

# VULNERABILIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS DE LA CUENCA DEL RIO CLARO, VIII REGION DEL BIO-BIO, CHILE.

Liubow N. González<sup>1</sup> ;• Alberto Silva<sup>1</sup>. & Abraham González M.<sup>1</sup>

**Resumen** - En la Cuenca del río Claro se distingue dos unidades hidrogeológicas principales: rocas graníticas meteorizadas de la Cordillera de la Costa y sedimentos fluviales y fluvio-volcánicos de la Depresión Central constituidos por arenas negras basálticas procedentes del volcán Antuco, que presentan características hidráulicas favorables para el desarrollo de acuíferos.

La vulnerabilidad de las aguas subterráneas depende principalmente del tipo de acuífero, de la profundidad del nivel freático y de las características litológicas e hidráulicas de la zona no saturada. Los rangos de vulnerabilidad determinados en el área de estudio para el acuífero según el método G.O.D. varían desde 0,22 a 0,70, resultando en vulnerabilidad entre baja a alta. La zona más vulnerable se encuentra en la parte centro-sur de la Depresión Central, asociada a niveles freáticos someros y hasta aflorantes, el resto del sector de esta unidad se caracteriza por los rangos de vulnerabilidad moderada y el sector de la unidad de la Cordillera de la Costa pertenece a la zona de vulnerabilidad baja.

**Palabras claves** - Permeabilidad, vulnerabilidad, Cuenca del río Claro.

## INTRODUCCIÓN

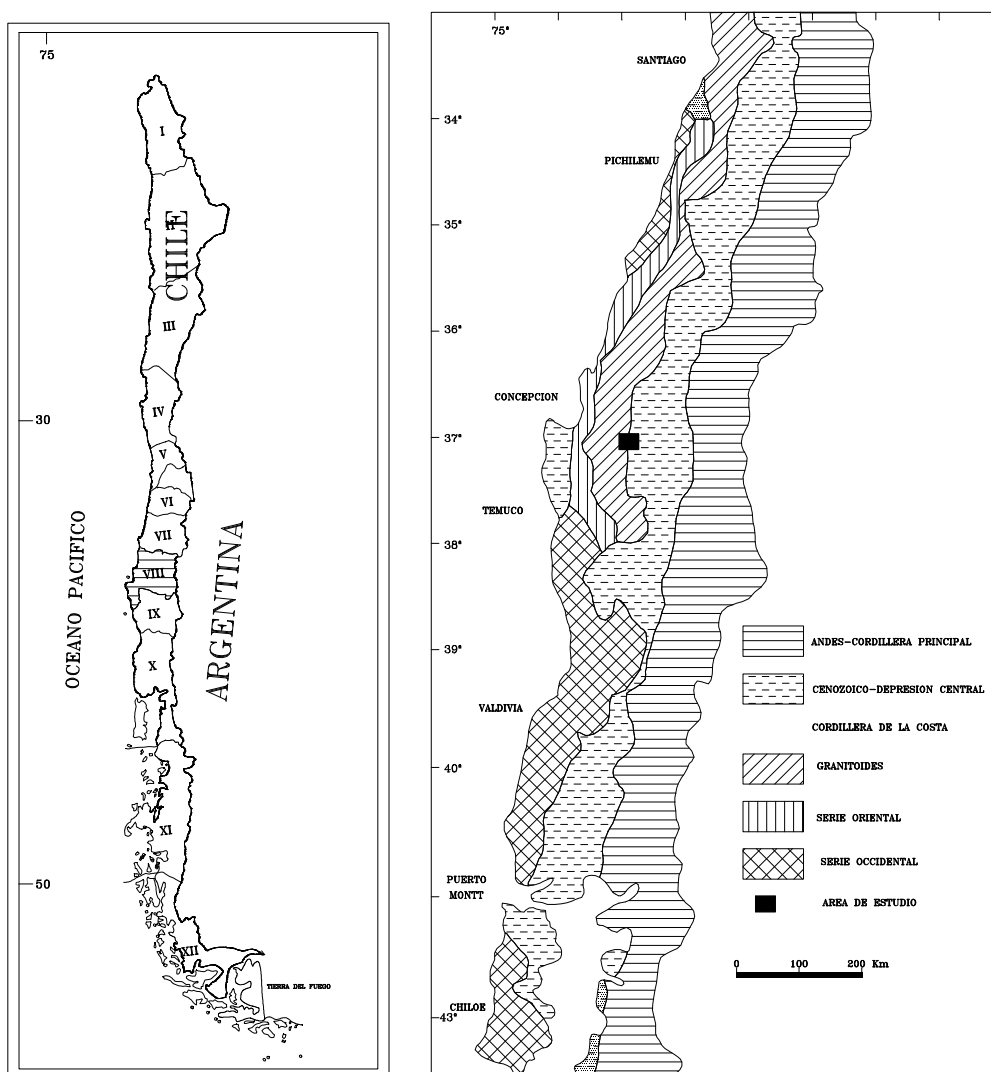
El área de estudio corresponde a la Cuenca Hidrográfica del río Claro de la Hoja de Yumbel en la provincia del Biobío, VIII Región, Chile y abarca parte de la vertiente oriental de la Cordillera de la Costa y el sector occidental de la Depresión Central (Fig. 1).

