

DIVERSIDAD DE CRUSTÁCEOS PERACÁRIDOS (AMPHIPODA E ISOPODA) EN AGUAS SUBTERRÁNEAS DE CHILE

Jorge Pérez–Schultheiss

Programa de Educación e Investigación Biológica & Ambiental (Programa–IBAM), Universidad de Los Lagos, Casilla 933, Osorno, Chile.
Centro de Estudios en Biodiversidad (CEBCh), Avenida Diego Portales 901, Osorno, Chile – jperezsch@gmail.com

Resumen: Se da a conocer la diversidad de especies de peracáridos de aguas subterráneas de Chile y se entregan antecedentes taxonómicos, de hábitats y distribución de cada una de ellas. Previamente se han descrito solo dos especies de anfípodos, de las familias Ingolfiellidae y Bogidiellidae *sensu lato*; sin embargo, nuevas prospecciones han mostrado la presencia de dos especies de anfípodos pertenecientes a las familias Eusiridae y Paraleptamphopidae y la primera especie de isópodo, perteneciente a la familia Protojaniridae, todas las cuales corresponden a nuevas especies y géneros aún no descritos. De igual forma se comenta brevemente acerca de la biogeografía e importancia de esta fauna para el manejo de recursos hídricos subterráneos.

Palabras clave: Crustacea, Peracarida, Amphipoda, Isopoda, aguas subterráneas, diversidad, Chile.

Diversity of peracarid crustaceans (Amphipoda and Isopoda) in groundwaters of Chile

Abstract: An account is given of groundwater peracarid diversity of Chile with information on the taxonomy, habitats and distribution of each of them. Up to now only two amphipods, of the families Ingolfiellidae and Bogidiellidae *sensu lato*, have been described; nevertheless, new explorations have shown the presence of two species of amphipods belonging to the families Eusiridae and Paraleptamphopidae and the first isopod, belonging to the family Protojaniridae, all undescribed species and genera. In addition, we comment briefly on the biogeography and importance of this fauna for the managing of groundwater resources.

Key words: Crustacea, Peracarida, Amphipoda, Isopoda, groundwaters, diversity, Chile.

Introducción

Las aguas dulces subterráneas constituyen uno de los mayores reservorios de recursos hídricos en el planeta, albergando el 97% de las aguas no congeladas (Gibert & Deharveng, 2002; Reddy, 2002). La importancia de este recurso para la vida y el desarrollo humano le confieren gran relevancia socioeconómica; sin embargo, las fuertes presiones ambientales que actualmente soportan los acuíferos subterráneos y otras fuentes de recursos hídricos están desatando una crisis del agua a escala mundial que amenaza la existencia humana (Danielopol *et al.*, 2003).

En Chile, a pesar del uso que se hace de este recurso, especialmente hacia la zona norte, actualmente se tienen escasos antecedentes sobre las aguas subterráneas (Arumí & Oyarzún, 2006), los que están relacionados principalmente con aspectos físico-químicos o microbiológicos en vistas a su utilización humana (Peña *et al.*, 1990; González *et al.*, 1999; Claret *et al.*, 2001), sin que se conozca otra información respecto a sus características biológicas.

Las aguas subterráneas están almacenadas en varios tipos de acuíferos (Reddy, 2002), dando origen a distintos hábitats que albergan una fauna rica y diversa (Botosaneanu, 1986), con adaptaciones biológicas especiales para la vida en ambientes hipogeos (Gibert & Deharveng, 2002; Dole-Olivier *et al.*, 2005). Esta fauna muestra altos niveles de endemismo, como consecuencia de sus limitadas capacidades de dispersión (Strayer, 1994) y muchos de los taxa constituyen especies relictas y geográficamente aisladas (Gibert & Deharveng, 2002). Estos organismos son de alto valor científico, cultural y patrimonial, ofreciendo interesantes perspectivas para el manejo y monitoreo de los recursos hídricos subterráneos (Dole-Olivier *et al.*, 2005).

Los crustáceos se encuentran entre los grupos más abundantes, ampliamente distribuidos y taxonómicamente diversos en comunidades de aguas subterráneas (De Broker, 1995; Culver & Sket, 2000; Gibert & Deharveng, 2002; Sket, 1999) y entre ellos los anfípodos e isópodos son especialmente importantes (Dole-Olivier *et al.*, 2005; De Broker, 1995); no obstante, estas comunidades acuáticas están seriamente amenazadas y declinando en muchas partes del mundo (Holsinger, 1993), debido principalmente a la inherente vulnerabilidad de las aguas subterráneas a una amplia variedad de impactos antrópicos, como desechos humanos e industriales y la percolación de pesticidas (Danielopol *et al.*, 2003; FAO, 2003). Un primer y crucial paso hacia la conservación y protección de esta fauna es documentar la biodiversidad de especies en estos hábitats (Holsinger, 1993); sin embargo, a pesar de los numerosos trabajos realizados (Botosaneanu, 1986; Wilkens *et al.*, 2000), aún se requiere mayor esfuerzo para aumentar el conocimiento fragmentario que se tiene de los organismos stigobiontes (Danielopol *et al.*, 2003; Dole-Olivier *et al.*, 2005).

El presente trabajo tiene como objetivo dar a conocer la diversidad de especies de crustáceos peracáridos de los órdenes Amphipoda e Isopoda que habitan aguas subterráneas en Chile, revisando los registros de especies en la literatura y entregando nuevos antecedentes de prospecciones en la Décima Región. Adicionalmente se propone una clave preliminar para el reconocimiento de dichas especies y se comenta brevemente sus afinidades biogeográficas e importancia para el manejo de recursos hídricos subterráneos.

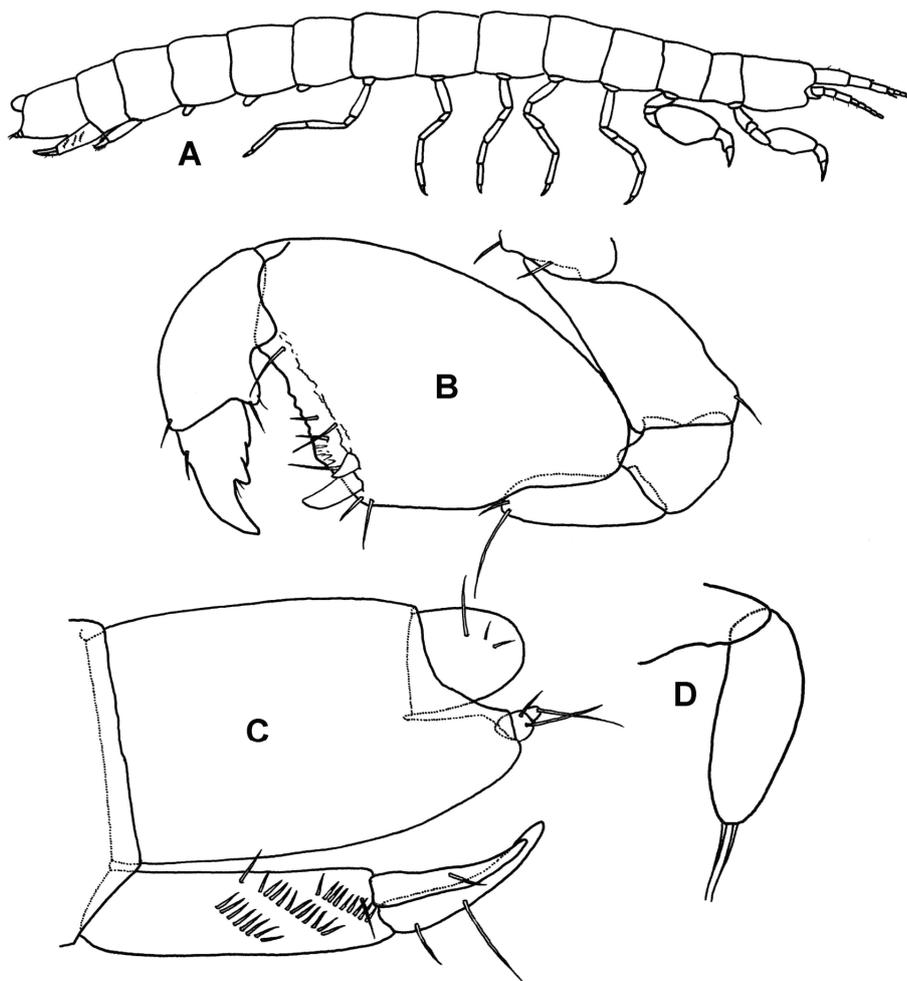


Fig 1. *Ingolffiella manni* Noodt, 1961. **A.** hábito; **B.** gnatópodo 2; **C.** urosomito 3, urópodo 2 y telson; **D.** pleópodo 1 del macho. Extraído y modificado de Noodt (1961).

