

MONOGRAFÍAS DE LA DIRECCIÓN GENERAL DEL MEDIO AMBIENTE. MOPU.

## EVOLUCION Y AMBITO HIDROGEOLOGICO DE LA LAGUNA DE PADUL (GRANADA)

*Castillo Martín, A.; Benavente Herrera, J.; Fernández-Rubio, R. y Pulido Bosch, A.  
Cátedra de Hidrogeología. Universidad de Granada.*

### INTRODUCCION

A 20 kms. al Sur de la ciudad de Granada, junto al pueblo de Padul (figura 1), se localizan una serie de áreas pantanosas (fotografías número 4 y 5), restos de un antiguo reducto lagunar más extenso, el cual fue drenado artificialmente a finales del siglo XVIII, por causas fundamentalmente agrícolas y sanitarias.

En esta nota se presta una atención especial a los diferentes procesos sedimentológicos, controlados en su mayoría por la actividad neotectónica, que han condicionado la evolución de dicho reducto lagunar, así como a las peculiaridades características hidrogeológicas de la depresión de Padul, responsables, en buena parte, de la problemática actual relativa a las posibles afecciones medio-ambientales que, en un futuro más o menos próximo, incidirán sobre el estado de dicha zona húmeda.

Desde el punto de vista geológico, la depresión de Padul es una fosa tectónica subsidente, limitada por fracturas de dirección aproximada NW-SE; aparece colmatada por materiales postorogénicos, cuyas edades abarcan desde el Mioceno a la actualidad, los cuales son, en su mayoría, de naturaleza detrítica y alternantes, frecuentemente, con formaciones de tipo lacustre, cuyas características serán descritas, con más detalle, en el apartado siguiente. En sus bordes septentrional y meridional, la depresión está cerrada por materiales pertenecientes al Complejo Alpujárride, integrados por micaesquistos, filitas y calizodolomías (GALLEGOS, 1975).

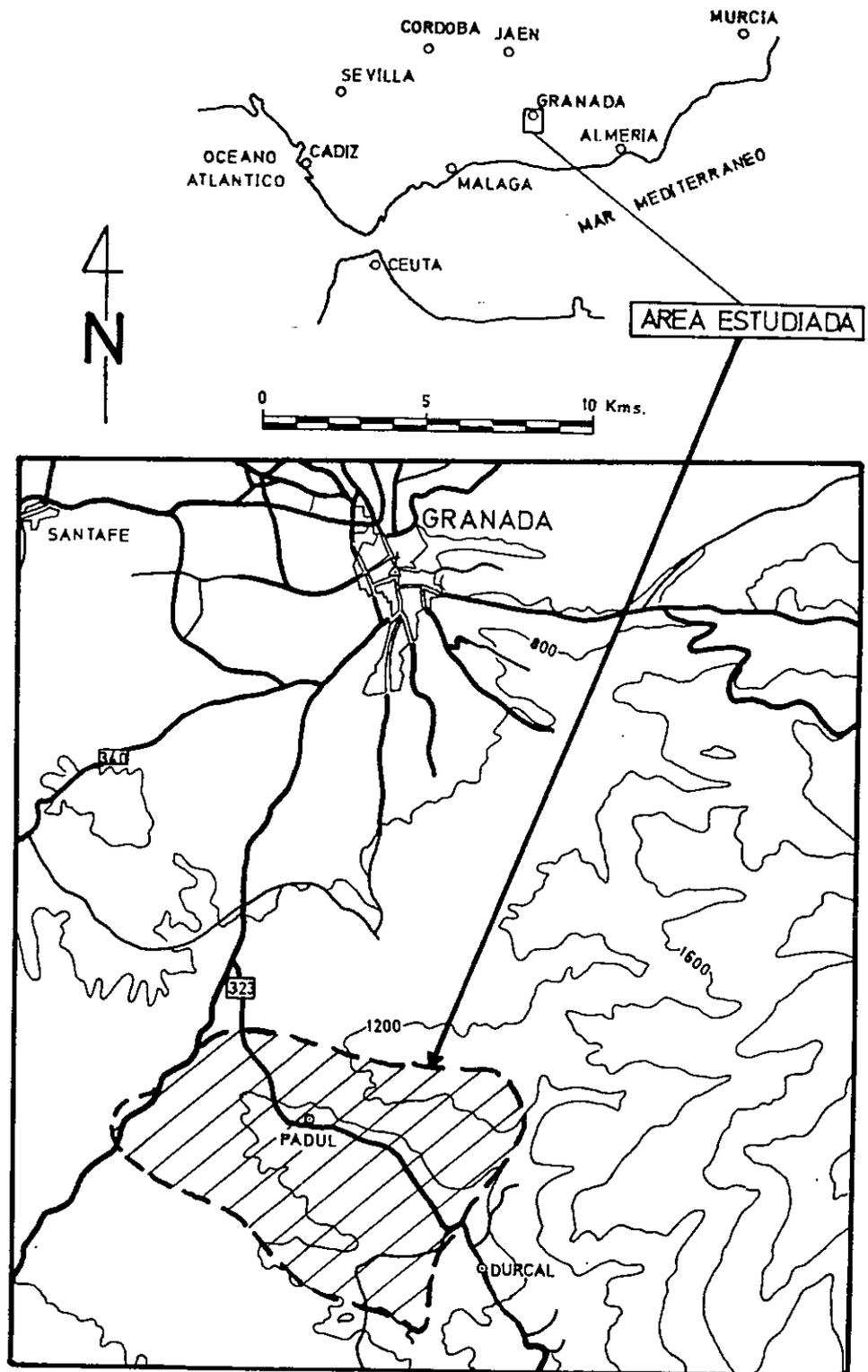


Figura 1.- Localización geográfica del área estudiada.

