece un problema de agua debido a que el pozo de abastecimiento está salinizado. No es el único pozo salinizado en la región, pues numerosos pozos para riego han corrido la misma suerte.

Este problema no es más que un caso concreto del problema general planteado en los apartados 3.2. y 4.2. de este capítulo y que se refieren al estudio de la calidad del agua en una gran zona central de la Cuenca del Duero y como tal debe ser tratado. Por lo tanto, todos los trabajos que se realicen para el abastecimiento de agua a Olmedo deben servir para el estudio general de la calidad del agua y viceversa. Teniendo en cuenta ambos aspectos se propone la siguiente metodología:

- . Analizar los datos existentes con vistas a resolver el problema concreto de Olmedo.
- . Seleccionar un punto que se considere a priori favorable para captar agua en cantidad y calidad suficientes para dicho abastecimiento.
- . Perforar un sondeo previo de reconocimiento de 300 m. de profundidad mínima, tomando muestras de agua a distintas profundidades. Se instalarán piezómetros que permitan medir niveles y tomar muestras de agua correspondientes a distintas profundidades.
- . Proyectar el (o los) pozo (s) de abastecimiento en función de los resultados obtenidos.
- . Establecer un perímetro de protección para evitar problemas futuros.

Proyecto para el abastecimiento de agua a Avila

Incluimos aquí el proyecto para el abastecimiento de agua a Avila capital, aunque quede fuera de la Cuenca terciaria del Duero, por su proximidad geográfica y por haber sido estudiado el valle Amblés paralelamente a los sistemas números 8 y 12.

En el momento actual Avila, con una población de 35.000 habitantes, tiene unas necesidades de agua según información facilitada por el Ayuntamiento, de 13.000 a 14.000 m³/día, abasteciéndose a partir del embalse de Becerril, de un pozo construído por el IRYDA en 1962 y de una toma directa en el río Adaja. En invierno, los caudales disponibles son suficientes para atender a la demanda, pero en verano se produce un déficit a causa del estiaje. En años de sequía, el caudal suministrado durante el verano puede quedar reducido a la tercera parte de las necesidades.

El problema podría quedar resuelto mediante pozos que explotaran el Terciario detrítico que rellena el valle Amblés. Los recursos de este acuífero se estiman comprendidos entre 12 y 24 hm³/m y, en principio no habría inconveniente en utilizar una parte de los mismos para complementar el actual abastecimiento de Avila capital.

La transmisividad del acuífero es de media a baja, de modo que los pozos dan caudales puntuales generalmente comprendidos entre 5 y 20 l/s. En principio, harían falta de 5 a 10 pozos para cubrir el déficit máximo durante el estiaje.

Para redactar el proyecto de abastecimiento se sugiere la siguiente metodología:

- . Revisión de la información hidrogeológica existente.
- . Perforación de 2-3 sondeos de reconocimiento hidrogeológico y realización de los correspondientes ensayos de bombeo (unos 500 m. de perforación).
- . Proyecto de las obras de captación y establecimiento de un perímetro de protección.
- . Proyecto de las obras complementarias, especialmente de la electrificación, equipos de bombeo y conducciones de agua, caminos de servicio, etc.

A ser posible, las captaciones se ubicarán sobre la margen derecha del río Adaja (actualmente muy poco explotada) para evitar posibles afecciones a los pozos profundos existentes.

Proyectos para la explotación integral de los recursos de agua de los páramos calcáreos

Los acuíferos pontienses de los páramos, por su carácter de "acuíferos isla", drenados por manantiales perimetrales, pierden una gran parte de sus recursos anuales durante los meses de invierno. Por otra parte, si se intenta la regulación del acuífero mediante pozos, se merma el caudal de dichos manantiales, lesionando los derechos adquiridos por sus usuarios.

El principal objetivo del estudio propuesto es investigar el modo óptimo de explotación de este tipo de acuíferos. Las conclusiones del estudio podrán extrapolarse a acuíferos semejantes existentes en otras cuencas españolas (páramos de la Alcarria, Mesa de Ocaña, etc.).

Se propone realizar primero un estudio piloto en el páramo de Cuéllar (por ser el mejor conocido) y otro a continuación en el páramo de Torozos (una vez realizado el estudio propuesto en el apartado 4.2.) por tener características distintas del de Cuéllar.

Los principales trabajos a realizar son los siguientes:

- . Elaboración de un modelo matemático simplificado ajustado para el año 1978.
- . Estudio de la influencia a corto y largo plazo del bombeo sobre los caudales de los manantiales y de la viabilidad de regular los recursos del acuífero mediante pozos.
- . Estudio de la viabilidad de regular los manantiales mediante pequeños embalses construidos en los barrancos.
- . Estudio de la regulación simultánea de los recursos mediante pozos y pequeños embalses.

Paralelamente a los estudios mencionados debería hacerse un intento de crear una Comunidad de Usuarios del acuífero con representantes de las Administraciones, de los propietarios de pozos y de los usuarios de manantiales.

4.4.- Establecimiento de zonas piloto de regadío con aguas subterráneas

Como ya se dijo en el apartado 1.3. de la Introducción de este capítulo, se considera de sumo interés continuar las gestiones iniciadas para establecer zonas piloto de regadío con aguas subterráneas en las que las obras de captación, equipos de bombeo, etc., sean utilizadas en común por varios agricultores.

