

Evaluación de las descargas subterráneas de los acuíferos kársticos jurásicos del Macizo de Cameros en la Cuenca del Ebro

Evaluation of groundwater discharge of the Cameros Chain jurassic karstic aquifers in the Ebro Basin

P. Coloma

Área de Geodinámica. Departamento de Ciencias de La Tierra. Universidad de Zaragoza. 50009 ZARAGOZA

ABSTRACT

In the present work is studied the main discharge of the jurassic karstic aquifers located in the Cameros Chain. The discharge takes place along the main streams (Iregua, Leza, Jubera, Cidacos and Alhama) in the overthrust tectonic zone between Cameros unit and Ebro Tertiary depression; in these zones the streams are fed by groundwater (gaining streams). The mean resources measured during three hydrological years (93/ 94 to 95/ 96) were 33 hm³/year. The hydrochemical study has permitted to deduce ionic mixture processes for the discharge waters.

Key words: Jurassic karstic aquifers, Cameros Chain, gaining streams, ionic mixture

Geogaceta, 24 (1998), 83-86

ISSN: 0213683X

Introducción. Régimen general de funcionamiento hidrogeológico

El presente estudio forma parte de una serie de investigaciones encaminadas a conocer el régimen actual de descarga de los flujos de agua subterránea de la Cordillera Ibérica en la Depresión Terciaria del Ebro, tanto en sus aspectos cuantitativos como cualitativos. En este trabajo se hace la caracterización del funcionamiento hidrogeológico general y del régimen de las descargas que tienen lugar en el contacto entre el Macizo de Cameros y la Depresión Terciaria del Ebro. A tal objeto han sido realizadas numerosas observaciones de campo y utilizados criterios topográficos, geológicos, hidroquímicos (composición, temperatura, conductividad y sus variaciones) e hidrogeológicos (piezometría y su evolución, caudales de manantiales y ríos y su evolución, etc.).

El funcionamiento hidrogeológico general del Macizo de Cameros en su vertiente hacia el Ebro ha sido establecido por Coloma (1995, 1997a). Básicamente este funcionamiento viene referido a una serie de acuíferos carbonatados kársticos desarrollados en las formaciones calcáreas del jurásico marino, especialmente en las Fms. Carniolas de Cortes de Tajuña, Calizas tableadas de Cuevas La-

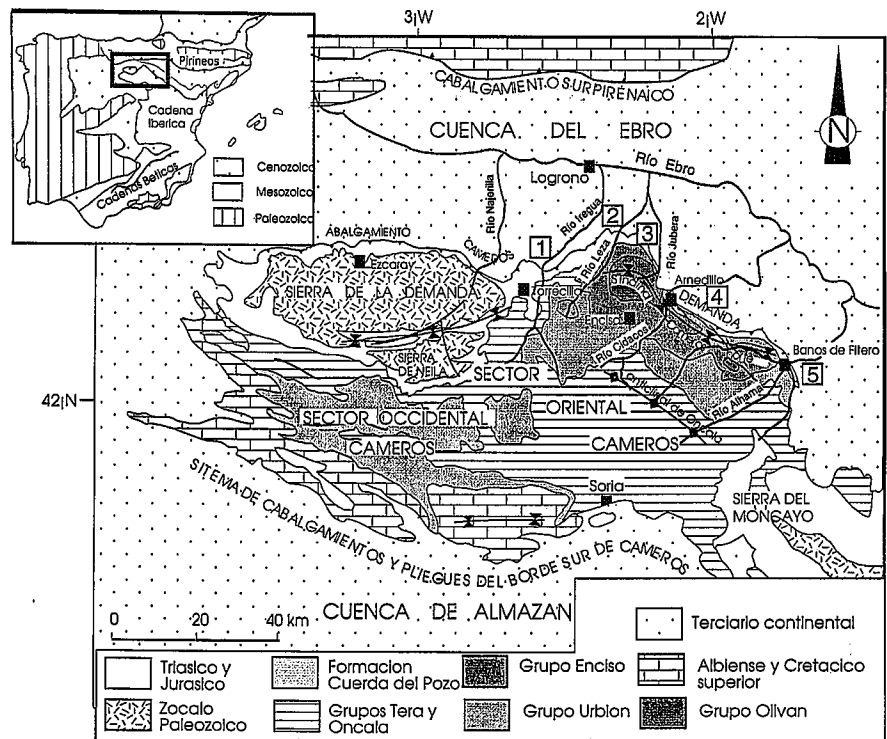


Fig. 1.- Mapa geológico del Macizo de Cameros, mostrando los ríos y las zonas en las que se produce la descargas más importantes