Hay que destacar la existencia de procesos estructurales, relacionados con la neotectónica, los cuales, con un importante desarrollo en el área investigada, han originado la fosa tectónica de Padul y son los responsables de los notables cambios de facies y potencia que se registran en los diferentes sedimentos postorogénicos. Según GONZALEZ DONOSO (1967) y SANZ DE GALDEANO (1976), tanto las facies de los materiales miocénicos como los frecuentes cambios laterales y variaciones de potencia, apoyan la existencia de movimientos relativos de bloques y un progresivo levantamiento del núcleo de Sierra Nevada, área fuente mayoritaria del suministro de material de todas las formaciones detríticas cuaternarias.

La morfología de la depresión de Padul responde, a grandes rasgos, a un relieve muy llano, correspondiente a la superficie de colmatación de la antigua laguna, cuya cota actual es de unos 730 m. Aparece limitada, septentrional y meridionalmente, por elevaciones montañosas de relativa importancia (superiores, en algunos casos, a 2000 m.), relacionadas con los afloramientos carbonatados alpujárrides que constituyen la orla mesozoica que rodea al macizo de Sierra Nevada en su extremo occidental. El cambio de pendiente, entre ambos conjuntos morfológicos, está jalonado por una serie de conos de deyección, los cuales adquieren un desarrollo espectacular en el sector septentrional (fotografía número 1). El borde occidental de la depresión ofrece un contraste topográfico mucho más suave, y corresponde a una serie de pequeñas elevaciones en materiales neógeno-cuaternarios, en los cuales se localiza la divisoria hidrográfica entre las vertientes atlántica y mediterránea; dentro de esta última se incluye el área objeto de estudio.

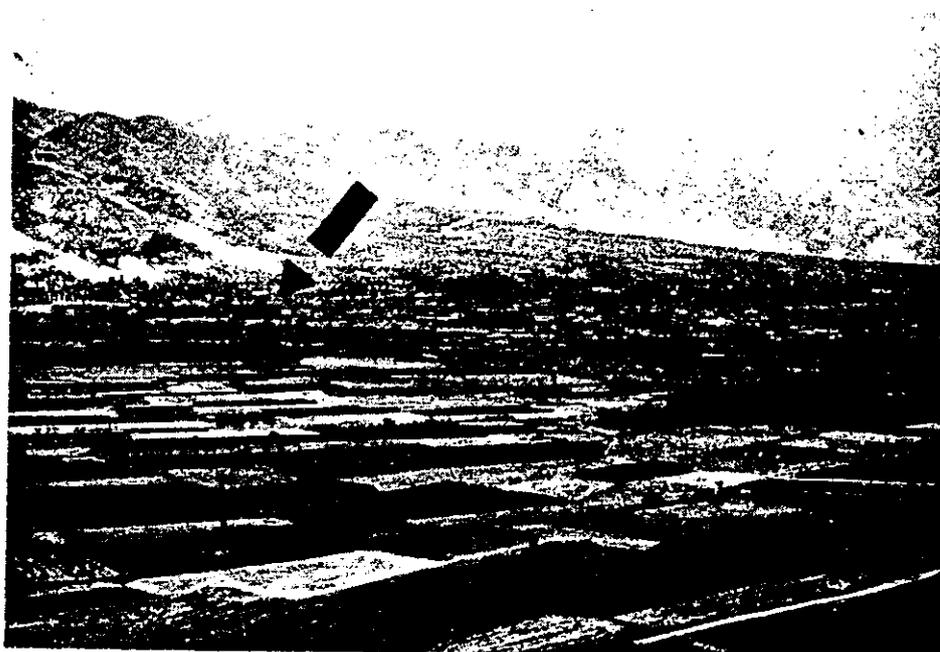
En la figura 2 presentamos un mapa en el que se detalla la situación de las principales acequias (denominadas popularmente "madres") que, como ya apuntamos, se efectuaron con el fin de drenar la primitiva área pantanosa (ver fotografías números 2 y 3). Todas las aguas aportadas por las mencionadas acequias, confluyen hacia un último tramo colector ("río de La Laguna"), el cual desagua finalmente hacia el río Dúrcal. El trazado rectilíneo, netamente artificial, que ofrecen tales acequias, contrasta, de acuerdo con lo representado en la figura 2, con la morfología natural correspondiente a la red de drenaje establecida sobre los diferentes materiales que constituyen los bordes de la depresión. Frente a la reducida densidad de drenaje que caracteriza a los afloramientos carbonatados alpujárrides del borde meridional y la relativamente más elevada que muestran los materiales detríticos del límite occidental, destaca el notable desarrollo que dicho parámetro adquiere en los materiales carbonatados del borde septentrional de la depresión.