La distribución y existencia de agua subterránea en la corteza terrestre y la variación de

---

<sup>1</sup> Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Concepción, Casilla 3-C, Concepción, Chile

su composición química y calidad, es indudablemente uno de los problemas hidrogeológicos más importantes en el mundo actual, debido a la escasez de agua dulce de buena calidad para uso humano. Por otra parte, los efectos del desarrollo, la contaminación, y factores como el calentamiento global, han influenciado para que el recurso agua dulce se haga cada vez más escaso y de menor calidad. La protección de la calidad y cantidad de agua subterránea en las cuencas sedimentarias es por tanto indispensable.



**FIG. 1** Mapa de ubicación geográfica del área de estudio y de las unidades geológicas principales.

La evaluación de la vulnerabilidad del acuífero de la Cuenca del río Claro de la Hoja de

Yumbel es el objetivo de este estudio.

Con este fin, se trató de determinar un potencial intrínseco de los acuíferos para hacer frente a procesos que alteren el régimen normal de las aguas subterráneas o, que directamente las contaminen. Los parámetros a considerar, entonces, se remiten a características hidrogeológicas, los tipos de acuíferos involucrados (libre, semiconfinado o confinado) y características hidráulicas de la zona no saturada.

El método utilizado para la determinación de la vulnerabilidad de los acuíferos es G.O.D. (Vrba & Zaporozec, 1994). Este método corresponde a un sistema en el que se clasifican tres diferentes parámetros, considerados dentro de rango preestablecido para cada uno de estos. La vulnerabilidad de un acuífero se estima multiplicando estos tres parámetros, que representan tres tipos de información espacial:

G (Groundwater occurrence) – tipo de acuífero (de 0 a 1,0)

O (Overlying lithology) – litología de la zona no saturada (de 0,4 a 1,0)

D (Depth to Groundwater) – profundidad del agua subterránea (de 0,4 a 1,0).

El producto de estos tres componentes arroja un índice de vulnerabilidad que puede variar entre 0 y 1, indicando vulnerabilidad desde despreciable a extrema. Los valores de los tres componentes (G, O y D) se obtuvieron utilizando el diagrama de flujo con sus subdivisiones correspondientes, correlación numérica y los posibles resultados de la cuantificación de la vulnerabilidad (Vrba & Zaporozec, 1994).