La metodología para alcanzar el objetivo propuesto sería la siguiente:

- . Selección previa, por el IGME, de zonas hidrogeológicamente favorables para el establecimiento de las explotaciones piloto.
- . Dentro de la zona seleccionada por el IGME, selección del término municipal más adecuado en función de las características de las explotaciones agrarias y de condicionantes de tipo humano. Esta selección la realizaría el SEA conjuntamente con el IGME.
- . Estudio hidrogeológico detallado del término municipal seleccionado. Labor a realizar por el IGME.
- . Constitución de un grupo de agricultores dispuestos, en principio, a utilizar en común las obras de captación. Labor a realizar por el SEA.
- . Redacción del anteproyecto de las captaciones y del regadío (IGME-SEA) y aprobación por los agricultores afectados.

- . Realización del primer pozo con caracter experimental (IRYDA).
- . Redacción del proyecto final y constitución formal de la agrupación (IGME-SEA-IRYDA).
- . Realización de las obras (IGME-IRYDA).
- . Control hidrogeológico de la explotación y de costes del agua (IGME-SEA-IRYDA).

Como se ve, es absolutamente necesaria la coordinación entre los tres Organismos citados para que los proyectos sean viables.

4.5.- Cursillos de divulgación hidrogeológica

Los cursillos de divulgación hidrogeológica impartidos a los Agentes de Extensión Agraria durante la realización del proyecto han constituido un éxito y marcan una actividad que debe proseguir en el futuro.

Pensamos que en una próxima etapa deben realizarse dos tipos de cursillos: unos dirigidos a los sondistas locales que operan habitualmente en la Cuenca y otros dirigidos a los Ingenieros Técnicos que redactan proyectos de captaciones. Ambos tendrían, como principal objetivo, mejorar en la medida de lo posible, la calidad de los pozos que se perforen en el futuro en la Cuenca.

Se estima que en la Cuenca operan unas 50 empresas - locales de sondeos, por lo que será suficiente organizar 2 cursillos de 3 días de duración cada uno (24 horas) y centrados en dos temas principales:

- . Perforación de sondeos (2 días).
- . Ensayos de bombeo (1 día).

El cursillo dirigido a los Ingenieros Técnicos trataría sobre los distintos documentos de que debe constar el proyecto de una captación, poniendo especial énfasis en el Pliego de Condiciones.

4.6.- Edición de mapas hidrogeológicos

Para dar la mayor difusión a los estudios realizados y dotar al País de una cartografía hidrogeológica homogénea con los mapas geológicos, geográficos, geotécnicos, de rocas industriales, etc., existentes, parece muy conveniente iniciar la publicación de una colección de mapas hidrogeológicos de ámbito nacional, comenzando por las cuencas ya estudiadas, entre ellas la del Duero.

En principio, se podría pensar en dos tipos de mapas: generales a escala 1:200.000 y detallados a escala - 1:50.000.

Los mapas generales incluirían tres hojas:

- . Mapa hidrogeológico básico.

- . Mapa de recargas y descargas de aguas subterráneas.
- . Mapa de calidad del agua subterránea y de vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación.

El mapa hidrogeológico básico (1:200.000) incluiría, además de las referencias geográficas como núcleos - de población, red de carreteras, ferrocarriles, canales, etc., la siguiente información:

- . Litología de los afloramientos, diferenciando cualitativamente sus permeabilidades.
- . Una selección del inventario de puntos de agua.
- . Red de drenaje.
- . Estaciones de aforo y puntos de aforo periódico.
- . Isopiezas y principales direcciones del flujo subterráneo.
- . Cortes hidrogeológicos generales.
- . Columnas litológicas tipo.

En el mapa de recargas y descargas incluiría los siguientes datos:

- . Infiltraciones de agua de lluvia por acuíferos y por áreas.
- . Entradas subterráneas por los bordes.
- . Densidad de extracciones.

- . Caudales drenados por los ríos.
- . Principales manantiales.

El mapa de calidad del agua subterránea recogerá la siguiente información:

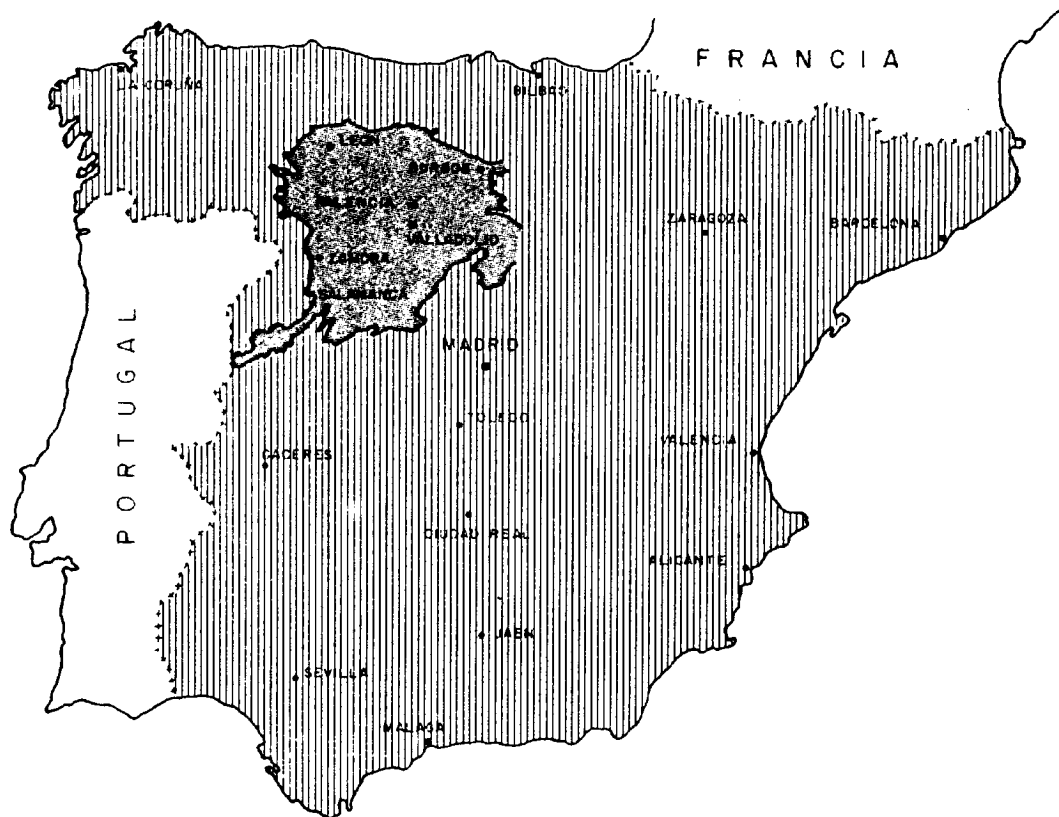
- . Línea de isoconductividad.
- . Tipos de aguas por acuíferos y por zonas.
- . Análisis tipo en forma de diagramas.
- . Formaciones contaminantes.
- . Vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación.


Los mapas detallados a escala 1:50.000 se confeccionarán solamente para las zonas de mayor densidad de población y actividad económica, como son por ejemplo, las capitales de provincia y los principales polígonos industriales, indicando la forma, volumen y localización de los principales vertidos y las recomendaciones sobre los lugares idóneos para la localización de futuros vertidos, instalación de industrias contaminantes, etc., desde el punto de vista de los peligros de contaminación de las aguas subterráneas.