Estado del conocimiento de los peracáridos subterráneos en Chile

Los primeros antecedentes sobre la presencia de crustáceos peracáridos en aguas subterráneas chilenas fueron entregados por Noodt (1959, 1961), quien describe las únicas dos especies de anfípodos conocidas hasta ahora. De igual forma, este autor menciona la presencia en estos ambientes de una especie indeterminada de anfípodo del género *Bogdiella* (Noodt, 1965), sin entregar más información al respecto. Para la fauna de isópodos, se ha indicado la presencia de una única especie dulceacuícola epigea (Jara *et al.*, 2006) identificada como *Heterias (fritzanira) exul* por Bowman *et al.* (1987). Sin embargo, la presencia de isópodos stigobiontes fue mencionada previamente por Noodt (1959, 1965), aunque este material no fue descrito.

A pesar de que varios trabajos de revisión de la diversidad de crustáceos malacostráceos chilenos han sido publicados recientemente, estas especies han sido poco consideradas. González (1991), citó únicamente especies dulceacuícolas pertenecientes al género *Hyaella*, ninguna de ellas hipogea. Posteriormente, Báez (1995) incluyó especies principalmente marinas y Jara *et al.* (2006) citan los malacostráceos dulceacuícolas; sin embargo, ninguno de ellos indica la presencia de habitantes de aguas subterráneas. Finalmente, Thiel *et al.* (2003), Valdovinos (2006) y González *et al.* (2008) hacen las primeras menciones de la presencia de Ingolffiellidos, luego de los trabajos de Noodt (1959, 1961, 1965).

Algunos antecedentes para las especies chilenas de anfípodos han sido entregados en trabajos realizados por autores extranjeros (Barnard & Barnard, 1983; Koenemann & Holsinger, 1999; Vonk & Schram, 2003), los cuales están relacionados principalmente con aspectos taxonómicos y sistemáticos.

Conocimiento taxonómico

| |
|--|
| Orden AMPHIPODA Latreille, 1816 |
| Suborden INGOLFFIELLIDEA Hansen, 1903 |
| Familia Ingolffiellidae Hansen, 1903 |

Ingolffiella manni Noodt, 1961 (Fig. 1)

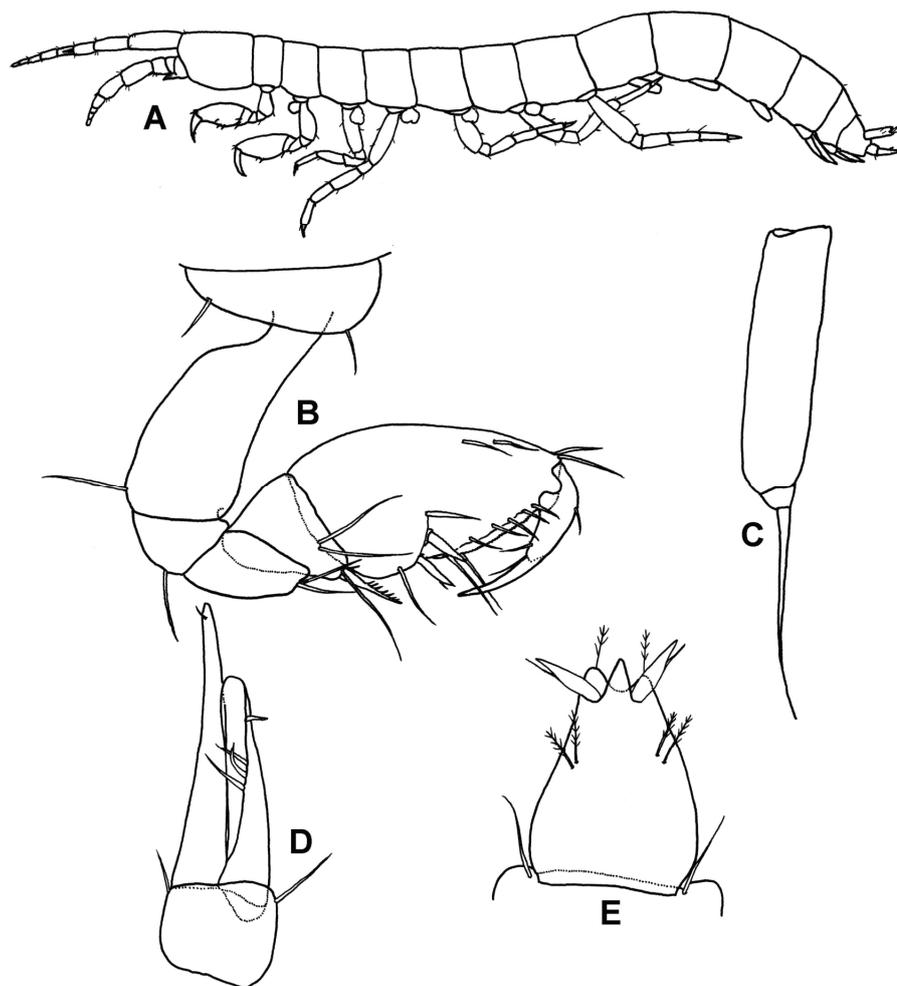
I. manni Noodt, 1961: 7-15, Figs. 1-19; Noodt, 1965: 19, Fig. 2, Tabla 1.

I. (Trianguliella) manni Stock, 1976: 72; Lowry & Poore, 1989: 938.

I. (Balcanella) manni Ruffo & Vigna Tagliani, 1989: 254.

Desde su descripción original, *I. manni* ha sido asignada a dos subgéneros distintos de *Ingolffiella* (Stock, 1976; Ruffo & Vigna Tagliani, 1989). Sin embargo, Vonk & Schram (2003) no encuentran evidencia que justifique estas divisiones subgenéricas y afirman que *I. manni*, junto a *I. uspallatae* de los Andes argentinos pertenecerían al grupo de *I. macedonica* del noroeste de Grecia. La agrupación sugerida

Fig. 2. *Pseudingolfiella chilensis* (Noodt, 1959). **A.** hábito; **B.** gnatópodo 2; **C.** pleópodo 3; **D.** urópodo 2; **E.** telson. A, extraído y modificado de Noodt (1965); B, C, D y E, de Noodt (1959).



por estos autores muestra un patrón distribucional difícil de explicar, no obstante forma un clado robusto y bien fundamentado. González *et al.* (2008) mencionan a *I. uspollatae* como presente en Chile; sin embargo, esto no ha sido confirmado.

HÁBITAT: habita aguas subterráneas límnicas y salobres (Noodt, 1961).

DISTRIBUCIÓN: Paposo (~25°S; 70°29'W) y Taltal (~25°22'S; 70°32'W), Región de Antofagasta; Illapel (~31°36'S; 71°09'W), Región de Coquimbo (Noodt, 1965).

Suborden GAMMARIDEA Latreille, 1802

Familia Bogidiellidae S. Lat. Hertzog, 1936

Pseudingolfiella chilensis (Noodt, 1959) (Fig. 2)

Ingolfiella chilensis Noodt, 1959: 200-208, Figs. 1-18.