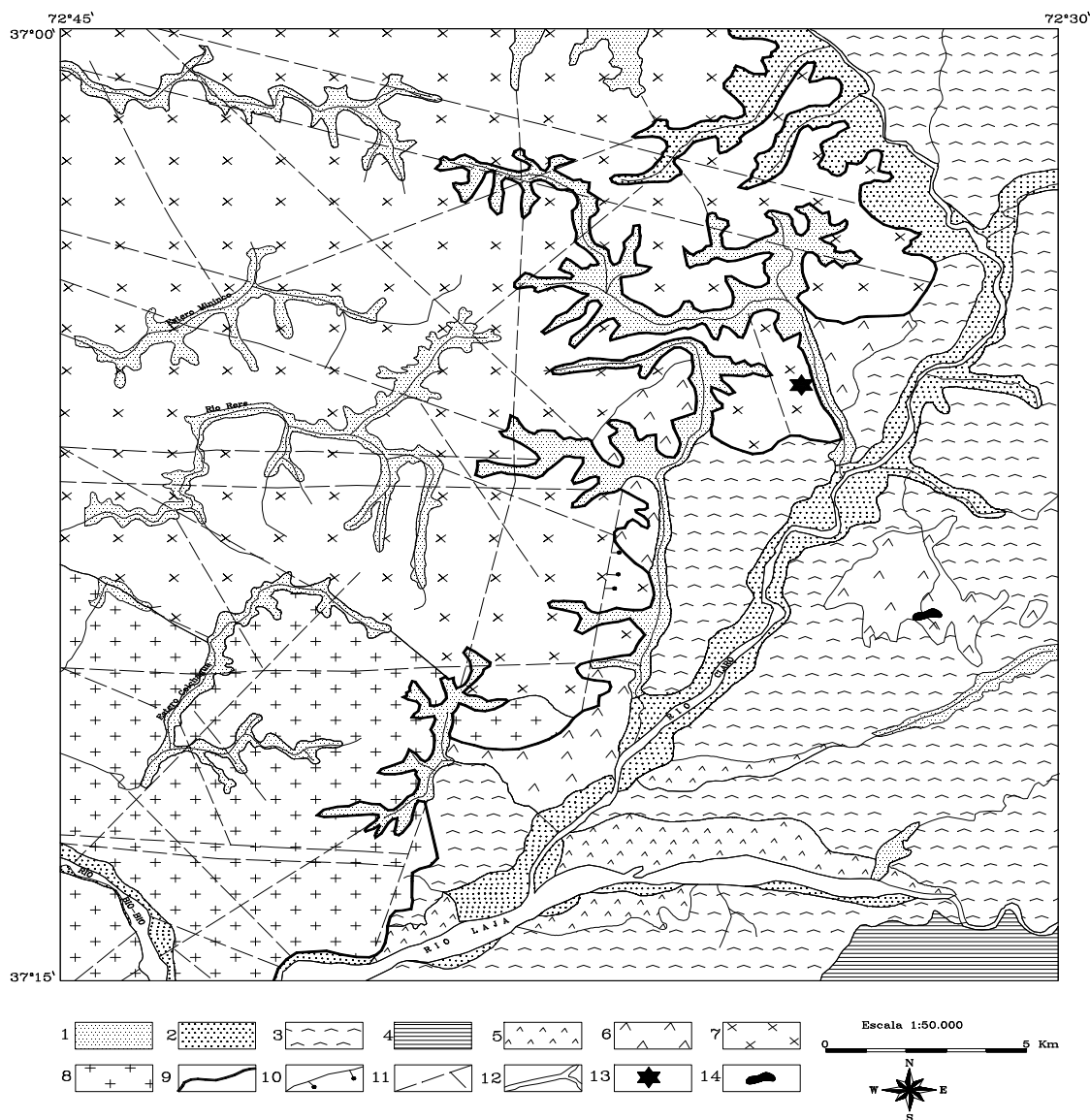
## **CLIMA**

El área de estudio se sitúa en el margen sur del dominio mediterráneo (Devynck, 1970). Localmente, contrastan de un verano seco, cálido y un invierno lluvioso, fresco, con temperaturas medias de 13° a 14°C. La red hidrográfica tiene origen local, de modo que las aguas de escorrentía superficial y subterránea reciben alimentación esencialmente pluvial. El 85% de las precipitaciones se producen en invierno, en el período de abril a septiembre. Los valores medios anuales de precipitaciones, registrados por la Dirección General de Agua en las Estaciones Yumbel y Laja, durante el período 1912-1998, con un promedio de 913 mm anuales, con un valor máximo 1.520 mm que corresponde al año 1982.