Además de la influencia de posibles factores texturales, debidos al intenso grado de fisuración (en algunos casos existe una verdadera brechificación tectónica) que muestran tales materiales carbonatados competentes, de permeabilidad, en general, bastante elevada (GALLEGOS, 1975; MARTIN y PULIDO, 1981), el notable desarrollo, en cuanto a densidad y encajamiento, que presenta la red de drenaje, parece también apoyar la existencia de movimientos relativos, en épocas muy recientes (CASTILLO MARTIN, 1982). Si ello se une a afección, por fallas, a los conos de deyección cuaternarios antes mencionados (LHENAFF, 1955 y 1974; COMAS, 1970), y la gran subsidencia de la fosa de Padul, que desde el Mioceno hasta nuestros días, ha sufrido un relleno que, en algunos puntos, sobrepasa los 200 m., resulta evidente el papel que juega la neotectónica en este sector, como tendremos ocasión de exponer, mediante los resultados de la aplicación de metodologías más específicas, en el siguiente apartado.

Las precipitaciones anuales, para un periodo estudiado de 25 años (1955/80) están comprendidas, dentro del área investigada, entre los valores extremos de 300 y 1100 mm. El valor medio de precipitación, a lo largo de dicho periodo, supera ligeramente los 450



Foto 1.- Panorámica de la depresión de Padul. Zonas húmedas.





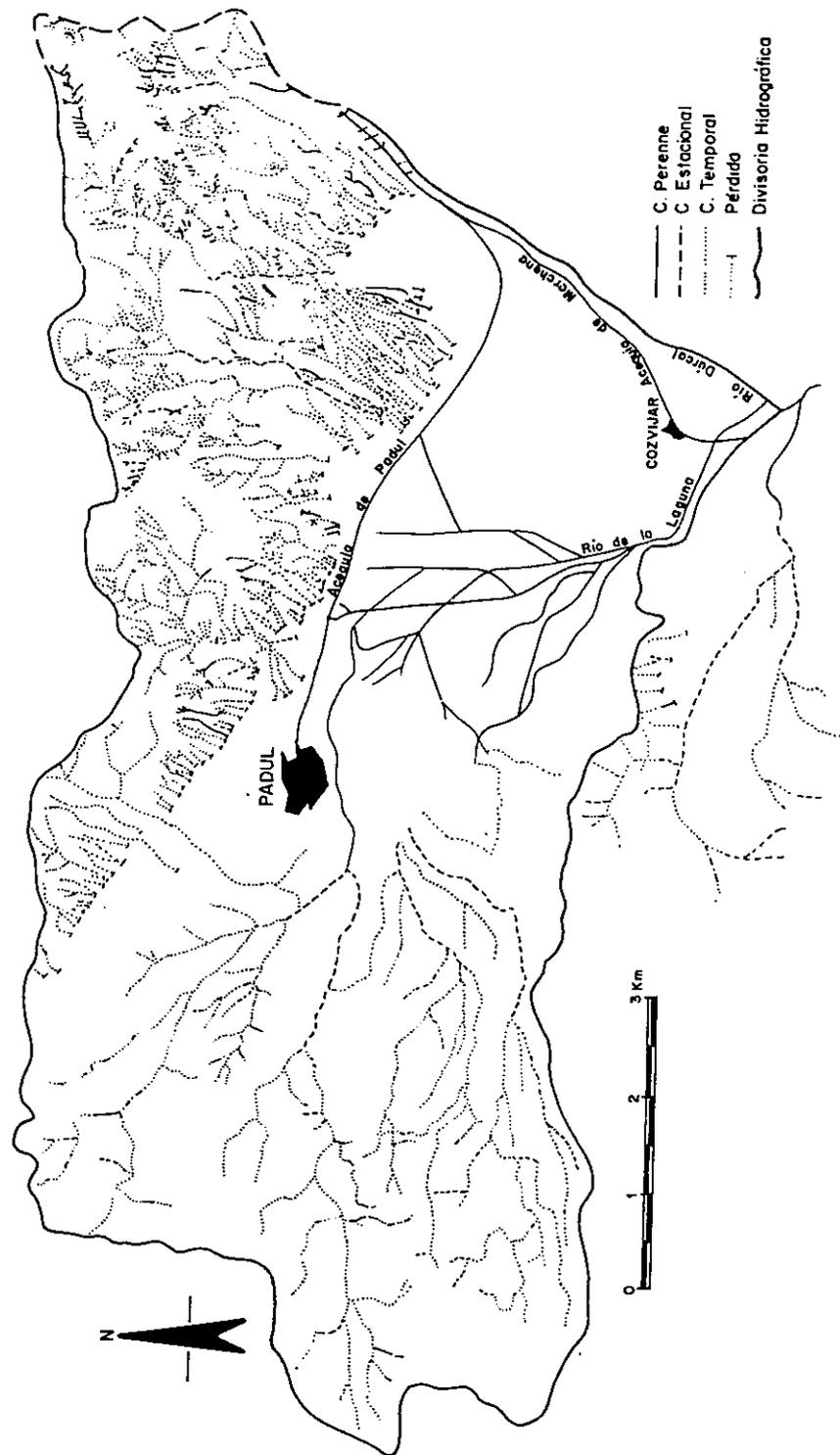


Figura 2.- Red de drenaje de la cuenca vertiente a la depresión de Padul.

mm./año. Los vientos portadores de lluvia en el sector, proceden, de forma mayoritaria, del Suroeste (VILLEGAS, 1972), y, respecto a tales vientos, se acusa de manera bastante generalizada a lo largo de toda la depresión, un "efecto Foehn" inducido por la barrera montañosa que constituyen las alineaciones montañosas litorales (BENAVENTE, 1982).