Pseudingolfiella chilensis Noodt, 1965: 28, Fig. 1B; Barnard & Barnard, 1983: 65-66, Figs. 5H, 6L, 8I, 9B, 13G, 23C, 48B; Koenemann & Holsinger, 1999: 788-789.

P. chilensis, descrita originalmente como un *Ingolfiellidea* (Noodt, 1959), fue posteriormente transferida al suborden Gammaridea, sugiriéndose afinidades con *Bogidiella* (Noodt, 1965). Otras dos especies, *P. soyeri* Coineau, 1977 y *P. morimotoi* Grosso, Peralta & Ruffo, 2006 han sido descritas para las Islas Kerguelen y Nueva Zelanda, respectivamente; sin embargo, en la actualidad el género *Pseudingolfiella* presenta dificultades respecto a su asignación a nivel de familia. Bousfield (1983) incluye el género en la familia

Paracrangonyctidae, junto a *Paracrangonyx* y *Dussartiella*. Por otro lado, Ruffo (1973) sugirió que *Pseudingolfiella* pertenecería a los bogidielidos; sin embargo, el género fue excluido de esta última familia en base un análisis filogenético por Koenemann & Holsinger (1999), quienes demostraron su relación con *Bollegidia*, *Dussartiella* y *Kergeniola*.

Algunos antecedentes preliminares sugieren que este género podría corresponder a la superfamilia Crangonyctoidea (Williams & Barnard, 1988; Barnard & Williams, 1995), especialmente por la presencia de calceolos lineares y un flagelo accesorio biarticulado. Otro carácter que define esta superfamilia es la condición vari o parvirramosa del urópodo 3; sin embargo, en *Pseudingolfiella* este apéndice muestra una reducción total de la rama interna, en concordancia con su condición de gammarideo aberrante (Barnard & Barnard, 1983). Finalmente, Grosso *et al.* (2006) indican que aparentemente el género sería mejor ubicado en Paracrangonyctidae, excepto por algunos caracteres que no se ajustan a la definición de Bousfield (1982).

HÁBITAT: psamolitoral, en sedimentos de barras arenosas en la desembocadura de ríos, entre 50 y 180 cm de profundidad (Noodt, 1959).

DISTRIBUCIÓN: Zapallar (~32°33'S; 71°27'W), El Tabo (~33°31'S; 71°43'W) y San Antonio (~33°36'S; 71°37'W), Región de Valparaíso; Niebla (~39°51'S; 73°24'W), Región de Los Ríos; Ancud (~41°51'S; 73°49'), Chiloe, Región de Los Lagos (Noodt, 1965).

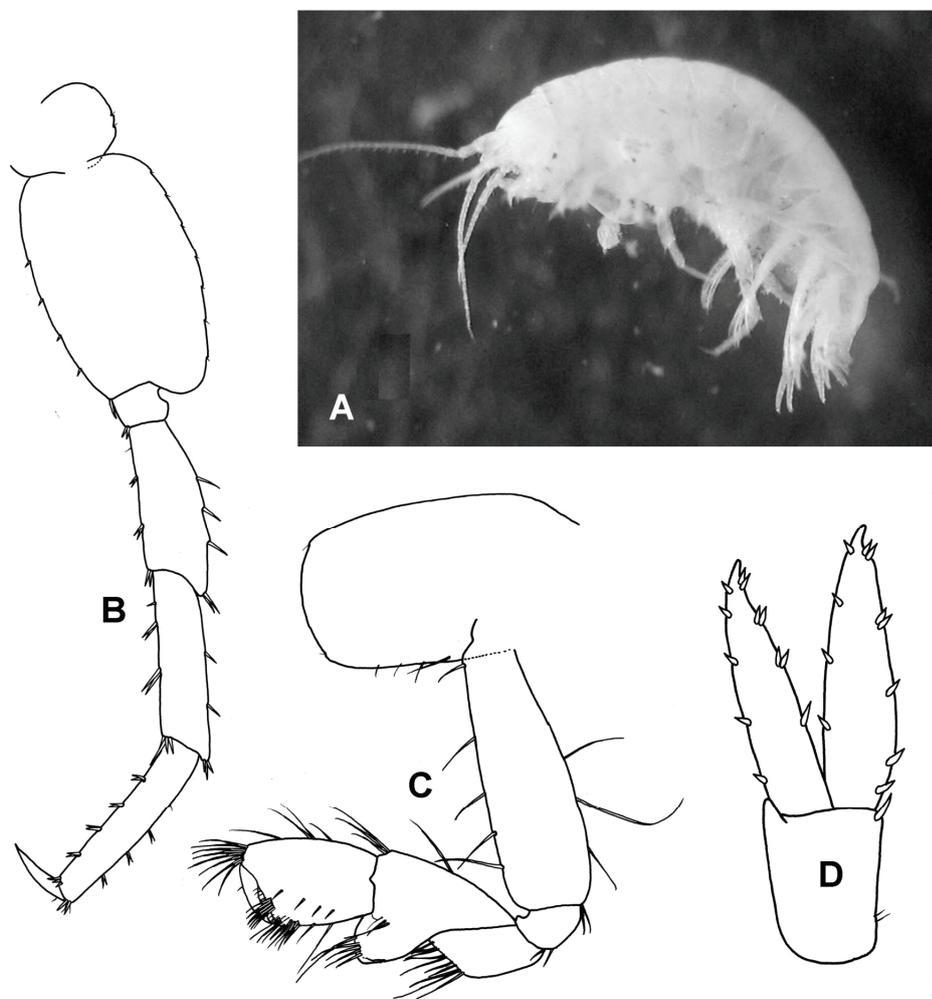


Fig. 3. *Aff. Sternomoera* sp. **A.** hábito; **B.** pereiópodo 7; **C.** gnatópodo 2; **D.** urópodo 3.

Familia Eusiridae S. Lat Stebbing, 1888

Aff. Sternomoera sp. (Fig. 3)

Esta especie pertenecería al complejo “*Paramoera*” (*sensu* Kuribayashi *et al.*, 1996, ver diagnóstico de Barnard, 1972), dentro del cual, la presencia de branquias esternas sugiere afinidades con el género *Sternomoera*, un grupo de anfípodos que habita en aguas dulces superficiales de Japón y Rusia (Kuribayashi *et al.*, 1996; Labay, 1997). Sin embargo, algunos caracteres que no coinciden con la diagnosis de este grupo indican que los especímenes estudiados podrían corresponder a un nuevo género.

La presencia de branquias esternas es un carácter desarrollado independientemente en algunos grupos de gammarídeos (*e. g.* Crangonyctoidea y Dogielinotidae) y en Eusiridae están presentes únicamente en las cinco especies de *Sternomoera*; sin embargo, la morfología y disposición de las branquias en este género difiere de lo observado en los especímenes chilenos. De igual modo, la actual distribución de las especies de *Sternomoera*, hace dificultoso explicar la presencia del grupo en Chile apoyando la hipótesis de que los ejemplares estudiados no están directamente emparentados con el género asiático.