Fig. 1.- Geological map of Cameros Chain showing the main rivers and groundwater discharge zones

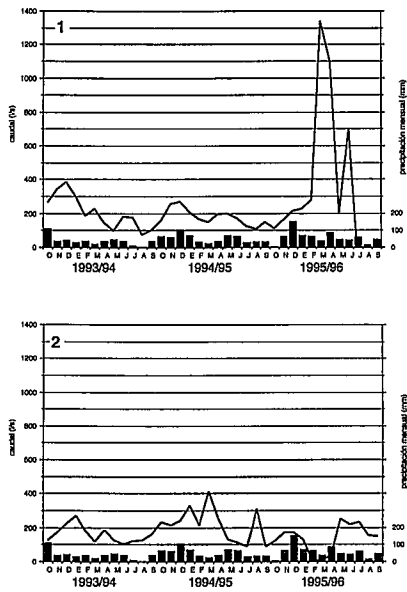


Fig. 2- Hidrograma de los caudales aportados al río Iregua

Fig. 2- Hidrograph of Iregua river discharge zones

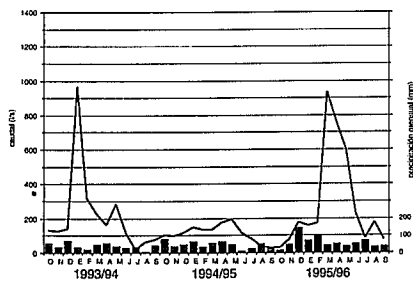


Fig. 3- Hidrograma de los caudales aportados al río Leza

Fig. 3- Hidrograph of Leza river discharge zone

bradas (Lías) y carbonatadas de Chelva (Dogger) (formaciones definidas por Goy *et al.*, 1976), con una potencia variable entre 400 y 800 m. El sustrato impermeable de los mismos son los materiales margo-evaporfíticos triásicos.

Estos acuíferos presentan escasos afloramientos, que quedan restringidos a la zona del importante contacto cabalgante entre el Macizo de Cameros y la Cuenca Terciaria del Ebro. En general se encuentran semiconfinados por potentes acuitardos desarrollados en los materiales del Jurásico-Cretácico en facies Weald, que estratigráficamente fueron divididos en cinco grupos por Tischer (1966): Tera, Oncala, Urbión, Enciso y Oliván, con un espesor extraordinariamente importante (hasta 9000 m, según Mas *et al.*, 1993 y Casas y Gil, 1998). Si bien el comportamiento general de estos materiales es el de acuitardo, existen conjuntos estratigráficos de mejores cualida-

des acuíferas, en los que la recarga es más importante, se trata de los afloramientos de los Grupos Tera y Oncala en la cuenca del Alhama, así como en las calizas del Grupo Enciso en el interfluvio Leza-Jubera, y en las zonas de contacto con las unidades permeables, que es donde se ubican algunos sumideros y se producen las infiltraciones más significativas. El resto de las facies Weald son esencialmente poco permeables, lo que unido a las elevadas pendientes topográficas hace que la escorrentía directa sea claramente predominante respecto a la posible infiltración de las aguas pluviales; sin embargo, sus características de acuitardo de gran extensión areal, permiten que la recarga a los acuíferos carbonatados del Jurásico pueda ser regionalmente importante. De forma general los ríos no ven influenciados sus caudales al discurrir por este tipo de materiales, a los que normalmente drenan (Fig. 1).

La descarga de los acuíferos regionales

Al constituir los ríos las líneas de menor potencial hidráulico, actúan de nivel de base para la descarga de todos los flujos subterráneos. A medida que van atravesando las diferentes estructuras geológicas se establecen relaciones con las zonas saturadas que atraviesan, constituyendo diversas relaciones aguas subterráneas-aguas superficiales. En las cuencas de los ríos que descienden del Macizo de Cameros hacia el Ebro, la descarga general de los acuíferos jurásicos kársticos tiene lugar en la zona de contacto cabalgante referida anteriormente, en la que se ponen en contacto los materiales permeables jurásicos con los impermeables del triásico margo-yesífero o del terciario; esta descarga tiene lugar concretamente en los puntos más bajos de ese contacto, en la zona en que los cauces principales lo cortan, constituyéndose como tramos fuertemente influentes. Este hecho se ha podido constatar en todos los cauces de los ríos principales: Iregua, Leza, Jubera, Cidacos y Alhama.