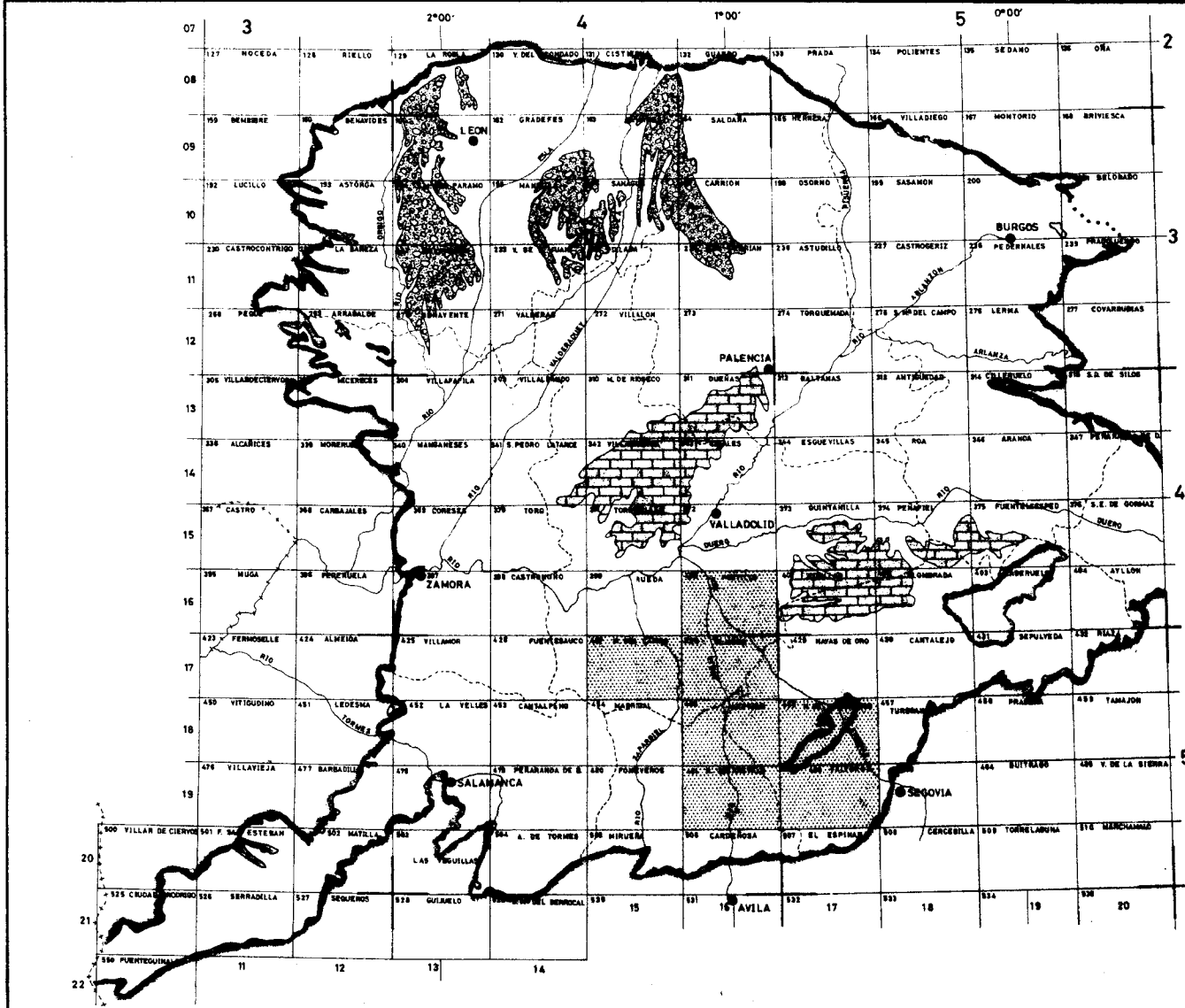
GRAFICOS

Gráfico nº 1

SITUACION DE LA REGION EN ESTUDIO



 ZONA DE ESTUDIO



LEYENDA



- PARAMOS CALCAREOS.
- RAÑAS.
- ARENALES.

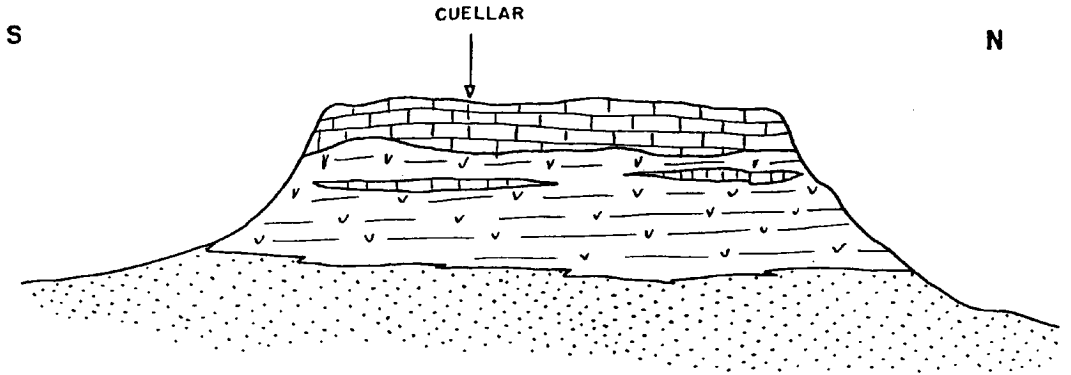
NOTA: NO SE INCLUYEN LOS ALUVIALES.

GRAFICO Nº 2

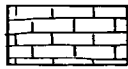
SITUACION DE LOS PRINCIPALES ACUIFEROS SUPERFICIALES

GRAFICO N° 3

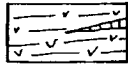
**CORTE ESQUEMATICO DEL
PARAMO DE CUELLAR**