Un carácter que resalta en estos eusiridos es la ausencia total de ojos. El tamaño relativo de estos órganos mues-

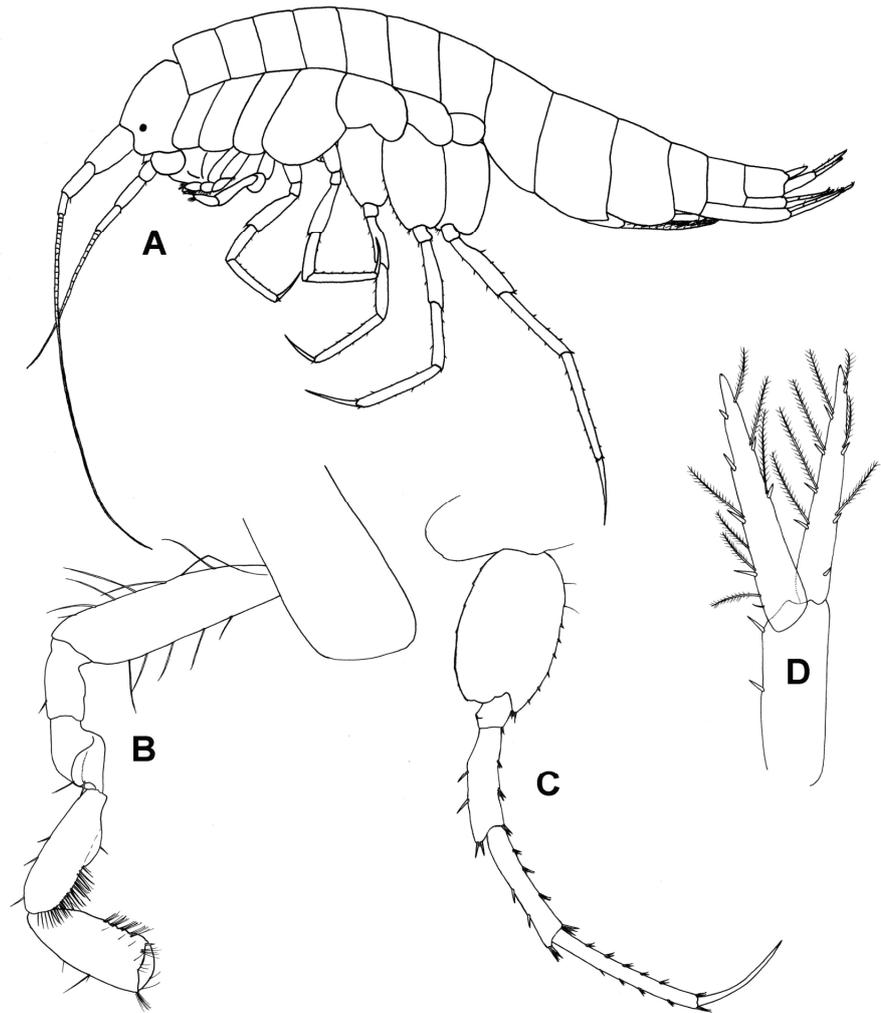
tra valor taxonómico en *Sternomoera*, como también en otros grupos de gammarídeos, donde su ausencia ha sido considerada importante en la discriminación de géneros (*e. g.* *Phreatochiltonia*; Zeidler, 1991).

Las diferencias morfológicas entre los especímenes chilenos y *Sternomoera*, junto a la disyunción biogeográfica y la posibilidad de que las branquias esternas (considerado de valor genérico en Eusiridae por Barnard & Karaman, 1982) hayan sido adquiridas independientemente, sugieren la necesidad de proponer un nuevo género y especie; no obstante, es necesario realizar más estudios para determinar las verdaderas relaciones de esta especie dentro del complejo “*Paramoera*”.

HÁBITAT: la especie ha sido colectada en diversos manantiales en la vertiente oriental y occidental de la Cordillera de la Costa, donde constituye uno de los componentes comunitarios numéricamente más importantes. Adicionalmente, algunos especímenes han sido encontrados bajo piedras en la película de agua producida por filtraciones en paredes de acantilados frente al mar. Su presencia en hábitats verdaderamente subterráneos es muy probable; sin embargo, esto aún requiere confirmación.

DISTRIBUCIÓN: Triltril (41°36’S; 73°45’W) y los Riscos (~40°49’S; 73°33’W), Cordillera de la Costa de la Región de Los Lagos.

Fig. 4. *Aff. Paraleptamphopus* sp. **A.** hábito; **B.** gnatópodo 2; **C.** pereiópodo 7; **D.** urópodo 3.



Familia Paraleptamphopidae Bousfield, 1983

***Aff. Paraleptamphopus* sp.** (Fig. 4)

La familia Paraleptamphopidae está constituida por los géneros *Paraleptamphopus* Stebbing, 1899 y *Ringanui* Fenwick, 2006 y se distribuye en aguas epigeas e hipogeas de Nueva Zelanda y Australia (Barnard & Barnard, 1983; Fenwick, 2001a). Los especímenes chilenos corresponden a un nuevo género y especie, caracterizada preliminarmente por la notable longitud de las antenas y los dáctilos de los pereiópodos, pleópodos sexualmente dimórficos, urópodo 3 lanceolado y provistos de numerosas setas de distinto tipo, telson medianamente excavado y branquias coxales presentes en el pereiópodo 7. La descripción de este nuevo género y especie está actualmente en curso y será publicada próximamente (Grosso, com. pers.).

Aún es necesario más trabajo para definir satisfactoriamente la familia Paraleptamphopidae y sus géneros (Fenwick, 2006), por lo que la nominación provisional de *aff. Paraleptamphopus* sp. ha sido seleccionada únicamente debido a que este corresponde al género tipo de la familia. **HÁBITAT:** Aguas subterráneas en turberas y en terrenos semipantanosos comúnmente llamados “hualves”. Se encuentra asociado a las galerías de los camarones excavadores *Virilastacus rucapihuelensis* y *V. retamali*, que alcanzan

una profundidad de hasta un metro (Rudolph & Crandall, 2005). En la Región de Los Lagos esta especie nunca ha sido observada en hábitats epigeos; no obstante, dos especímenes hembras han sido colectados en San Germán, provincia de Tolten (coordenadas geográficas desconocidas) entre la vegetación ribereña del fondo de un estero. El escaso material disponible de esta última localidad y su mal estado de conservación no permite confirmar la conespecificidad de estos especímenes con *aff. Paraleptamphopus* sp. siendo necesario realizar nuevas colectas.

DISTRIBUCIÓN: Rucapihuel (40°35'S; 73°08') y Estaquilla (41°25'S; 73°46'W), Región De Los Lagos. El registro de San Germán, Región de la Araucanía, necesita confirmación.

Orden ISOPODA Latreille, 1817

Suborden ASELOTA Latreille, 1803

Familia Protojaniridae Fresi, Idato & Scipione, 1980

***Aff. Anneckella* sp.** (Fig. 5)

Los Protojaniridos están constituidos por alrededor de 12 especies y 5 géneros de distribución gondwánica y han sido encontrados en varios tipos de hábitats subterráneos (Waggle, 1990; Wilson, 2008). *Aff. Anneckella* sp. constituye el segundo registro del grupo en Sudamérica, luego de *Cuyo-*

janira riojana Grosso, 1992, encontrada en aguas freáticas intersticiales de la Rioja, Argentina.

Esta especie difiere de *Cuyojanira* en la morfología del ápice del endopodito del pleópodo 2 del macho, la estructura del molar de la mandíbula y el tipo de pereiópodo 1 (véase Grosso, 1992). Este último apéndice presenta gran importancia para la clasificación de las especies de Protojaniridae y ha sido considerado de valor taxonómico a nivel genérico (Fresi *et al.*, 1980; Sket, 1982); sin embargo, es necesario realizar un estudio detallado de este carácter, pues se observa una gran diversidad morfológica aún no evaluada que no ha sido considerada en el actual esquema clasificatorio de la familia (*e. g.* Sket, 1982). Según observaciones preliminares, *Aff. Anneckella* sp. se caracterizaría por un pereiópodo 1 proposubquelado, la presencia de una prolongación cónica en el borde anterior del meropodito y el carpopodito triangular; además, el dactilopodito uniunguiculado con una fila de setas en el borde posterior. Estos caracteres concuerdan con el género *Anneckella* Chappuis & Delamare, 1957 (excluyendo *A. srilankae* Sket, 1982), con el que comparte también la morfología del molar de la mandíbula; sin embargo, algunas diferencias (*e.g.* ausencia de escama antenal en el tercer artículo del flagelo de la antena, ausencia de prolongación distal en el basopodito del pleópodo 2 del macho) sugieren que estos protojaniridae corresponden a un nuevo género.