En el río Iregua la descarga tiene lugar en una serie de manantiales y especialmente en el cauce del río entre las cotas 870 y 712 m, en él se han detectado dos zonas de descarga preferente, en la primera de ellas, situada en el entorno de la localidad de Torrecilla en Cameros, el río gana unos 170 l/s (Fig. 2.1); la segunda se ubica en el contacto cabalgante, donde se aportan al río unos 240 l/s (Fig. 2.2). Destaca la irregularidad del régimen de estas descargas en el primer tramo, claramente influenciado por el régimen de pre-

cipitaciones, reflejando un comportamiento típicamente kárstico, siendo más constantes en el segundo tramo (Fig. 2.2).

En el cauce del río Leza, entre las localidades de Soto en Cameros y Leza, se localiza una zona de descarga entre las cotas 520 y 650 m, el río llega a ganar caudales que oscilan entre 20 y más de 900 l/s, siendo el caudal medio ligeramente superior a 200 l/s (que incluye la aportación del manantial de El Restauro, de 90 l/s de caudal medio). En general, cuando los aforos arrojan valores superiores a 500 l/s, el agua circulante engloba también pequeñas escorrentías superficiales de las laderas del río. Como en el caso del Iregua, la irregularidad del régimen de descarga es patente (Fig. 3).

La descarga directa en el cauce del río Jubera, afluente del Leza por su margen derecha, tiene lugar en la cota 598 m, en la intersección del cauce con el frente cabalgante. Destaca el carácter claramente influente del río en el primer sector de afloramientos jurásicos, aguas abajo, en las proximidades de la localidad de Jubera el río se hace efluente, siendo el caudal ganado entre prácticamente 0 y 175 l/s según las épocas del año, presentando una considerable constancia (Fig. 4).

En el río Cidacos existe un área de descarga termal en la que se sitúan los manantiales termales de Arnedillo, con unas surgencias de 22 l/s, todos los manantiales termales están muy próximos entre sí y surgen en torno a la cota 675 m, allí donde el cauce corta al contacto entre Fm. Cortes de Tajuña y el Triásico margo-yesífero; su caudal es muy constante y su temperatura oscila entre 49 y 52 °C, siendo su composición clorurada sódica, correspondientes a la descarga de un flujo regional (Coloma, *et al.*, 1997b).

Hay otra descarga más importante que tiene lugar a lo largo del Cidacos, en el tramo en el que el cauce intersecta los afloramientos jurásicos entre las cotas 645 y 685 m. El total de los aportes al río durante el periodo de estudio ha arrojado un caudal medio próximo a 175 l/s, con oscilaciones puntuales variables entre 27 y 385 l/s (Fig. 5).

En esta área de descarga se deduce la existencia de dos tipos de circulación subterránea. Una de ellas corresponde a las surgencias termales, de caudal y parámetros fisicoquímicos bastante constantes en el tiempo que indicarían la relación con un acuífero kárstico de gran poder regulador, de elevada inercia y reservas importantes, correspondiente a un flujo profundo de carácter regional. La otra circulación sería de régimen típicamente kárstico, relacionada con un sistema de