## **MARCO GEOMORFOLÓGICO**

El área de estudio está inserta en la tercera agrupación geomorfológica, denominada Región Central de las Cuencas y del Llano fluvio - glaciovolcánico, limitada, en su extremo sur, por el curso del río Biobío (Börgel, 1983).

Al interior de esta región geomorfológica, la cuenca del río Claro se emplaza en la zona de contacto entre el margen oriental de la Cordillera de la Costa y el margen occidental de la Depresión Intermedia, ambas con características morfológicas y litológicas diferentes (Fig. 2).



LEYENDA: **Cuaternario:** 1- Sedimentos fluviales, aluviales; 2- Terrazas y llanuras fluviales; 3- Campo de dunas; 4- Depósitos de aspersión eólica; 5- Terrazas fluviovolcanicas inferior del Laja; 6- Llanura fluviovolcánica media de Laja. **Paleozoico superior:** 7- Cuerpo granodiorítico principal; 8- Dioritas cuarcíferas de biotita-hornblenda, dioritas de hornblenda; 9- Contacto geológico; 10- Falla normal; 11- Lineamiento; 12- Red hidrográfica; 13- Ciudad Yumbel; 14- Laguna de Flores.

**FIG. 2** Mapa geológico preliminar Hoja de Yumbel. VIII Región, Chile. (Tomado de Gloria Bizama, 1998)

**Cordillera de la Costa** se extiende en la parte occidental de la Cuenca del río Claro, con altitudes promedio que varían entre los 150 a 300 m s.n.m. Está constituida, principalmente, por rocas plutónicas paleozoicas: granodiorita, granitoide rico en cuarzo, tonalita de biotita - hornblenda, diorita cuarcífera de biotita - hornblenda y diorita de hornblenda (Bizama, 1998). Es una unidad orográfica dominante, abarca aproximadamente un 55% del área de estudio

Las estructuras principales, fallas y lineamientos (Ferraris, 1981 y Bizama, 1998), muestran las siguientes direcciones preferenciales: NNE-SSW, NNW-SSE y N-S (Fig. 2), las que afectan al intrusivo de la Cordillera de la Costa y ejercen un importante control de la red de drenaje, en el área de estudio. Los intensos procesos de meteorización química, que han actuado sobre las rocas graníticas de la Cordillera de la Costa han permitido la formación *in situ* de un suelo profundo de espesor variable (CIREN, 1992) compuesto por material arenoso-arcilloso con presencia de gravilla, arcillas y limos. En cierta medida, estos suelos permiten la infiltración y formación del flujo de agua subterránea dirigido hacia la Depresión Central.

**Depresión Intermedia** es una llanura fluvial y fluvio - volcánica (sedimentos depositados por flujos fluviales en los cuales el origen de las partículas es volcánico, es decir, los clastos son producto de la erosión de coladas de lavas basálticas) (Niemeyer y Cereceda, 1984), con altitudes entre los 75 a 100 m s.n.m.. Está conformada por material acumulativo del tipo arena de espesor variable entre 4 y más de 25 m. Comprende la parte oriental de la Cuenca del río Claro y ocupa aproximadamente un 45% de ésta. Su permeabilidad, porosidad y una morfología plana, son condiciones favorables para la infiltración del agua pluvial y desarrollo de acuíferos.

Al interior de esta llanura, reconocen los siguientes tipos de modelados: Llanura fluvio - volcánica media del río Laja, Terraza fluvio - volcánica inferior del río Laja, Campos de dunas y Áreas de aspersion eólica (Mardones y Peña 1995). Todos estos relieves están conformados por arenas negras, denominadas por Brüggén (1914) como “las arenas oscuras del valle del Laja” e interpretadas similarmente por MacPhail (1966). Posteriormente son conocidas por Varela y Moreno (1982) como el “Abanico Aluvional” del curso medio de los ríos Itata, Laja y Coreo. Estas arenas negras que conforman el gran abanico, que rellena

y se extiende dentro de la Depresión Central, con su ápice en la salida del piedemonte del valle del Laja; corresponden a depósitos secundarios del mismo material que Arenas Negras de Trupán-Laja que fue removido y acarreado por los enormes flujos de detritos asociados a la actividad volcánica del volcán Antuco (Thiel, Moreno *et al.* 1998). En el llano, la actividad eólica las habría retransportado formando extensos campos de dunas.