HÁBITAT: ha sido colectada bajo piedras, en el punto de surgencia de manantiales de aguas freáticas, en zonas de alto impacto antrópico, como campos de uso agrícola-ganadero de la depresión intermedia y en medio de la ciudad de Osorno. La profundidad a la que se encuentra la capa saturada del acuífero que da origen a estos manantiales varía entre 50 cm y 3 metros.

DISTRIBUCIÓN: Ovejería, Osorno (40°34'S; 73°08'W), Pichidamas (~40°40'S; 72°50'W) y rívera del Río Pilmaiquen (40°23'S; 72°59'W), Región de Los Lagos.

Clave para el reconocimiento de las especies de peracáridos subterráneos de Chile (incluye géneros epigeos)

1. Telson fusionado con 1 o más segmentos abdominales (pleotelson), menos de 6 segmentos abdominales; con un par de uropodos(Orden Isopoda) 6
 - Telson libre, 6 segmentos abdominales; con tres pares de uropodos (Orden Amphipoda)2
2. Cuerpo vermiforme; pleópodos reducidos (Fig. 1A y 2A)3
 - Cuerpo no vermiforme (Fig. 3A y 4A); pleópodos bien desarrollados, birrameos4
3. Gnatópodos carposubquelados (Fig. 1B); urópodo 2 con las ramas más cortas que el pedúnculo; telson carnoso, redondeado (Fig. 1C)....*Ingolffiella manni* Noodt, 1961
 - Gnatópodos proposubquelados (Figs. 2B); urópodo 2 con las ramas más largas que el pedúnculo (Fig. 2D); telson laminar, distalmente tridentado (Fig. 2E)
..... *Pseudingolffiella chilensis* Noodt, 1959
4. Urópodo tres birrameo (Fig. 3D y 4D); palpo mandibular presente; ojos reducidos o ausentes (Fig. 3A y 4A). Flagelo accesorio con 0 a 3 artículos. Hipogeos, ocasionalmente epigeos5

- Urópodo tres unirrameo; palpo mandibular ausente; ojos bien desarrollados. Epigeos
.....Género *Hyalella* (ver González, 2003)
- 5. Pigmentos oculares ausentes. Antenas más cortas que la longitud cabeza-pereion. Branquias esternales presentes. Dáctilo del pereiópodo 7 menor que la mitad del propodo (Fig. 3). Habitante epigeo en la vecindad de surgencias de manantiales *Aff. Sternomoera* sp.
 - Pigmentos oculares presentes, ojos reducidos. Antenas más largas que la longitud cabeza-pereion. Branquias esternales ausentes. Dáctilo del pereiópodo 7 mayor que la mitad del propodo (Fig. 4). Habitante de galerías de camarones excavadores..... *Aff. Paraleptamphopus* sp.
- 6. Pleópodo 1 del macho con los segmentos distales medialmente separados (Fig. 5C). Pereiópodo 1 subquelado (Fig. 5B), pereiópodo 2 simple. Ojos ausentes. Cuerpo vermiforme (alargado), semitransparente o blanco (Fig. 5A); longitud mayor a 5 mm..... *Aff. Anneckella* sp.
 - Pleópodo 1 del macho con los segmentos distales medialmente fusionados. Pereiópodo 1 y 2 simples (no subquelados). Ojos presentes. Cuerpo oblongo, deprimido, fuertemente pigmentado; longitud menor a 5 mmGénero *Heterias* (ver Bowman *et al.*, 1987)

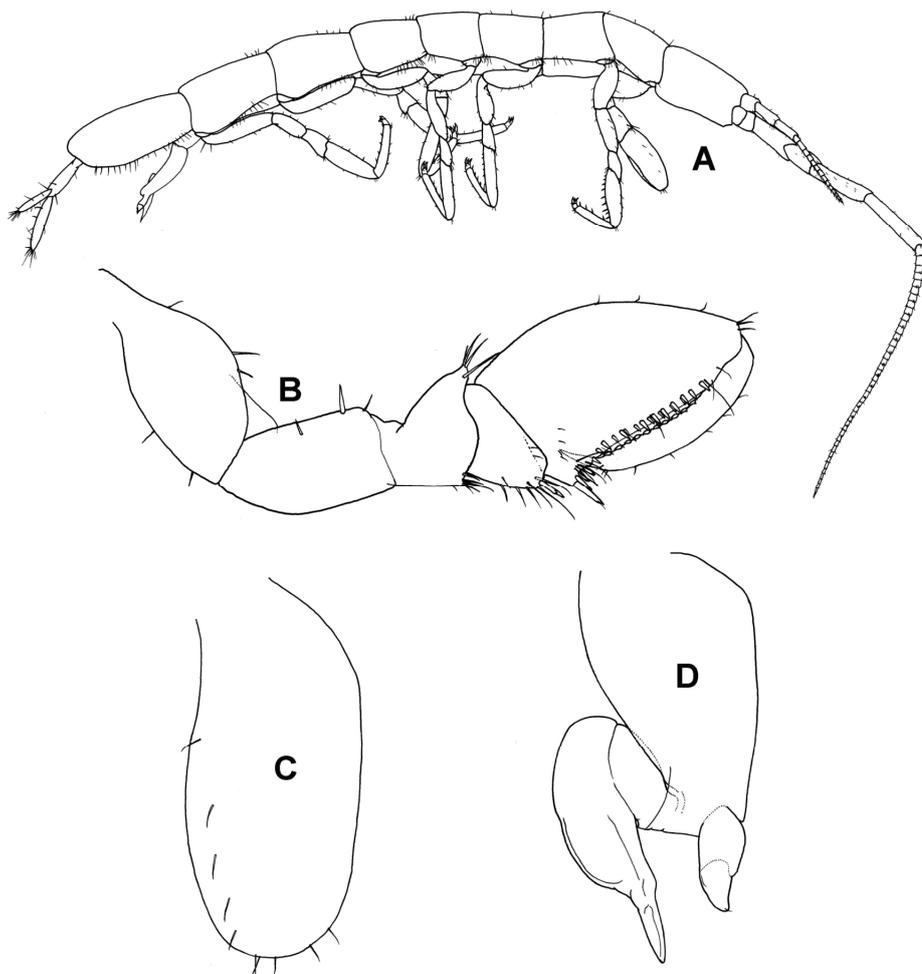
Discusión

La presencia de Peracáridos en aguas subterráneas es poco conocida en Chile. A pesar de varios trabajos relacionados con la fauna de anfípodos de aguas dulces (González, 2003; González & Watling, 2001, 2003), hasta hace poco no se conocía la presencia de otras familias, además de Bogidiellidae *s. lat.* y Dogielinotidae (Hyalellinae). De igual forma, los isópodos dulceacuícolas chilenos estaban representados únicamente por Janiridos del género *Heterias* (Jara *et al.*, 2006). Los registros aquí reportados de un isópodo de la familia Protojaniridae y dos especies de anfípodos pertenecientes a las familias Eusiridae *s. lat.* y Paraleptamphopidae, aumentan considerablemente la diversidad de estos grupos.

Comentarios biogeográficos: En general se observa, en las especies hasta ahora conocidas, un patrón de distribución gondwanica, en especial por la presencia en aguas subterráneas chilenas de isópodos Protojaniridae y anfípodos Paraleptamphopidae, los que se restringen exclusivamente al hemisferio sur (Wilson, 2008; Fenwick, 2006). De igual forma, el género *Pseudingolffiella* se distribuye únicamente en Chile, Islas Kerguelen y Nueva Zelanda (Noodt, 1965; Coineau, 1977; Grosso *et al.*, 2006), por lo que corresponde probablemente a un taxa relicto (Barnard & Barnard, 1983). Sin embargo, también es posible observar la presencia de grupos de amplia distribución mundial, como es el caso de los ingolffiellidos (Vonk & Schram, 2003). Finalmente, la presencia de *aff. Sternomoera* sp. muestra un patrón difícil de explicar, siendo necesario un análisis más detallado de sus relaciones con *Sternomoera* de Asia. Antecedentes preliminares indican que probablemente esta especie corresponde a un evento independiente de invasión de aguas dulces a partir de ancestros marinos.