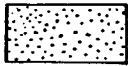
LEYENDA



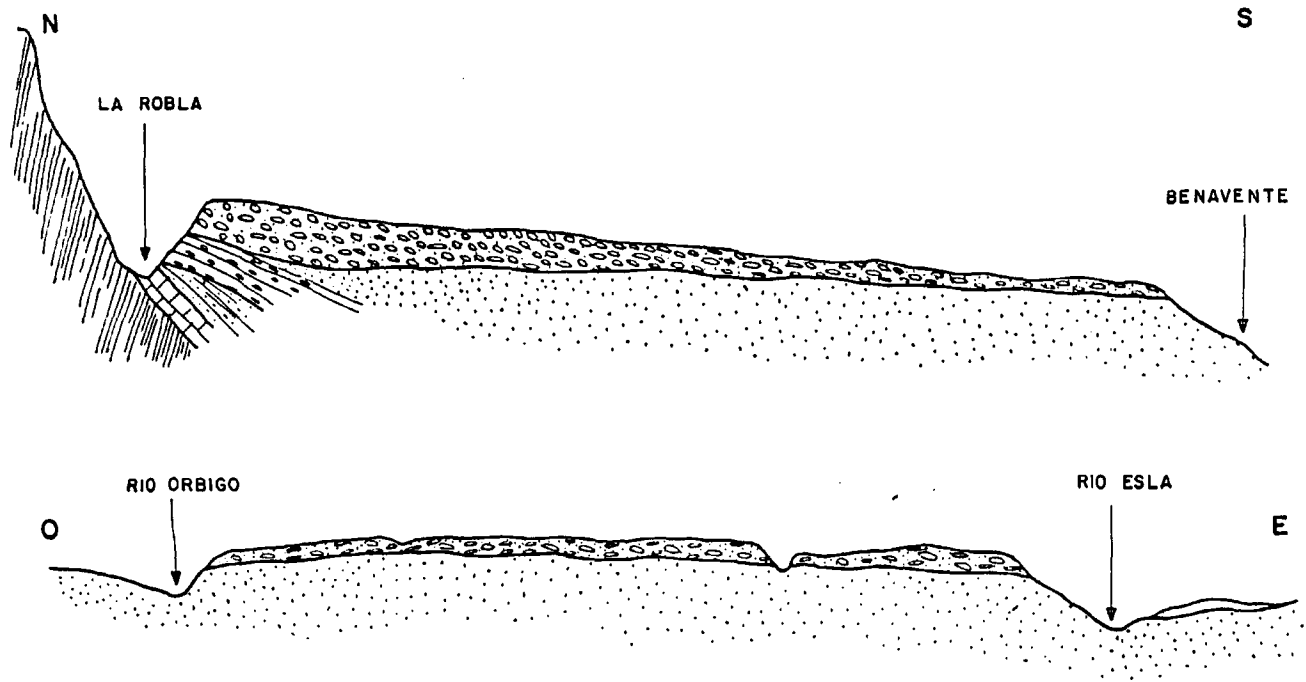
Caliza de los Paramos



Facies Cuesta



Terciario Detritico



LEYENDA







	Paleozóico		Terciario Detritico
	Cretácico		Rañas
	Paleógeno		Cuaternario

GRAFICO Nº 4

CORTE ESQUEMATICO DE LAS RAÑAS DE LEON

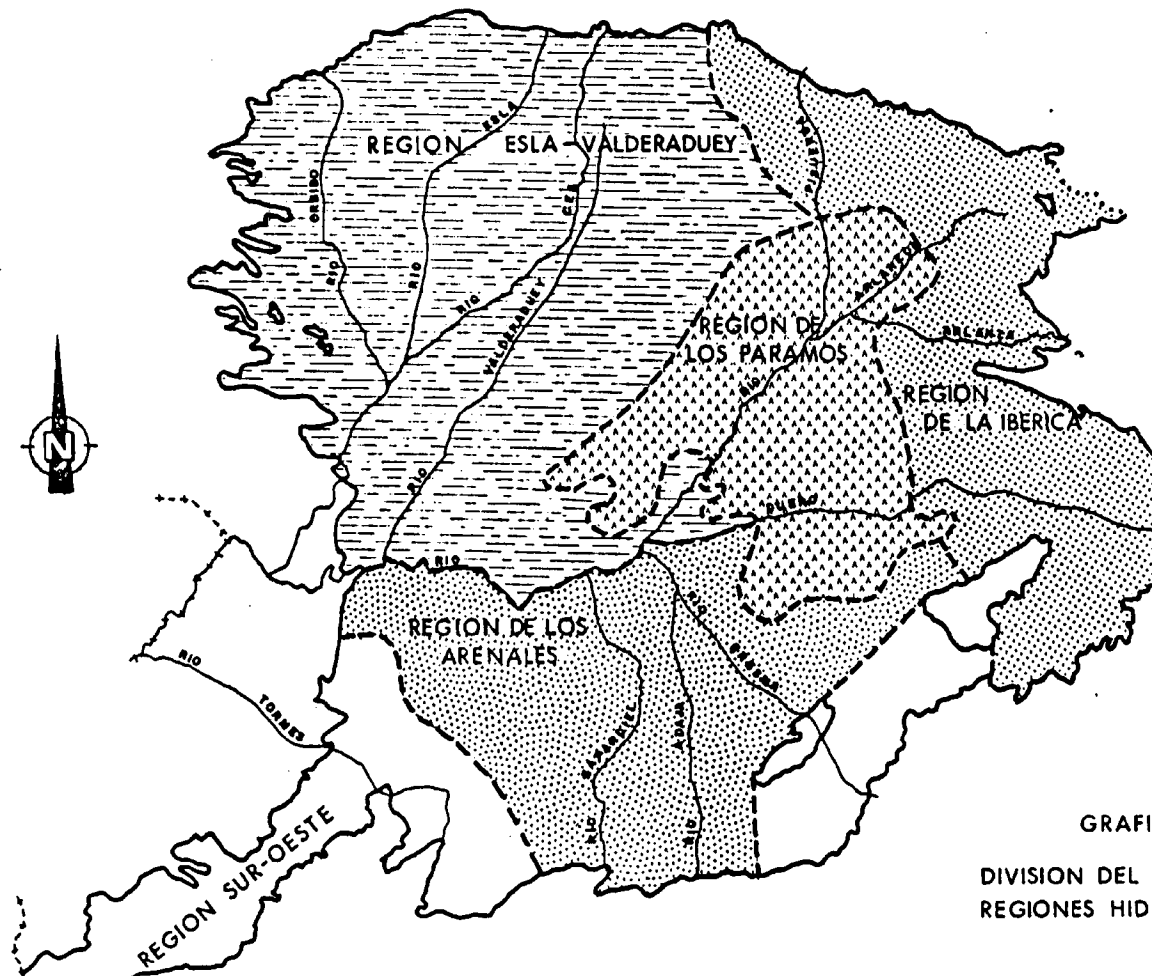


GRAFICO N° 5
 DIVISION DEL TERCIARIO EN
 REGIONES HIDROGEOLOGICAS