Dichos depósitos de arenas negras, sobreyacen a una unidad de tobas brechosas y brechas volcánicas consolidadas reconocidas como Formación Banco del Laja (Brüggen, 1914), una morrena (Muñoz-Cristi, 1960), un gran lahar (MacPhail, 1966), un depósito de flujo de escorias incandescentes (Varela y Moreno, 1982) o ignimbritas escoriáceas consolidadas de la unidad inferior, o secuencia basal del Cono de Quilleco (Thiele, Moreno *et al.*, 1998).

## **HIDROGRAFÍA**

El sistema hidrográfico del área pertenece a la Cuenca del Río Biobío, de carácter exorreico andino y se sitúa en la transición entre los “ríos en torrente de régimen mixto de la zona subhúmeda de Chile” y los “ríos tranquilos de regulación lacustre de la zona húmeda de Chile” (Niemeyer y Cereceda, 1984).

El patrón de drenaje está influenciado por las características morfológicas, litológicas y estructurales existentes en el área de estudio. La densidad de drenaje, se relaciona estrechamente con las diferencias de permeabilidad superficial del terreno, que ofrecen, por una parte, las rocas ígneas meteorizadas principalmente con una permeabilidad baja, pero con buena capacidad de retención de agua y por otra, los sedimentos fluviales y fluvio-volcánicos que son permeables (CIREN, 1992) (Tabla 1).

El río Claro, cuyos caudales medios alcanzan a los 11,2 m<sup>3</sup>/seg. (D.G.A., 1998) es el principal tributario del río Laja. Este curso tiene un trazado meandriforme y atraviesa en dirección sudoeste, extensas zonas de dunas (Fig. 2).

## **CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLOGICAS**

La geomorfología, litología, potencial hidráulico y permeabilidad, son los factores más importantes que intervienen en el movimiento natural de las aguas subterráneas en la corteza terrestre.

De acuerdo con la constitución del subsuelo y con el funcionamiento geohidrológico, el

área puede dividirse en dos sectores: uno localizado en la Cordillera de la Costa y el otro en la Depresión Central. En la Tabla 1 se presentan los resultados de las características hidrogeológicas para estos dos sectores.

**Tabla 1.** Característica hidrogeológicas

Parámetros	Cordillera de la Costa		Valle Central	
	Roca granítica Meteorizada	Aluviones Locales	Arena de duna	Arena fluvial
Diámetro medio $d_{50}$ (mm)	0,25	0,06	0,45	0,25
Coefficiente uniformidad	6	2	3,5	2,7
Porosidad eficaz, $m_e$	15	8	35	30
Porosidad total $m_t$	32	41	44	43
Retención, $m_r$	17	33	9	13
Permeabilidad, $k$ (m/día)	21	3	203	37

El sector oriental y suroriental, están conformados por material acumulativo de arena basáltica, por lo cual su permeabilidad y porosidad es mayor, y, por otro lado, su morfología es casi plana, que son condiciones favorables para la infiltración del agua pluvial y desarrollo del acuífero.

### COMPOSICIÓN IÓNICA Y CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Las aguas subterráneas en el área de estudio pertenecen al grupo genético bicarbonatada cálcica y magnésica, cuya composición aniónica es fuertemente bicarbonatada. La composición catiónica de las muestras es: magnesianas, cálcicas y mixtas en estrecha relación con los tipos de roca o sedimento por las cuales circule (L. González, 1999). Todas las muestras de las aguas se clasificaron, de acuerdo al método de Schoeller (Custodio *et al.*, 1996), como aguas normales, con las concentraciones:  $r\text{Cl} < 10$ ;  $r\text{SO}_4 < 6$ ;  $r\text{HCO}_3 < 2$  Hipobicarbonatada y Bicarbonatada normal con  $r\text{HCO}_3$  de 2 a 7 y con  $r\text{HCO}_3 > r\text{Ca}$  (L. González, 1999).