La historia geológica de las zonas habitadas por peracáridos de aguas subterráneas puede entregar importantes antecedentes para explicar la presencia y distribución actual

Fig. 5. *Aff. Anneckella* sp. **A.** hábito; **B.** pereiópodo 1; **C.** porción derecha del pleópodo 1 del macho; **D.** pleópodo 2 del macho.



de las especies. A pesar de que la estructura geológica actual de Chile es relativamente nueva, se observa una gran complejidad, marcada por procesos volcánico-tectónicos durante el terciario y el modelado posterior del relieve durante el cuaternario, a lo que se suma la gran influencia marina desde fines de la era primaria (Benítez, 1995). Como consecuencia de lo anterior, las formaciones acuíferas conocidas en el país corresponden básicamente a sedimentos cuaternarios no consolidados de origen fluvial, fluvio-glacial y aluvial, principalmente (Peña, 1995). Estos antecedentes podrían sugerir una escasa probabilidad de encontrar en el territorio antiguos grupos de peracáridos dulceacuícolas (*e.g.* anfípodos crangonyctoideos, bogidiellidos *s. str.*), en favor de grupos de origen marino de colonización relativamente reciente. Lo anterior se ve apoyado por la ocurrencia de transgresiones y regresiones marinas durante la era Cenozoica, que cubrieron entre los paralelos 37° y 41° (Benítez, 1995; Cecioni, 1970) y que son consideradas de gran significado evolutivo en grupos talasoides con escasas capacidades de dispersión (Notenboom, 1991). Sin embargo, llama la atención la presencia en la depresión intermedia de isópodos dulceacuícolas de la familia Protojaniridae, cuyos ancestros debieron colonizar las aguas dulces antes de la fragmentación de Pangea, en el Mesozoico (Wilson, 1998, 2008).

La aparente ausencia de especies de anfípodos en zonas fuera de la Cordillera de la Costa podría estar relacionada con las glaciaciones pleistocénicas que cubrieron amplias

extensiones del sur de Chile, entre los 41° y 55° S (Benítez, 1995; Vuilleumier, 1971), relegando las poblaciones a las zonas que permanecieron fuera de la acción de las masas de hielo (Heusser, 1966; Illies, 1970). Lo anterior confirmaría la condición de refugio glaciar de la cordillera de la costa (Premoli, 2005) para el caso de los Amphipoda; sin embargo, es necesario considerar que recientes descubrimientos han demostrado que algunas especies de gammarideos lograron sobrevivir a este tipo de eventos en hábitats subterráneos (Kristjansson & Svavarsson, 2004; Svavarsson & Kristjansson, 2006), por lo que la presencia de especies stigmatobiontes en la depresión intermedia y zonas de actividad volcánica en la Cordillera de los Andes, en el centro-sur de Chile no debe ser descartada. Lo anterior es apoyado por el descubrimiento de especies de anfípodos a más de 2000 m. s. n. m. en los Andes (Noodt, 1965) y el hallazgo de isópodos habitantes de aguas termales a 24° C (Meštrović & Lattinger-Penko, 1970).

Importancia y amenazas de la fauna de aguas subterráneas: Los organismos que habitan aguas subterráneas juegan un rol ecológico importante al mantener el estrato acuífero subterráneo limpio de partículas orgánicas provenientes del suelo o las aguas superficiales (Reddy, 2002) y al mismo tiempo proveen de valiosa información para establecer la calidad, flujo y transporte de contaminantes (Galassi, 2001).

Considerando la actual crisis del agua, se hace indispensable la explotación sustentable de los acuíferos sub-

terráneos; sin embargo, para esto es necesario mantener la integridad de los caracteres estructurales y funcionales de estos ecosistemas (Notenboom, 2001), lo que exige considerar no solo los aspectos relacionados con el recurso hídrico mismo, sino también los diversos organismos que allí habitan (Danielopol *et al.*, 2003).

En Chile, los estudios para la utilización humana de aguas subterráneas están dirigidos únicamente a aspectos físico-químicos o bacteriológicos (Claret *et al.*, 2001), ignorándose la importancia de otros componentes de las comunidades stigobiontes como los crustáceos, cuyo uso potencial como bioindicadores ha sido resaltado por varios autores (Yacoubi-Khebiza *et al.*, 1999).

La deforestación y uso intensivo de tierras para la agricultura constituye una amenaza para la stigofauna (Danielopol *et al.*, 2003). De igual forma, la sobre explotación de los acuíferos, extracción intensiva y aumentos de la carga orgánica están llevando desde declinamientos locales de poblaciones animales, hasta la extinción de fauna subterránea única de gran valor científico (Longley, 1992; Elliott, 2000; Humphreys, 1999). En este contexto, el conocimiento básico de la diversidad de especies de aguas subterráneas en Chile es una necesidad ineludible, especialmente al considerar el reciente aumento de la demanda por aguas subterráneas (Arumí & Oyarzún, 2006) y el escaso conocimiento que actualmente tenemos de estas comunidades.

Conclusiones

En base a los antecedentes presentados, se observa un escaso conocimiento de la presencia de peracáridos de aguas subterráneas en Chile, por lo que la diversidad de especies parece estar subestimada. Lo anterior es confirmado por el hallazgo de tres nuevas especies (y probablemente nuevos géneros) en un área geográfica relativamente reducida. Si se considera la baja intensidad de los muestreos en el país, la gran proporción de terrenos con potencial para la presencia de ambientes de aguas subterráneas y la historia geológica favorable para el asentamiento de poblaciones ancestrales, es de esperar que nuevas investigaciones en una mayor variedad de hábitats (*e. g.* cavernas) y abarcando un área geográfica más amplia (distintas formaciones geológicas), permitan registrar nuevas localidades para las especies ya conocidas y establecer la presencia de especies adicionales.

Agradecimiento

Se agradece al Dr. George D. F. Wilson, por su valiosa ayuda con información de Isopoda y las interesantes discusiones sobre isópodos Protojaniridae; al Dr. Luis Grosso, por facilitarnos información sobre su trabajo con anfípodos Paraleptamphopidos chilenos y al Prof. Erich Rudolph por su constante apoyo y estímulo en el trabajo con crustáceos peracáridos subterráneos. De igual forma, se agradece a las siguientes personas por su colaboración con literatura: J. L. Arumí, L. Baessolo, C. De Broyer, M. J. Dole-Olivier, G. D. Fenwick, B. J. Svavarsson, B. Sket, M. Thiel, R. Vonk y W. Zeidler. Este trabajo fue parcialmente financiado por el Programa de Educación e Investigación Biológica y Ambiental, a través del proyecto "Biodiversidad de Crustáceos Chilenos (IBAM 0106)".