Las temperaturas medias máximas se registran en los meses de verano, con un máximo generalizado en julio-agosto (25°C). Las medias mínimas tiene lugar en enero (9°C). La temperatura media anual es de 16°C. La fluctuación térmica, entre los valores extremos medios, a lo largo del año, es muy considerable y alcanza los 30°C.

La evapotranspiración potencial es un aspecto interesante de evaluar en el sector estudiado, ya que a la hora de establecer el balance hidráulico hay que tener en cuenta la existencia de ciertas áreas permanentemente encharcadas, cubiertas por una densa vegetación freatofita, en las cuales dicho factor es semejante a la evapotranspiración real y ha sido evaluada en unos 820 mm./año, como valor medio. De igual manera, la aplicación del balance de Thornthwaite para los materiales que integran la casi totalidad del relleno de la depresión (limos, arcillas y turba), arroja un valor medio del orden de 400 mm./año.

## EVOLUCION GEOLOGICA Y ESTADO ACTUAL

Después de las últimas etapas compresivas de la orogenia Alpina, se producen las principales translaciones de los diferentes mantos alpujárrides, que son los responsables de la actual disposición que presentan tales materiales.

Coetáneamente con estas translaciones, y sobre todo al final de ellas, comienzan a ser patentes los efectos derivados de una etapa distensiva la cual, al menos dentro del área estudiada, parece continuar hasta nuestros días. Una consecuencia de dicha etapa es la aparición de importantes fallas normales, las cuales condicionan directamente la formación de depresiones, fundamentalmente de tipo intramontañoso, como la que aquí nos ocupa, dentro de la cual, se instauró a principios del Cuaternario un régimen lagunar. En tales depresiones, al mismo tiempo que se produce el hundimiento del sustrato, se efectúa el relleno, procedente de la erosión de los materiales circundantes del borde, que, en el caso de la depresión de Padul, llega a superar los 200 m. de espesor.

A continuación, procedemos a una breve descripción litológica de los distintos materiales que aparecen en este relleno (figura 3), a partir de cuya interpretación sedimentológica podrá obtenerse una idea acerca de la evolución paleo-ambiental a que ha estado sometida esta cuenca desde el Mioceno medio hasta nuestros días.

El paquete de materiales más inferior, lo constituyen unas calizas bioclásticas y orgánicas, que se depositan durante parte de Mioceno medio y superior. El ámbito de depósito debió corresponder a un medio marino muy próximo a costa, con una gran energía de depósito. Una retirada paulatina del mar se evidencia a lo largo de toda la serie de estos materiales, hasta que en el Tortoniense superior el medio queda restringido a un reducto marino (tipo albufera), de muy poca energía, que favorece la individualización de un paquete superior de limos y arcillas con intercalaciones areniscosas. Al final del Mioceno, el macizo de Sierra Nevada sufre un repentino y brusco levantamiento, con lo que se produce gran cantidad de aportes de materiales, producto de la erosión de tales relieves juveniles; se efectúa, en tales condiciones, un depósito de conglomerados de cantos muy heterométricos, que en su mayoría son de naturaleza metamórfica, de acuerdo con las características litológicas del área fuente. El ámbito de depósito podría corresponder a grandes aportes de materiales clásticos, sobre un medio en parte todavía marino, una de cuyas consecuencias

podría ser el cierre de la depresión de Padul por el Este, convirtiéndola en un medio lagunar, (cuenca de tipo endorréico), como parece suceder a final del Plioceno; en los bordes de dicha cuenca se establecería un medio de depósitos de tipo fluvial. En esta situación, y durante todo el Cuaternario, se produce el acúmulo de una potente serie de materiales

### MATERIALES POSTOROGENICOS

	LITOLOGIA	EDAD	DENOMINACION
	detríticos (en general) y turba	CUATERNARIO	DEPRESION DE GRANADA (PADUL - BURCAL)
	conglomerados	PLIOCENO- MIOCENO SU- PERIOR	
	limos, arcillas y areniscas con yeso		
	calizas bioclásticas y organógenas conglomerado bas.	MIOCENO ME- DIO-SUPE- RIOR	

Figura 3.- Columna estratigráfica del relleno de la depresión de Padul.

detríticos, sobre todo de limos y arcillas, aunque no faltan las arenas y la turba, materiales lacustres, que hacia los bordes de la depresión se indentan con los típicamente fluviales y de conos de deyección.

Alrededor de los depósitos de turba se ha desarrollado una investigación exhaustiva, la cual trae consigo el que se mallee el yacimiento (de 4 kms<sup>2</sup> de superficie cartográfica) con sondeos de reconocimiento minero, en donde además se aplican técnicas de datación mediante C<sup>14</sup> (DOMINGO GARCIA et al.; en prensa), mediante las cuales se establecen conclusiones, que comentaremos a continuación, ya que dan idea precisa de la evolución del lago y de sus depósitos desde hace 300.000 años hasta nuestros días, marcando además la posible evolución futura.