Con respecto a los sólidos disueltos totales se puede decir que se trata de aguas dulces con concentraciones menores a 1.000 mg/l. La salinidad crece en el sentido del flujo subterráneo con el aumento de las concentraciones de STD en la zona de contacto entre rocas plutónicas y los sedimentos fluvio-volcánicos (L. González, 1999). Según la dureza las

aguas subterráneas en el área de estudio corresponden de blanda a ligeramente dura, con contenido de CaCO<sub>3</sub> que varía entre 0 –50 y 60-120 mg/l.

## EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO.

La vulnerabilidad de las aguas subterráneas esta relacionada con el tipo de acuífero presente en el área de estudio, profundidad del nivel estático, tipos litológicos y grado de consolidación.

Según estas características en el área de estudio se distinguen cinco unidades: dos relacionadas con las rocas graníticas meteorizadas de la Cordillera de la Costa y tres con los sedimentos fluviales y fluvio-volcánicos de la Depresión Central.

Los valores de la vulnerabilidad, según el método G.O.D. (Vrba & Zaporozec, 1994), se presentan en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Valores de la vulnerabilidad, considerando las combinaciones existentes en el área de estudio, de los parámetros G.O.D.

Tipo de acuífero	G	Zona no saturada	O	Profundidad Nivel freático. (m)	D	Valor G.O.D	Rango de vulnerabilidad
<b>Cordillera de la Costa</b>							
Libre cubierto	0,6	Unidad 1	0,4	2-5	0,9	0,22	Baja
Libre cubierto	0,6	Unidad 2	0,5	2-5	0,9	0,27	Baja
<b>Depresión Central</b>							
Libre cubierto	0,6	Unidad 3	0,6	2-5	0,9	0,32	Moderada
Libre cubierto	0,6	Unidad 4	0,6	5-10	0,8	0,30	Moderada
Libre aflorante	1,0	Unidad 5	0,7	< 2	1.0	0,70	Alto