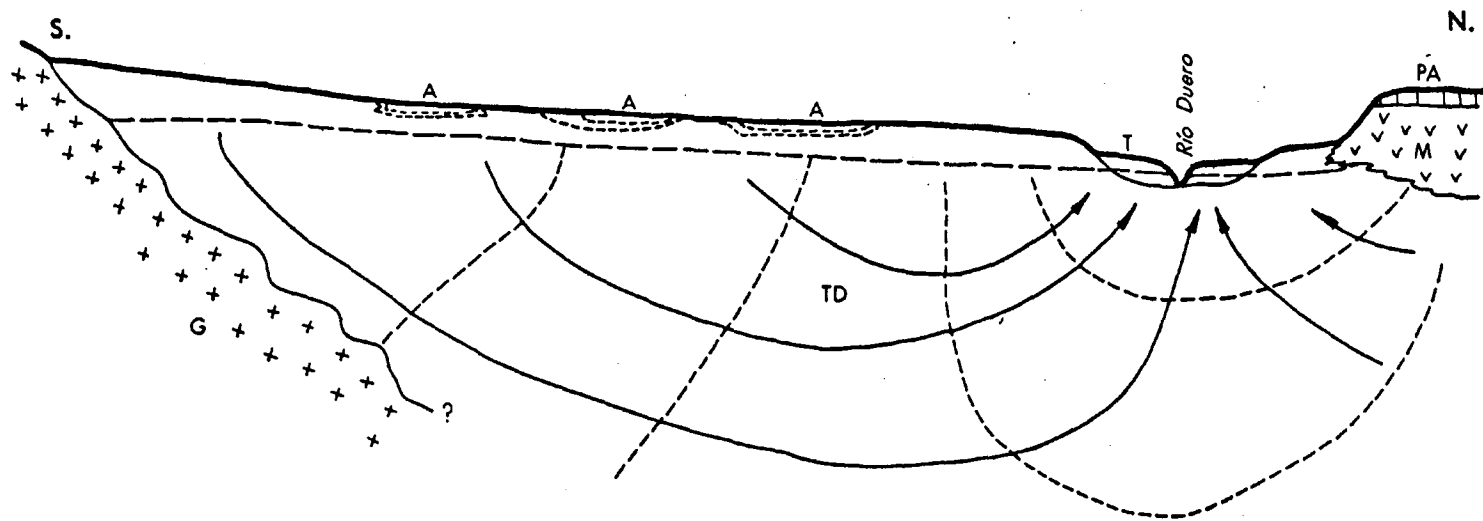


GRAFICO N° 6 - ESQUEMA DEL FLUJO EN LA REGION DE LOS ARENALES (Sin escala)

- | | | | |
|----|---------------------|----|----------|
| — | Nivel piezométrico | PA | Páramo |
| → | Línea de flujo | T | Terrazas |
| G | Granito | A | Arenales |
| TD | Terciario detrítico | M | Margas |

LEYENDA



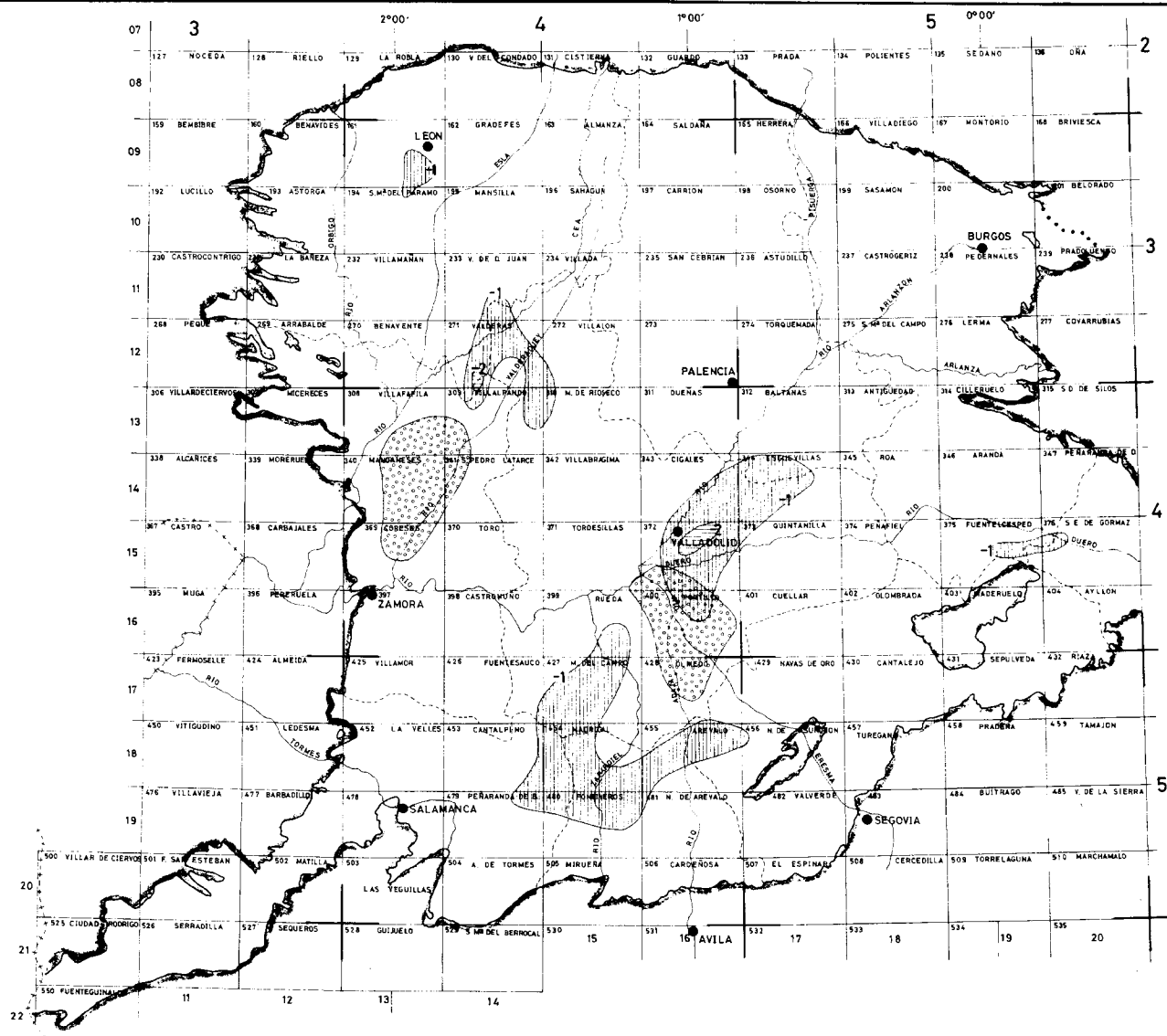
ZONAS CON DESCENSO MEDIO ANUAL SUPERIOR A 1 m.