A partir de la datación de 37 muestras de turbas, procedentes de ocho sondeos de reconocimiento minero, se han elaborado las líneas isocronológicas de los depósitos, que se muestran a modo de bloque diagrama en la figura 4 y el gráfico de la figura 5. De la observación de estas figuras se pueden obtener las siguientes conclusiones:

a) A la vista del distinto comportamiento reflejado en las verticales de unos sondeos con respecto a otros, se puede evidenciar la estabilidad relativa del sector meridional, frente a la acusada subsidencia del sector septentrional.

b) Dadas las diferencias de espesor entre sondeos próximos, es necesario invocar una tectónica de bloques dentro de la depresión, con hundimientos diferenciales del sustrato, actividad que, a lo largo del tiempo, acusa pulsaciones.

c) De la comparación entre la velocidad de sedimentación y la climatología (figura 5), se observa que es en los periodos interglaciales cuando se produce un mayor depósito, mientras que en los periodos glaciales el depósito es mínimo, lo cual se debería a la ausencia de hundimiento en la cuenca y/o a carencia de condiciones climáticas aptas para la formación de turba.

La laguna y la formación de turbas continúa hasta el siglo XVIII, que es cuando el Ayuntamiento de Granada, de quién depende el Padul, realiza un drenaje superficial, consistente en la excavación de zanjas de drenaje ("madres"), antes comentadas, para erradicar el paludismo, muy acentuado en este área, y ganar terrenos para la agricultura (VILLEGAS, 1967).

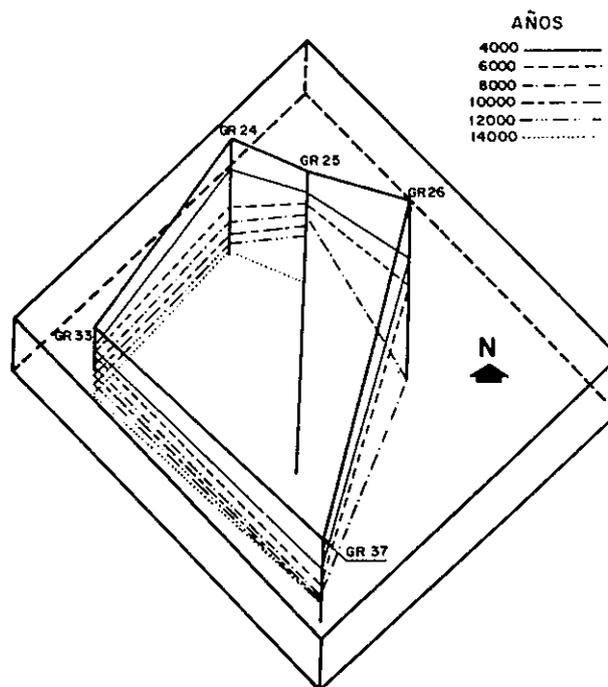
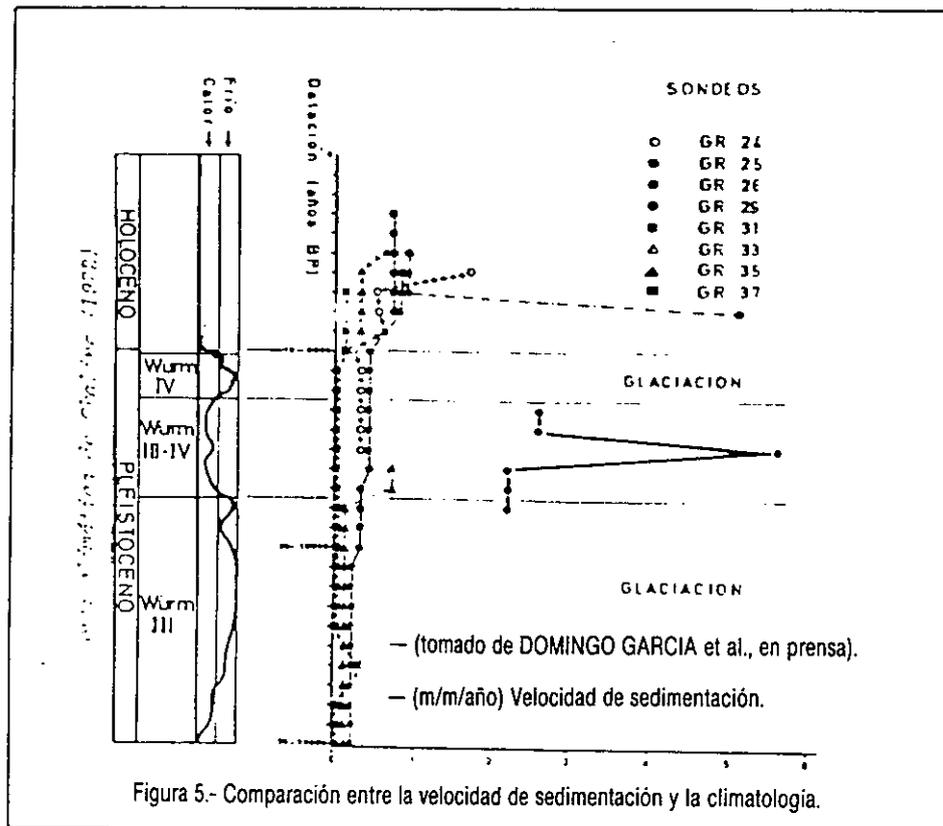


Figura 4.- Líneas isocronológicas entre sondeos (referencia en la figura 6).