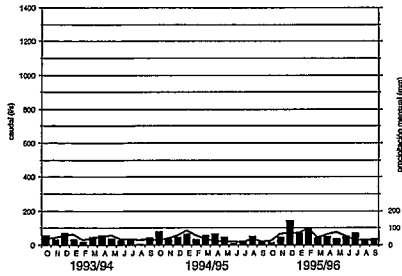


Fig. 4- Hidrograma de los caudales aportados al río Jubera

Fig. 4- Hidrograph of Jubera river discharge zone

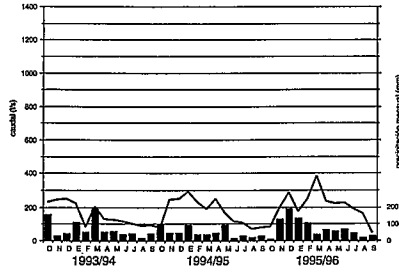


Fig. 5- Hidrograma de los caudales aportados al río Cidacos

Fig. 5- Hidrograph of Cidacos river discharge zone

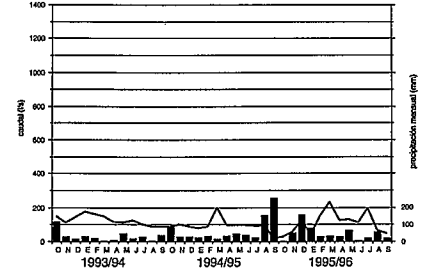


Fig. 6- Hidrograma de los caudales aportados al río Alhama

Fig. 6- Hidrograph of Alhama river discharge zone

menor capacidad reguladora y de respuesta más rápida a los episodios de recarga, que descargaría esencialmente a través de los afloramientos jurásicos del entorno de Arnedillo.

Allí donde el río Alhama atraviesa el contacto cabalgante entre el Macizo de Cameros y la Depresión terciaria del Ebro, a cota entre 501 y 435 m, se localizan una serie de surgencias que drenan el acuífero Jurásico en todo este sector. Sus rasgos más característicos son la elevada temperatura de emergencia (entre 46°C y 49°C), y la mineralización también elevada, de 4500-5000 mg/l. Sus aguas son utilizadas en dos centros balnearios situados en el término municipal de Fitero (Fig. 6).

Las dos descargas más importantes de esta zona son las del Bañeario Virrey Palafox, que surge a 501 m, con una temperatura media de 46,5 °C y un caudal constante de 18 l/s, y la del Bañeario Gustavo Adolfo Bécquer, que surge a 499 m, a una temperatura media de 48,5 °C y un caudal constante de 30 l/s. Geológicamente ambas descargas se ubican en fracturas profundas que afectan a materiales del Grupo Tera, actuando a modo de vías preferentes de ascenso de los flujos termales (Coloma, 1997b, Coloma *et al.*, 1997a). Han dado lugar a una extensa terraza travertínica.

En la intersección del cauce del Alhama con el contacto cabalgante se localizan otros manantiales que descargan directamente al río; el caudal medido incluye tanto los manantiales termales de Baños de Fitero como los aportes directos al río; una vez deducidos estos últimos obtenemos un caudal diferencial variable entre 25 y 285 l/s, y un caudal medio ligeramente superior a 112 l/s.

El análisis de la información precedente, unida al estudio de los hidrogramas, nos ha permitido deducir la presencia de dos tipos de circulación subterránea, como ocurre en el caso del río Cidacos.

Reflejo del funcionamiento hidrogeológico en la evolución espacial de la hidroquímica de las aguas de los ríos

Fuera de los episodios lluviosos, la composición química de las aguas de los ríos aguas abajo de las zonas de descarga referidas responde a la mezcla de las aguas fluviales y las aportadas subterráneamente, que constituyen su flujo de base.

En la caracterización química de las aguas de un río a lo largo de su perfil, hay

una serie de iones cuyo estudio puede aportar datos interesantes acerca del funcionamiento hidrológico. En nuestro caso hemos realizado diferentes balances de cloruros habida cuenta del carácter conservativo de este ión, circunstancia que unida a la realización de aforos diferenciales a lo largo de los cauces efluentes permite hacer estimaciones no sólo de los caudales de descarga sino también de su composición química. La evolución de los parámetros medidos y los calculados para las aguas de descarga re-