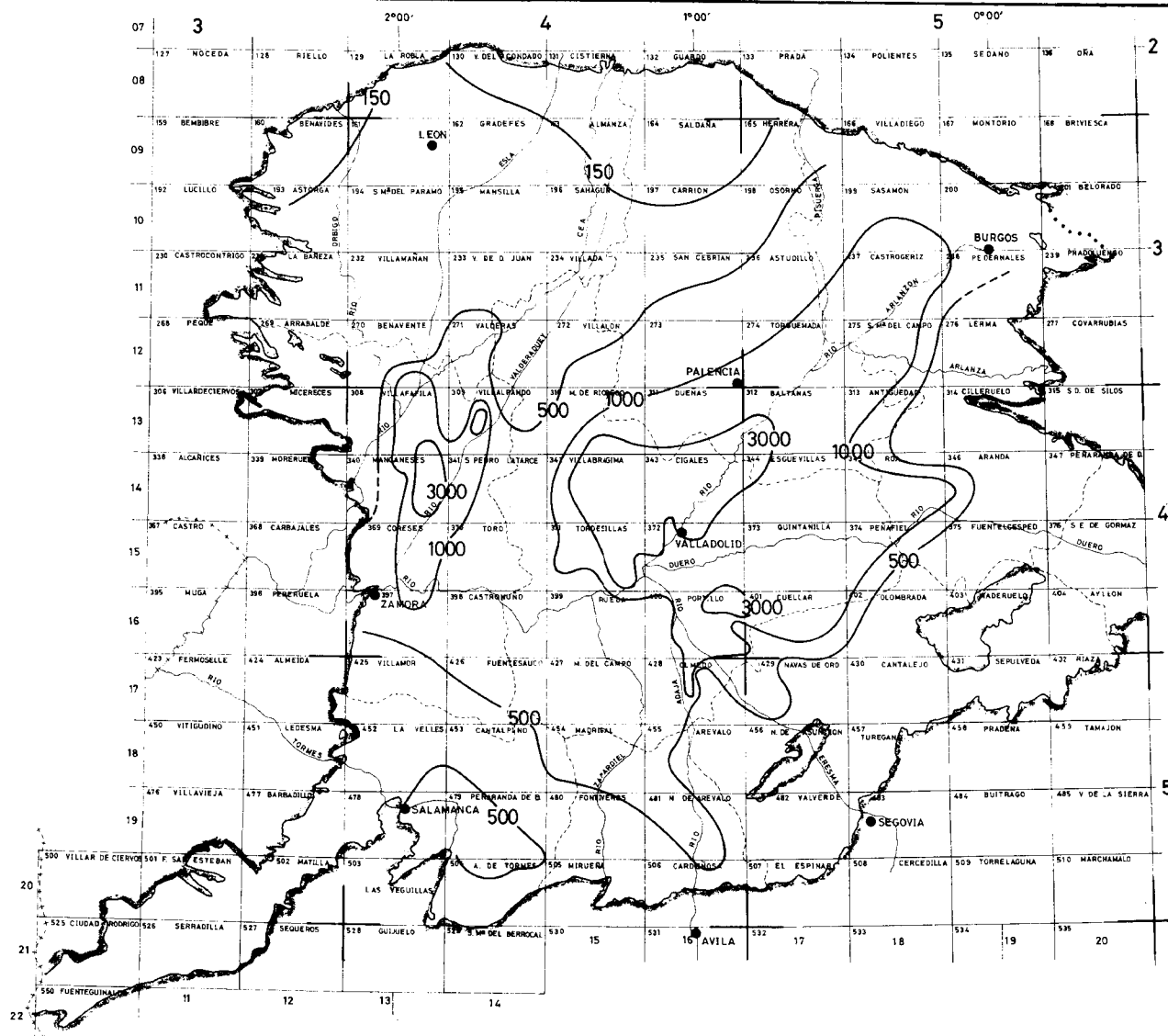
ZONAS CON DESCENSO MEDIO ANUAL SUPERIOR A 2 m.

ZONAS CON PROBLEMAS DE CALIDAD DE AGUA.