Con la desecación no sólo se obtienen tierras de buena calidad para el desarrollo de las labores agrícolas, sino que se pone de manifiesto la existencia de turba, la cual tiene poca importancia en ese momento y es explotada a pequeña escala. Los labradores se dedican a cultivar sus tierras, y debido a que los niveles piezométricos se encuentran muy próximos a superficie, necesitan realizar una limpieza anual de los drenes; pero llegan los años 1960-70, en los cuales se produce una fuerte emigración, de zonas rurales a las ciudades, con lo que los drenes dejan de estar cuidados, y esto trae consigo el aumento del nivel piezométrico, con lo que de nuevo sectores pantanosos, en los cuales las únicas plantas que subsisten son las freatofitas. A esto se suma el proceso natural de subsidencia, al que está sometida esta fosa tectónica. En estos últimos años, se acentúa la explotación de la turba, utilizada como



correctivo de tierras, y se estudia seriamente su posible aprovechamiento como fuente de energía, cuyo principal problema estriba en la necesidad de drenaje y desecación, para reducir los problemas hidrogeológicos y geotécnicos de incrementar el poder energético de la turba en su estado natural.

En la actualidad, la depresión de Padul presenta sólo carácter pantanoso en dos sectores, junto a la turbera de Agia, en el borde meridional, y junto a la turbera de Aguadero en el septentrional; se trata, en ambos casos, de áreas deprimidas, en las cuales, especialmente en épocas de aguaceros, la superficie de agua libre llega a alcanzar extensiones considerables, dada la práctica impermeabilidad de los materiales de relleno y la insuficiente capacidad del sistema drenante.

Un hecho que merece la pena reseñar, y que se pone en evidencia a lo largo de los últimos 20 años, es el aumento de la superficie pantanosa, como queda constatado a partir de la observación de tales áreas húmedas, para la misma época, en los años 1957 y 1980, a partir de fotografías aéreas de la depresión (números 6 y 7). Estas fotografías denotan la evolución de una superficie pantanosa, prácticamente nula en el año 1957, la cual supone más de 800.000 m<sup>2</sup> en el año 1980. El aumento más importante de tales zonas húmedas se da en el borde septentrional, confirmando las conclusiones obtenidas en el estudio de evolución neotectónica mediante datación por C<sup>14</sup>, cuyas razones responden a dos hechos fundamentales:

a) Progresivo aterramiento y estancamiento de las "madres", que ven disminuida así su capacidad drenante y,

b) Progresivo hundimiento del sector septentrional de la depresión, lo cual hace que se encuentre en la actualidad por debajo de la cota del punto más bajo de la salida de las aguas de drenaje de la depresión.

## HIDROGEOLOGIA

La depresión de Padul constituye el drenaje natural de una amplia cuenca hidrogeológica, cuyos límites sobrepasan netamente los correspondientes a la cuenca hidrográfica vertiente (ver mapa hidrogeológico, figura 6). Existiría, muy posiblemente, un flujo regional hacia la depresión y un límite de intercambio nulo bajo el relleno de la misma.

En el entorno de la depresión, a lo largo de los bordes septentrionales y meridional, existen dos importantes acuíferos, desarrollados en los materiales carbonatados alpujárrides, libres en las partes altas de tales afloramientos y en condiciones de semiconfinamiento en la inmediata proximidad de la misma. Deben su permeabilidad, en algunos casos, a procesos de fisurización tectónica intensa, incrementados por fenómenos de dolomitización, que inducen una microporosidad fisural, la cual les asemeja en su comportamiento a un acuífero detrítico. En el sector meridional sus características responden más bien al modelo kárstico. De acuerdo con ambas condiciones, la distribución de los parámetros hidrodinámicos puede ser muy variable, aunque se han registrado, en general, valores elevados de transmisividad, del orden de  $10^3$ - $10^4$  m<sup>2</sup>/día y caudales específicos de decenas a centenas de l/s/m<sup>2</sup>.

Otro conjunto hidrogeológico, que puede estar interconectado con el acuífero dolomítico del borde Sur, son las calcarenitas bioclásticas, que deben su permeabilidad a porosidad intergranular, fisuración y/o karstificación.

Los conglomerados de base y las formaciones de amplios conos de deyección, presentan comportamiento acuífero-acuitardo. Tienen alimentación directa, pero especialmente sirven de elementos de transferencia, hacia la depresión, del agua subterránea procedente del acuífero alpujárride. Su permeabilidad es muy variable, si bien la transmisividad puede alcanzar valores de centenas a miles de m<sup>2</sup>/día.

Presentan comportamiento de acuitardos y acuícludos: las filitas (en la base de los acuíferos carbonatados alpujárrides), los limos, areniscas y arcillas con yeso (en la base de los conglomerados) y la turba.

La circulación de aguas subterráneas, hacia la depresión, tiene lugar tanto por flujos subhorizontales (desde los acuíferos carbonatados, calcarenitas y conos de deyección) como flujos subverticales (desde las calcarenitas y conglomerados de base y a través de las intercalaciones de gravas, arenas y limos que se indentan con la turba).

Las aguas de menor contenido salino, y mejor calidad, son las procedentes de los acuíferos carbonatados alpujárrides y las de peor calidad, las del borde Este, que acceden a la depresión a través de los conglomerados del Mioceno superior-Plioceno. En todos los casos, se trata de aguas bicarbonatadas cálcico-magnésicas (ver diagramas hidroquímicos en la figura 6). En la actualidad, el agua procedente de drenajes superficiales, de las explotaciones de turba, es sulfatada cálcica y con un quimismo que la hace inadecuada para la mayoría de los usos, consecuencia de la lixiviación de turba en un ambiente oxidante.