Bibliografía

- ARUMÍ, J.L. & R.A. OYARZÚN 2006. Las aguas subterráneas en Chile. *Boletín Geológico y Minero*, **17**(1): 37-45.
- BÁEZ, R.P. 1995. Crustáceos. En: Simonetti, J.A., M.T.K. Arroyo, A.E. Spotorno & E. Lozada (eds) *Diversidad Biológica de Chile*: 189-194. CONICYT, Santiago, Chile.
- BARNARD, J.L. 1972. Gammaridean Amphipoda of Australia, Part I. *Smithsonian Contribution to Zoology*, **103**: 333 pp.
- BARNARD, J.L. & C.M. BARNARD 1983. *Freshwater Amphipoda of the World. I, Evolutionary Patterns. II, Handbook and Bibliography*. Mt. Vernon, Virginia, Hayfield Associates.
- BARNARD, J.L. & G.S. KARAMAN 1982. Classificatory revisions in gammaridean Amphipoda (Crustacea). *Proceedings of the Biological Society of Washington*, **95**: 167-187.
- BARNARD, J.L. & W.D. WILLIAMS 1995. The taxonomy of Amphipoda (Crustacea) from Australian fresh waters: Part 2. *Records of the Australian Museum*, **47**: 161-201.
- BENÍTEZ, A. 1995. Características climáticas y geológicas de Chile. En: Espinoza, G., P. Pisani, L. Contreras & P. Camus (eds) *Perfil Ambiental de Chile*: 19-37. CONAMA, Chile.
- BOTOSANEANU, L. 1986. *Stygofauna mundi*. E. J. Brill, Leiden, The Netherlands.
- BOWMAN, T.E., R. PRINS & J. ARENAS 1987. The occurrence of the freshwater isopod *Heterias (fritizianira) exul* in the Lakes Region of Chile, with notes on the genus *Heterias* (Asellota: Janiridae). *Hydrobiologia*, **146**(3): 275-281.
- CECIONI, G. 1970. *Esquema de paleogeografía de Chile*. Editorial Universitaria, Santiago, Chile.
- CLARET, M., R. ORTEGA, R. MARDONES, L. ANDREU, L. QUEZADA & C. PÉREZ 2001. Contaminación química y microbiológica en agua de pozos para consumo humano. Su dimensión geográfica expresada mediante un SIG. *SIGtemas (Chile)*, **16**(1): 5-7.
- COINEAU, N. 1977. Le genre *Pseudingolfiella* aux Kerguelen. *Comite National Francais des Reserches Antarctiques (Francia)*, **42**: 287-294.
- CULVER, D.C. & B. SKET 2000. Hotspots of subterranean biodiversity in caves and wells. *Journal of Caves and Karst Studies*, **62**(1): 11-17.
- DANIELOPOL, D.L., C. GRIEBLER, A. GUNATILAKA & J. NOTENBOOM 2003. Present state and future prospect for groundwater ecosystems. *Environmental Conservation*, **30**(2): 104-130.
- DE BROYER, C. 1995. Underground animal habitats: Progress towards integrated conservation. *Environmental Conservation*, **21**(4): 357-359.
- DOLE-OLIVIER, M.J., F. MALARD, D. FERREIRA & J. GIBERT 2005. Biodiversité dans les eaux souterraines. *La Houille Blanche*, **3**: 39-44.
- ELLIOTT, W.R. 2000. Conservation of North American cave and karst biota. En: Wilkens H., D.C. Culver & W.F. Humphreys (eds) *Subterranean Ecosystems, Ecosystems of the World*, Volume **30**: 664-689. Amsterdam, The Netherlands, Elsevier.
- FAO 2003. Groundwater management: the search for practical approaches. *Water Reports*, **25**: 54 pp.
- FENWICK, G.D. 2001a. The freshwater Amphipoda (Crustacea) of New Zealand: a review. *Journal of the Royal Society of New Zealand*, **31**(2): 341-363.
- FENWICK, G.D. 2006. *Ringanui*, a new genus of stygobitic amphipod from New Zealand (Amphipoda: Gammaridea: Paraleptamphopidae). *Zootaxa*, **1148**: 1-25.
- FRESI, E., E. IDATO & M.B. SCIPIONE 1980. The Gnathostenetroidae and the evolution of primitive asellote isopods. *Monitore Zoologico Italiano*, **14**: 119-136.
- GALASSI, D.M.P. 2001. Groundwater copepods: diversity patterns over ecological and evolutionary scales. *Hydrobiologia*, **453/454**: 227-253.