GRAFICO Nº 10

ZONAS CON PROBLEMAS DE EXPLOTACION DE AGUAS SUBTERRANEAS





LEYENDA



ISOLINEA DE CONDUCTIVIDAD EN μmhos/cm

GRAFICO Nº 9

CONDUCTIVIDAD DEL AGUA EN EL Terciario Detritico

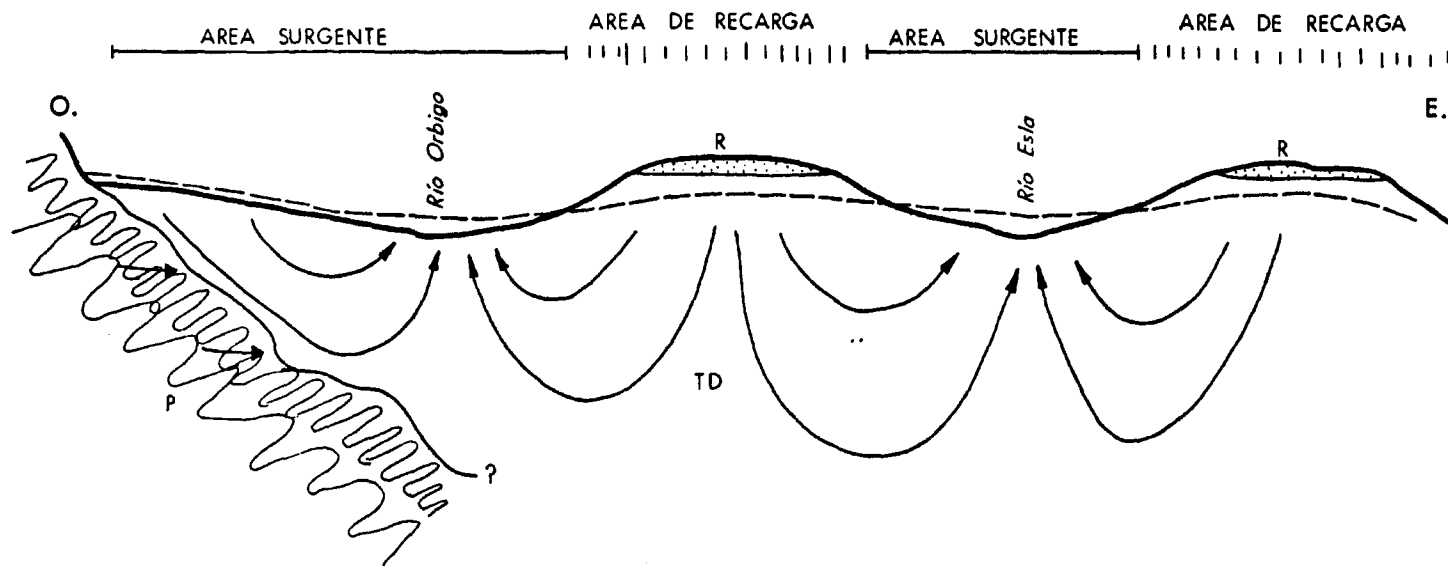


GRAFICO N° 7 - ESQUEMA DEL FLUJO EN LA REGION ESLA -VALDERADUEY (Sin escala)

- Nivel piezométrico
- Línea de flujo
- P Paleozoico
- TD Terciario detritico
- R Rañas

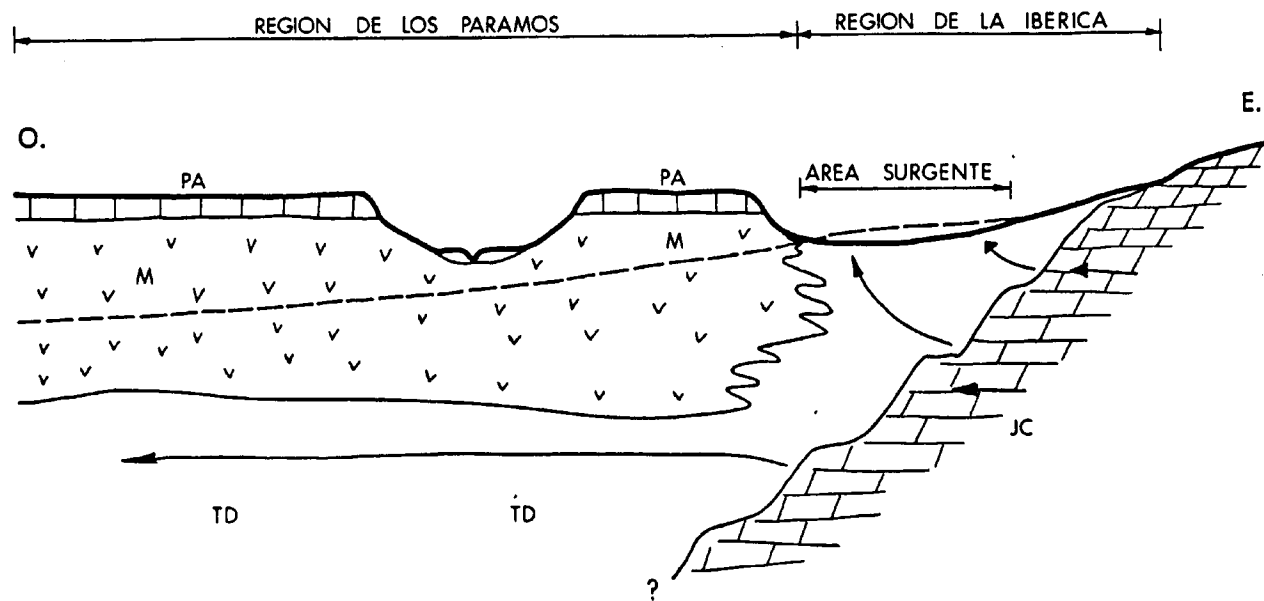


GRAFICO N° 8 - ESQUEMA DEL FLUJO EN LA REGION DE LOS PARAMOS Y EN LA REGION DE LA IBERICA (Sin escala)

- Nivel piezométrico
- > Línea de flujo
- JC Mesozoico
- TD Terciario detrítico
- M Margas
- PA Páramo