Se han detectado y estudiado (CASTILLO MARTIN, 1982) una serie de focos actuales de polución de las aguas: vertidos sólidos urbanos de Padul y Cozvilár; residuos líquidos urbanos de Padul; abonos nitrogenados; estercoleros y vaquerías; y las aguas de drenaje de las actuales explotaciones de turba.

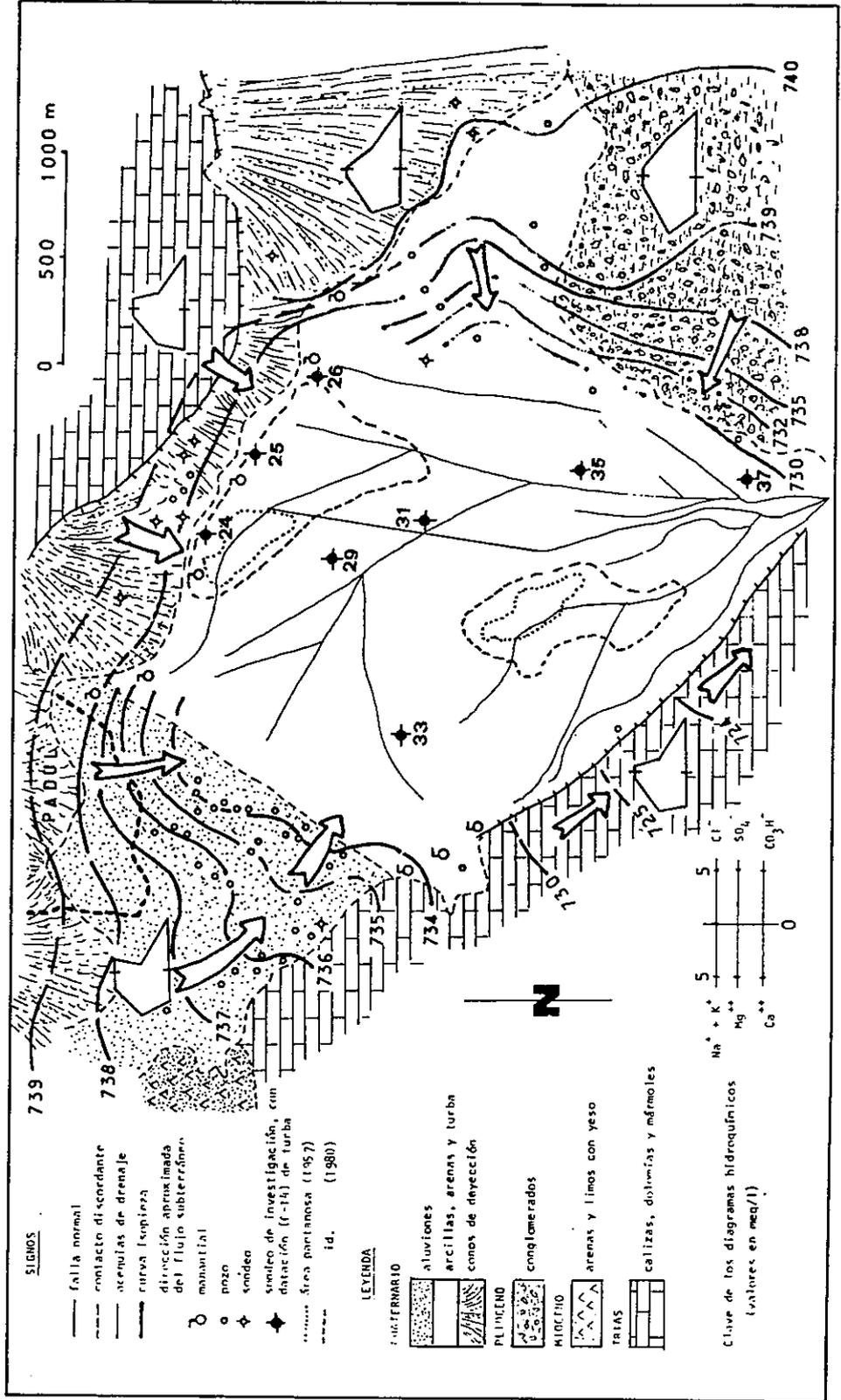
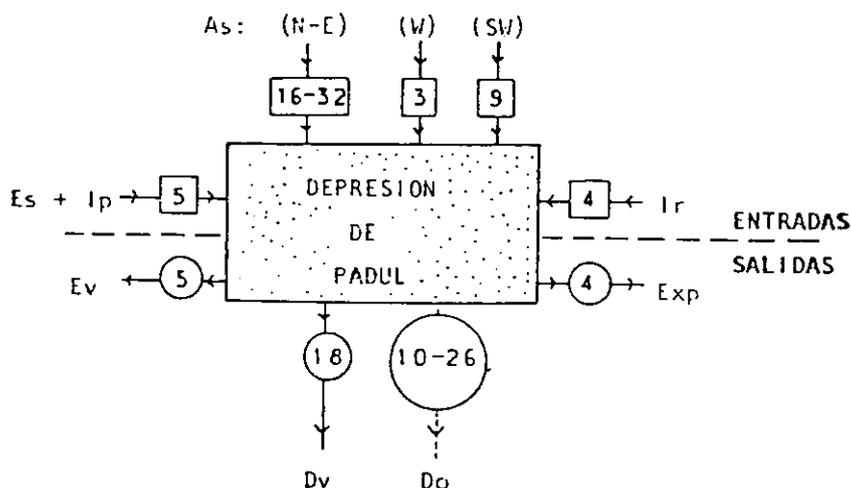