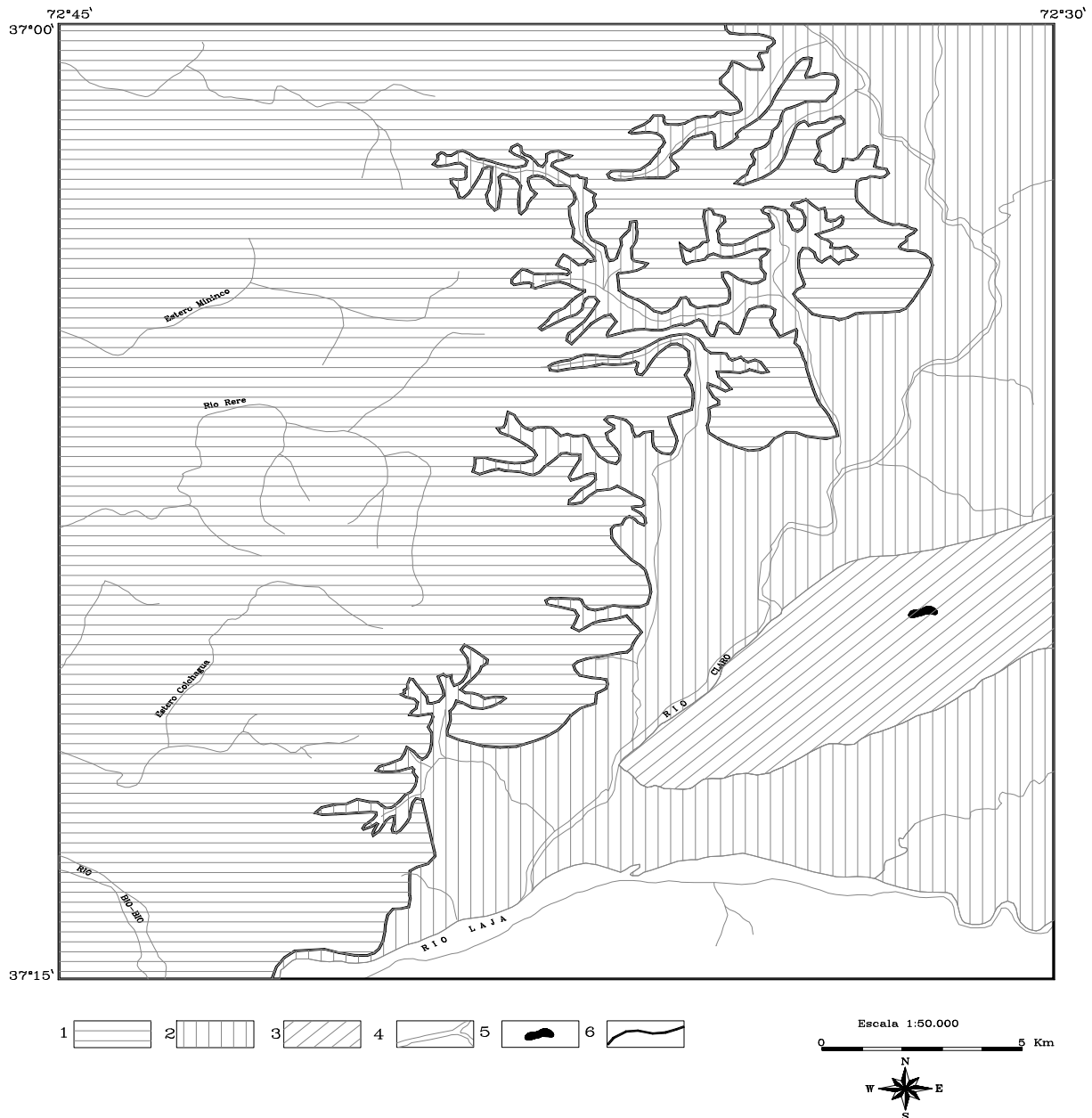
Los valores de vulnerabilidad determinados varían entre 0,22 y 0,70, dando como resultado un rango de vulnerabilidad desde baja hasta alta.

La distribución de las zonas según los valores de vulnerabilidad por el método G.O.D., se presentan en la Figura 3.

Para la unidad hidrogeológica de la Cordillera de la Costa los valores de la vulnerabilidad varían entre 0,22 y 0,27 y corresponden al rango de vulnerabilidad baja.

Las zonas de los rangos de la vulnerabilidad moderada y alta con los valores de 0,30 a 0,70 respectivamente, corresponden a la Depresión Intermedia constituidas por los campos de dunas donde los niveles freáticos varían entre 2-5 m y someros - aflorantes.





LEYENDA: 1- Zona de vulnerabilidad baja ( $V=0,22-0,27$ ); 2- Zona de vulnerabilidad Moderada ( $V=0,30-0,50$ ); 3- Zona de vulnerabilidad alta ( $V=0,50-0,70$ ); 4- Red hidrográfica; 5- Laguna de Flores; 6- Contacto geológico.

**FIG. 3.** Mapa de zonación de vulnerabilidad de las aguas subterráneas (Método G.O.D.)

## CONCLUSIONES

En la cuenca del río Claro se presentan dos unidades hidrogeológicas: Rocas graníticas meteorizadas que abarca parte de la vertiente oriental de la Cordillera de la Costa y sedimentos fluviales y fluvio-volcánicos de la Depresión Central del sector occidental.

Las características hidrológicas de estas dos unidades son distintas: las rocas

graníticas meteorizadas con permeabilidad baja y los sedimentos fluviales y fluviovolcánicos, con una permeabilidad alta.

La composición química de las aguas subterráneas tiene relación directa con las rocas y sedimentos que atraviesen: magnésica con los sedimentos de la Depresión Central que son los depósitos de la arena negra basáltica y cálcico-sódica con las rocas graníticas meteorizadas de la Cordillera de la Costa.