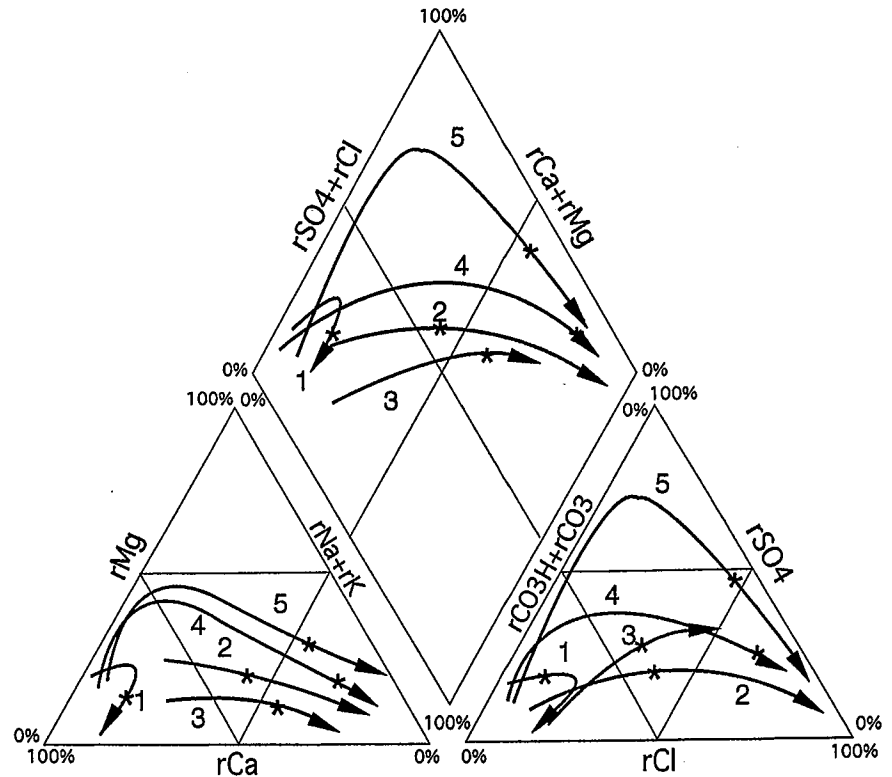


Fig. 7- Diagrama de Piper-Hill-Langelier mostrando la evolución de las aguas fluviales a lo largo de las zonas de descarga ubicadas en los cauces de los ríos y la composición química calculada para las aguas de descarga. 1: Iregua, 2: Leza, 3: Jubera, 4: Cidacos, 5: Alhama

Fig. 7- Piper-Hill-Langelier diagram showing the hydrochemical evolution of stream waters along the discharge zones and the calculate composition for the discharge groundwater. 1: Iregua, 2: Leza, 3: Jubera, 4: Cidacos, 5: Alhama

gional a lo largo de los ríos quedan reflejados en la Fig. 7.

Las aguas drenadas por el cauce del Iregua corresponden en general a una tipología bicarbonatada cálcica de escasa mineralización, con un residuo seco de 200 mg/l, similar al de los manantiales ubicados en los materiales jurásicos, si bien con un contenido en Cl⁻ ligeramente más alto, que hace que la relación rSO_4/rCl sea menor y, en cambio, la $rCl/rHCO_3$ sea algo mayor que la de éstos. Estos datos indican que a lo largo del cauce del Iregua no tienen excesiva entidad las descargas procedentes de sistemas de flujos regionales, ni tampoco termales.

En el caso del río Leza, si bien se mantiene su tipología de agua bicarbonatada cálcica, los aportes subterráneos hacen aumentar los contenidos y proporciones de los iones Cl⁻, SO_4^{2-} , Na⁺ y Mg²⁺; presentan significativos cambios debido a una descarga de aguas cloruradas/bicarbonatadas-cálcico/sódicas que presentan una mineralización media (residuo seco 520 mg/l) en la que destaca el elevado contenido relativo en Cl⁻. Todo esto hace que la relación rSO_4/rCl sea del orden de 0,65 y la $rCl/rHCO_3$ de 1,32. Son descargas cuya composición química es típica de aguas geoquímicamente muy evolucionadas, procedentes del drenaje regional.

Las descargas de los acuíferos jurásicos que tienen lugar en el cauce del Jubera dan lugar a importantes cambios fisicoquímicos en las aguas del río. Aguas arriba de estas descargas el agua es bicarbonatada cálcica, con un residuo seco próximo a 300 mg/l, mientras que aguas abajo de Jubera la composición química es del tipo clorurada-sulfatada cálcico-sódica de elevada mineralización (del orden de 1000 mg/l). Los aportes subterráneos en este tramo corresponden, por tanto, a aguas cloruradas/sulfatadas-sódicas de composición similar a las descargas ya descritas para el río Leza, si bien más mineralizadas (residuo seco 900 mg/l) y con un mayor contenido en Cl⁻ que hace que la $rCl/rHCO_3$ varíe de 0,23 a 1,84 que, lo que unido al aumento del contenido en Na⁺, indica el carácter profundo de estos flujos.