Figura 6.- Mapa hidrogeológico de la depresión de Padul. (Fecha de isopiezas: febrero/1980. Fecha de los análisis químicos: noviembre/1981). Procedencia de los datos de base: ENADIMASA (informe técnico interno).

En la figura 7 presentamos, de manera esquemática y aproximada, los principales elementos del balance hídrico de la cuenca vertiente a la depresión de Padul, según datos de CASTILLO MARTIN (1982). De acuerdo con tales valores, los recursos totales de agua, en la depresión de Padul, pueden estimarse comprendidos entre 30 y 45 Hm<sup>3</sup>/año.

Figura 7.- Representación esquemática del balance hídrico para la depresión de Padul (As: alimentación subterránea a partir de los diferentes bordes; Es + Ip: infiltración de la escorrentía superficial y de la precipitación sobre la cuenca; Ir: infiltración a partir de las derivaciones para riego del río Dúrcal; Ev: evaporación y evapotranspiración; Exp: explotación; Dv: drenaje visible por el "río de La Laguna"; Do: descarga subterránea oculta). Todos los valores son aproximados y se expresan en Hm<sup>3</sup>/año.



## CONCLUSIONES

El incremento progresivo en la superficie ocupada por áreas pantanosas que, en las últimas décadas, se registran en la depresión de Padul (Granada), parece obedecer, por una parte, a la evolución neotectónica, la cual induce, de manera general, un progresivo fenómeno de subsistencia en dicha fosa tectónica, más acentuado en su borde septentrional. A este respecto, resultan sumamente ilustrativos los datos sedimentológicos de los materiales que rellenan la depresión, en especial los relativos a la datación de los niveles de carbonosos (turba) que se depositaron en el Cuaternario, merced a la individualización, en dicha fosa, de una cuenca endorréica en la cual se estableció un medio lacustre; este reducto lagunar hubo de ser drenado artificialmente, a finales del siglo XVIII, mediante una serie de acequias ("madres").

El ámbito hidrogeológico regional, dentro del cual la depresión de Padul constituye un área de descarga importante, relacionada fundamentalmente con los acuíferos carbonados del Triás alpujárride, contribuye a explicar algunos aspectos relativos al citado incremento de las zonas húmedas en dicho sector, ya que, por sus características, el sistema de drenaje resulta insuficiente, en la cantidad, frente a la elevada alimentación subterránea que registra la cuenca.

## BIBLIOGRAFIA

- BENAVENTE, J. (1982). *Estudio al conocimiento hidrogeológico de los acuíferos costeros de la provincia de Granada*. Tesis Doctoral (inédita) Univ. Granada. 567 p.
- CASTILLO MARTIN, A. (1982). *Estudio hidroquímico de la depresión de Padul (Granada)*. Tesis en Licenciatura (inédita). Univ. Granada. 227 p.
- COMAS, M.C. (1970). *Observaciones geológicas en los alrededores de Nigüelas (Granada, zona Bética)*. Cud. Geol. Univ. Granada, 1: 39-43. Granada.
- DOMINGO GARCIA, M.; FERNANDEZ-RUBIO, R.; LOPEZ GONZALEZ, J.D. y GONZALEZ GOMEZ, C. (En prensa). *Geocronología mediante C<sup>14</sup> de las turbas de Padul*.
- GALLEGOS, J.A. (1975). *Los Alpujarrides al W de Sierra Nevada*. Tesis Doctoral Univ. Granada. 494 p.
- GONZALEZ DONOSO, J.M. (1967). *Estudio geológico de la depresión de Granada*. Tesis Doctoral (inédita) Univ. Granada. 149 p.
- LHENAFF, R. (1965). *Néotectonique quaternaire sur le bord occidental de las Sierras Nevada (province de Grenade, Espagne)*. Rev. Geogr. Phys. Geol. Dynam. 7 (3): 205-207.
- LHENAFF, R. (1979). *Estudio morfológico del valle de Lecrín*. Est. Geogr. Andalucía Oriental: 87-104. Granada.
- MARTIN, J.M. y PULIDO BOSCH, A. (1981). *Consideraciones sobre la porosidad y permeabilidad en dolomías*. Simp. Agua-Andalucía, 1:337-346. Granada.
- SANZ DE GALDEANO, C. (1976). *Datos sobre las deformidades neógenas y cuaternarias en el sector de Padul (Granada)*. Reun. Geodinámica Cord. Bética y mar de Alborán. Univ. Granada. 197-218. Granada.
- VILLEGAS, F. (1967). *La laguna de Padul, evolución geológico-histórica*. Est. Geogr. XXVIII.
- VILLEGAS, F. (1972). *El valle de Lecrín*. Inst. Geogr. Aplic. "Alonso Herrera". CSIS. 384 p. Granada.