- GIBERT, J. & L. DEHARVENG 2002. Subterranean ecosystems: a truncated functional biodiversity. *Bioscience*, **52**: 473-481.
- GONZÁLEZ, E.R. 1991. Actual state of gammaridean amphipoda taxonomy and catalogue of species from Chile. *Hidrobiología*, **223**: 47-68.
- GONZÁLEZ, E.R. 2003. The freshwater amphipods *Hyaella* Smith, 1874 in Chile (Crustacea: Amphipoda). *Revista Chilena de Historia Natural*, **76**(4): 623-637.
- GONZÁLEZ, E.R. & L. WATLING 2001. Three new species of *Hyaella* from Chile (Crustacea: Amphipoda: Hyaellidae). *Hydrobiología*, **464**: 175-199.
- GONZÁLEZ, E.R. & L. WATLING 2003a. A new species of *Hyaella* from the Patagonia, Chile, with the redescription of *H. simplex* Schellenberg, 1943 (Crustacea: Amphipoda). *Journal of Natural History*, **37**(17): 2077-2094.
- GONZÁLEZ, E.R., P.A. HAYE, M.-J. BALANDA & M. THIEL 2008. Lista sistemática de especies de peracáridos de Chile (Crustacea, Eumalacostraca). *Gayana*, **72**(2): 157-177.
- GONZALEZ, L., M. MARDONES, A. SILVA & E. CAMPOS 1999. Hidrogeoquímica y comportamiento del agua subterránea en la cuenca del río Claro, Región del Biobío, Chile. *Revista Geológica de Chile*, **26**(2): 145-157.
- GROSSO, L.E. 1992. Protojaniridae (Isopoda, Asellota) en aguas intersticiales continentales de Sudamérica. *Cuyojanira riojana* n. gen. n. sp. *Stylogologia*, **7**(2): 119-125.
- GROSSO, L.E., M.A. PERALTA & S. RUFFO 2006. Description of *Pseudingolfiella morimotoi*, sp. nov. (Crustacea, Amphipoda) from New Zealand and transantarctic distribution of the genus. *Subterranean Biology*, **4**: 67-77.
- HEUSSER C.J. 1966. Late-pleistocene pollen diagrams from the province of Llanquihue, Southern Chile. *Proceedings of the American Philosophical Society*, **110**(4): 269-305.
- HOLSINGER, J.R. 1993. Biodiversity of subterranean amphipod crustaceans: global patterns and zoogeographic implications. *Journal of Natural History*, **27**: 821-835.
- HUMPHREYS, W.F. 1999. Relict stygofaunas living in sea salt, karst and calcrete habitats in arid northwestern Australia contain many ancient lineages. En: Ponder, W. & D. Lunney (eds) *The other 99%. The Conservation and Biodiversity of Invertebrates*: 219-227. Transaction of the Royal Zoological Society of New South Wales.
- ILLIES, H. 1970. *Geología de los alrededores de Valdivia y Volcanismo y Tectónica en márgenes del Pacífico de Chile Meridional*. Universidad Austral de Chile, Instituto de Geología y Geografía, Valdivia.
- JARA, C. G., E. H. RUDOLPH & E. R. GONZÁLEZ 2006. Estado de conocimiento de los malacostráceos dulceacuicolas de Chile. *Gayana*, **70**(1): 40-49.
- KOENEMANN, S. & J.H. HOLSINGER 1999. Phylogenetic analysis of the amphipod family Bogidiellidae S. Lat., and revision of taxa above the species level. *Crustaceana*, **72**(8): 781-816.
- KRISTJANSSON, B.K. & J. SVAVARSSON 2004. Crymostygidae, a new family of subterranean freshwater gammaridean amphipods (Crustacea) recorded from subarctic Europe. *Journal of Natural History*, **38**: 1881-1894.
- KURIBAYASHI, K., S.F. MAWATARI & S. ISHIMARU 1996. Taxonomic study on the genus *Sternomoera* (Crustacea: Amphipoda), with redefinition of *S. Japonica* (Tattersall, 1922) and description of a new species of Japan. *Journal of Natural History*, **30**: 1215-1237.
- LABAY, V.S. 1997. *Sternomoera moneronensis* sp. n. (Amphipoda, Eusiridae) from freshwater of Moneron Island. *Zoologizhesky Zhurnal*, **76**(6): 754-758.
- LONGLEY, G. 1992. The subterranean aquatic ecosystem of the Balcones Fault zone Edwards aquifer in Texas. En: Stanford, J.A. & J.J. Simons (eds) *First International Conference on Ground Water Ecology*: 291-300. American Water Resource Association, Bethesda, USA.
- LOWRY, J.K. & G.C.B. POORE 1989. First Ingolfiellids from the southwestern Pacific (Crustacea: Amphipoda) with a discussion of their systematics. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, **102**: 933-946.
- MEŠTROV, M. & R. LATTINGER-PENKO 1970. *Stenasellus skopljenensis thermalis* ssp. n. (Crustacea, Isopoda) d'une source chaude en Bosnie. *International Journal of Speleology*, **3**(3-4): 305-309.
- NOODT, W. 1959. Estudio sobre crustáceos chilenos de aguas subterráneas. I. *Ingolfiella chilensis* n. sp. de la playa marina de Chile Central (Crustacea, Amphipoda). *Investigaciones Zoológicas Chilenas*, **5**: 199-209.
- NOODT, W. 1961. Estudios sobre crustáceos chilenos de aguas subterráneas. II. Nueva *Ingolfiella* de aguas subterráneas limnias de las Lomas de Paposo en el Norte de Chile. *Investigaciones Zoológicas Chilenas*, **7**: 7-16.
- NOODT, W. 1965. Interstitielle amphipoden der konvergenten gattungen *Ingolfiella* Hansen und *Pseudingolfiella* n. gen. aus Sudamerika. *Crustaceana*, **9**: 17-30.
- NOTENBOOM, J. 1991. Marine regressions and the evolution of groundwater dwelling amphipods (Crustacea). *Journal of Biogeography*, **18**: 437-454.
- NOTENBOOM, J. 2001. Managing ecological risks of groundwater pollution. En: Griebler, C., D.L. Danielopol, J. Gibert, H.P. Nachtnebel & J. Notenboom (eds) *Groundwater Ecology. A Tool for Management of Water Resources*: 248-262. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- PEÑA, H. 1995. Efectos ambientales derivados del uso de recursos hídricos en Chile. En: Espinoza, G., P. Pisani, L. Contreras & P. Camus (eds) *Perfil Ambiental de Chile*: 419-444. CONAMA, Chile.
- PEÑA, H., R. ABELIUK, G. CABRERA, J. CASTILLO, J. MUÑOZ, F. PÉREZ & C. SALAZAR 1990. El problema de la contaminación de las aguas subterráneas en Chile. *Revista de la Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica*, **5**(3): 25-42.
- PREMOLI, A. 2005. Refugios para la biodiversidad: ¿Pueden encontrarse fuera de la Cordillera de la Costa?. En: Smith-Ramirez, C., J.J. Armesto & C. Valdovinos (eds) *Historia, Biodiversidad y Ecología de los Bosques Costeros de Chile*: 117-119. Editorial Universitaria, Chile.
- REDDY, Y. R. 2002. Why neglect groundwater biology?. *Current Science*, **83**(8): 931-932.
- RUDOLPH, E. H. & K. A. CRANDALL 2005. A new species of burrowing crayfish, *Virilastacus rucapihuelensis* (Crustacea: Decapoda: Parastacidae), from Southern Chile. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, **118**(4): 765-776.
- RUFFO, S. 1973. Contributo alla revisione del genere *Bogidiella* Hertzog (Crustacea, Amphipoda, Gammaridae). Studi sui Crostacei Anfipodi LXXIV. *Bollettino dell'Istituto di Entomologia della Università degli Studi di Bologna*, **31**: 49-77.
- RUFFO, S. & A. VIGNA TAGLIANI 1989. Description of a new cavernicolous *Ingolfiella* species from Sardinia, with remarks on the systematics of the genus. *Annali del Museo Civico di Storia Naturale*, **87**: 237-261.
- SKET, B. 1982. New Protojaniridae (Isopoda, Asellota) from Sri Lanka and some corrections of the taxonomy of the family. *Biološki Vestnik*, **30**(1): 127-142.
- SKET, B. 1999. The nature of biodiversity in hypogean waters and how it is endangered. *Biodiversity and Conservation*, **8**: 1319-1338.
- STOCK, J. H. 1976. A new member of the crustacean suborder Ingolfiellidea from Bonaire, with a review of the entire suborder. *Studies on the Fauna of Curaçao*, **50**: 56-75.
- STRAYER, D. L. 1994. Limits to biological distributions in groundwater. En: Gibert, J., D.L. Danielopol & J.A. Stanford (eds) *Groundwater ecology*: 287-310. Academic Press, California.

- SVAVARSSON, J. & B. KRISTJANSSON 2006. *Crangonyx islandicus* sp. nov., a subterranean freshwater amphipod (Crustacea, Amphipoda, Crangonyctidae) from springs in lava fields in Iceland. *Zootaxa*, **1365**: 1-17.
- THIEL, M., E. R. GONZÁLEZ, M. J. BALANDA, P. HAYE, R. HEARD, & L. WATLING 2003. Diversity of Chilean peracarids (Crustacea: Malacostraca). En: Hendrickx, M.E. (ed) *Contribuciones al Estudio de los Crustáceos del Pacífico Este*, **2**: 177-189. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.
- VALDOVINOS, C. 2006. Invertebrados dulceacuícolas. En: Saball, P., Arroyo, M.T.K., Castilla, J.C., Estades, C., Ladrón Guevara, J.M., Larraín, S., Moreno, C.A., Rivas, F., Rovira, J., Sierralta, L. (Eds), *Biodiversidad de Chile, Patrimonio y Desafíos*. Ocho Libros Editores, Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), Chile. pp. 204-225.
- VONK, R. & F.R. SCHRAM 2003. Ingolfiellidea (Crustacea, Malacostraca, Amphipoda): a phylogenetic and biogeographic analysis. *Contributions to Zoology*, **72**(1): 39-72.
- VUILLEUMIER, B.S. 1971. Pleistocene changes in the fauna and flora of South America. *Science*, **173**: 771-780.
- WAGÈLE, J.W. 1990. Aspects of the evolution and biogeography of stygobiontic isopoda (Crustacea: Peracarida). *Bijdragen tot de Dierkunde*, **60**(3-4): 145-150.
- WILLIAMS, W.D. & J.L. BARNARD 1988. The taxonomy of Crangonyctoid Amphipoda (Crustacea) from Australian freshwaters: foundation studies. *Records of Australian Museum, Supplement*, **10**: 1-180.
- WILKENS, H., D.C. CULVER & W.F. HUMPHREYS 2000. *Subterranean ecosystems, Ecosystems of the world, Volume 30*. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier.
- WILSON, G.D.F. 1998. Historical influences on deep-sea isopod diversity in the Atlantic Ocean. En: Smith, C. R., L. S. Mullineaux & L. A. Levin, eds., *Deep-Sea biodiversity: a compilation of recent advances in honor of Robert R. Hessler; Deep-Sea Research Part II, Topical Studies in Oceanography* **45**(1-3): 279-301. Pergamon Press: Oxford, UK.
- WILSON, G.D.F. 2008. Global diversity of Isopod crustaceans (Crustacea; Isopoda) in freshwater. *Hydrobiologia*, **595**: 231-240.
- YACOUBI-KHEBIZA, M., N. COINEAU, C. BOUTIN & F. DE BOVÉE 1999. Interstitial crustaceans and groundwater quality in five rivers of the Western High Atlas (Morocco). *Crustaceana*, **72**(8): 893-898.
- ZEIDLER, W. 1991. A new genus and species of phreatic amphipod (Crustacea: Amphipoda) belonging in the "Chiltonia" generic group, from Dalhousie Springs, South Australia. *Transactions of the Royal Society of South Australia*, **115**(4): 117-187.