Las aguas del Cidacos sufren importantes variaciones fisicoquímicas tras recibir aportes subterráneos en Arnedillo. Aguas arriba de esta localidad las aguas del río presentan una composición bicarbonatada cálcica, de mineralización intermedia (residuo seco de 430 mg/l) que tras recibir la descarga de las aguas cloruradas-sódicas del acuífero resulta una mezcla clorurada-sódica, menos mineralizada que las de la propia descarga. Las aguas aportadas por el acuífero en este tramo tienen una composición química cualitativamente muy similar a la del Cidacos en Arnedillo, si bien la mineralización en el río es notablemente inferior. La relación $rCl/rHCO_3$ se hace, tras la descarga, 4 veces mayor. La explicación de todo este quimismo reside en que el río recibe del acuífero Jurásico una descarga regional de tipo clorurada-sódica, junto a otros aportes de carácter más local y composición bicarbonatada-cálcica. La composición resultante tras los aportes subterráneos es una mezcla entre las dos aguas (Coloma *et al.*, 1997a).

Antes de atravesar el frente cabalgante el río Alhama tiene una composición sulfatada cálcica de elevada mineralización, en torno a los 1.000 mg/l de residuo seco, que tras mezclarse con los aportes subterráneos pasa a tener una composición sulfatada/clorurada-cálcico/sódica de mayor mineralización, que llega a superar ampliamente los 2.000 e incluso los 3.000 mg/l de residuo seco. La relación rSO_4/rCl disminuye tras el aporte de Cl⁻, la $rCl/rHCO_3$ aumenta, y la rMg/rCa se mantiene. La composición del agua subterránea de la descarga es de composición sulfatada/clorurada-sódico/cálcica, pero, al igual que ocurre en el caso del río Cidacos, presenta un carácter de mezcla entre las aguas procedentes de flujos regionales termales y las aguas de los flujos de tipo sulfatado-cálcico del acuífero jurásico, así la relación rSO_4/rCl es más alta que en las aguas termales y la $rCl/rHCO_3$ más baja, que da lugar a unas características hidroquímicas intermedias, tanto en

composición iónica como en mineralización (Coloma *et al.*, 1997a).

Conclusiones

La realización de campañas de aforo y muestreo hidroquímico a lo largo de los cauces principales relacionados con los acuíferos carbonatados jurásicos de Cameros durante tres años hidrológicos (93/94 a 95/96), nos ha permitido caracterizar los mecanismos y régimen de descarga de estos acuíferos en su vertiente hacia el Ebro. Esta tiene lugar en los tramos de los ríos principales al atravesar el límite de los acuíferos a las cotas más bajas, que geológicamente corresponden a las zonas de cabalgamiento del Macizo de Cameros sobre la Cuenca del Ebro. Esta descarga se ha evaluado en 33 hm³/año. El estudio hidrodinámico e hidroquímico ha permitido constatar la presencia de flujos de diferente procedencia (local, regional) que confluyen hacia estas zonas de descarga; destacando cómo en las cuencas orientales (Cidacos y Alhama) la incidencia de flujos profundos, termales, es importante.

Referencias

- Casas, A. y Gil, A. (1998): *Geol. Rundsch.*, 86: 802-818
- Coloma, P. (1995): *Tesis de Licenciatura* Univ. de Zaragoza, 175 pp.
- Coloma, P. (1997a): *Tesis Doctoral* Univ. de Zaragoza, 375 pp.
- Coloma, P. (1997b): *Cartografía geológica (escala 1:5.000) del entorno de Baños de Fitero* (Navarra). CGS. Informe interno, 50 pp. (informe inédito).
- Coloma, P., Sánchez Navarro, J.A. y Martínez Gil, F.J. (1997): *Geogaceta*, (en prensa).
- Coloma, P., Sánchez Navarro, J.A. y Martínez Gil, F.J. (1997b): *Estudios Geol.*, 53: 159-172
- Goy, A., Gómez, J.J. y Yébenes, A. (1976): *Estudios Geol.*, 32: 391-423.
- Mas, J.R., Alonso, A. y Guimerà, J. (1993): *Rev. Soc. Geol. España*, 6 (3-4): 129-144.
- Tischer, G. (1966): *Beith. Geol. Jb.*, 44: 123-164.