La calidad físico-química de las aguas subterráneas de acuerdo a las normas Chilenas es apta para el consumo humano como para la agricultura.

En el área de estudio, según G.O.D., se distinguen tres zonas de diferente rango de vulnerabilidad (Fig. 3). La zona de baja vulnerabilidad, se ubica en el sector occidental del área de estudio y corresponde a la unidad hidrogeológica de la Cordillera de la Costa representada por rocas graníticas meteorizadas, las cuales poseen una permeabilidad baja (Tabla 1) y la profundidad del nivel freático varía entre 2 y 5 m. En la unidad hidrogeológica de la Depresión Central, representada por sedimentos fluviales y fluvio-volcánicos de buena permeabilidad (Tabla 1) se distinguen dos zonas de diferentes rangos de vulnerabilidad: moderada y alta, las cuales tienen una relación directa con la profundidad del nivel freático (Fig. 3).

## REFERENCIAS

- Bizama, G, 1998. Geología del Cuadrángulo Yumbel (37°00' - 37°15' S, 72°30'- 72°45' W) VIII Región del Bío-Bío, Chile. *Memoria de Título (Inédito). Universidad de Concepción, Chile*, p. 103.
- Börgel R., 1983 Geomorfología. In Geografía de Chile. Tomo II. *Instituto Geográfico Militar*, p. 182. Santiago, Chile.
- Brüggen, J. 1914. Los carbones del Valle Longitudinal i la Zona Carbonífera al Sur de Curanilahue, en la provincia de Arauco. *Sociedad Nacional de Minería, Imprenta Barcelona*, p 56. Santiago.
- Centro de Investigación de Recursos Naturales-Corporación de Fomento de la Producción. (CIREN-CHILE). 1992. Descripciones del suelo y símbolos. *Centro de Recursos Naturales-Corporación de Fomento de la Producción*, p. 214
- Custodio, E / Llamas, M. R. 1996. Hidrología subterránea. *Ediciones Omega*, p. 2350. Barcelona.

- González, L., Mardonez, M., Silva, A., Campos, E. 1999. Hidrogeoquímica y comportamiento del agua subterránea en la Cuenca del río Claro. *Revista Geológica de Chile*, N°2, Vol. 27, p. 145-157
- Ferraris, F. 1981. Mapas geológicos preliminares de Chile. Hoja Los Angeles-Angol, escala 1:250.000. *Instituto de Investigaciones Geológicas*, 1 carta. 32 p. Santiago, Chile.
- MacPhail, D. 1966. El gran lahar del Laja. *In Estudios Geográficos. Universidad de Chile, Facultad de Filosofía y Educación*, p. 133-155.
- Mardones, M.; Peña, F. 1995. Carta geomorfológica de Yumbel (Inédito), p. 43. Concepción.
- Muñoz-Cristi, J. 1960. Contribución al Conocimiento Geológico de la Cordillera de la Costa de la Zona Central. *Revista Minerales*, Vol. 15, N° 69, p. 28-47.
- Niemeyer, H., Cereceda, P., 1984. Geografía de Chile. *Instituto Geográfico Militar*. Tomo VIII, p 320.
- Thiele, R.; Moreno, H.; Elgeta, S.; Lahsen, A.; Robolledo, S.; Petit-Breuilh, M.E. 1998. Evolución geológico-geomorfológica cuaternaria del tramo superior del valle del río Laja. *Revista Geológica de Chile*, Vol. 25, N°2, p. 229-255.
- Varela, J., Moreno, H. 1982. Los Depósitos de Relleno de la Depresión Central de Chile entre los ríos Lontué y Bío-Bío. *In Congreso Geológico de Chile, N°3, Actas*, Vol. 2, p. F280-F306. Concepción.
- Vrba, J. & Zaporozec, A., 1994. Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability. *International Association of Hydrogeologists. International contribution to Hydrogeology*, Vol. 16 Hannover, p. 131