

EXTRACTO DE DOCUMENTO:

Esta monografía ha sido preparada en el contexto de la Red Temática *Aquíferural* (**Metodologías de análisis y aplicación de tecnologías para el manejo sostenible de acuíferos en zonas rurales**). Más que a un documento inédito, se presenta como una compilación de documentos e información existente, en gran parte disponible en Internet. Por ello, en las diferentes secciones se hace mención la fuente principal desde donde se ha extraído la información.

Participantes:

CAZALAC (G. Soto, M. Soto, J. Núñez)

INIA (F. Meza)

Junta de Vigilancia Río Limarí, Grande y Afluentes (M. Muñoz)

CEAZA (N. Krestchmer)

ULS (P. Alvarez, R. Oyarzún)

II. CASO DE ESTUDIO

2. Contexto general de la zona de estudio

2.1. Geografía física (Tomado de CEAZA, 2005; Baldessari, 2007; Gutiérrez, 2007)

La provincia del Limarí, ubicada entre los 30°20' y 31°15' latitud sur y entre los 70°30' y 71°49' longitud oeste, posee una superficie de 1.333.557 há (Fig. 8). Desde el punto de vista administrativo, el territorio está dividido en 5 comunas. La capital provincial es Ovalle. Para los fines de este documento, la Provincia del Limarí será tratada como una cuenca (considerando la similitud de sus límites).

La cuenca hidrográfica del río Limarí está ubicada en la IV Región de Coquimbo, se sitúa entre los valles de los ríos Elqui por el norte y Choapa por el sur. Se extiende aproximadamente entre los 30°15' y 31°20' de latitud sur, abarcando una superficie aproximada de 11.800 km².

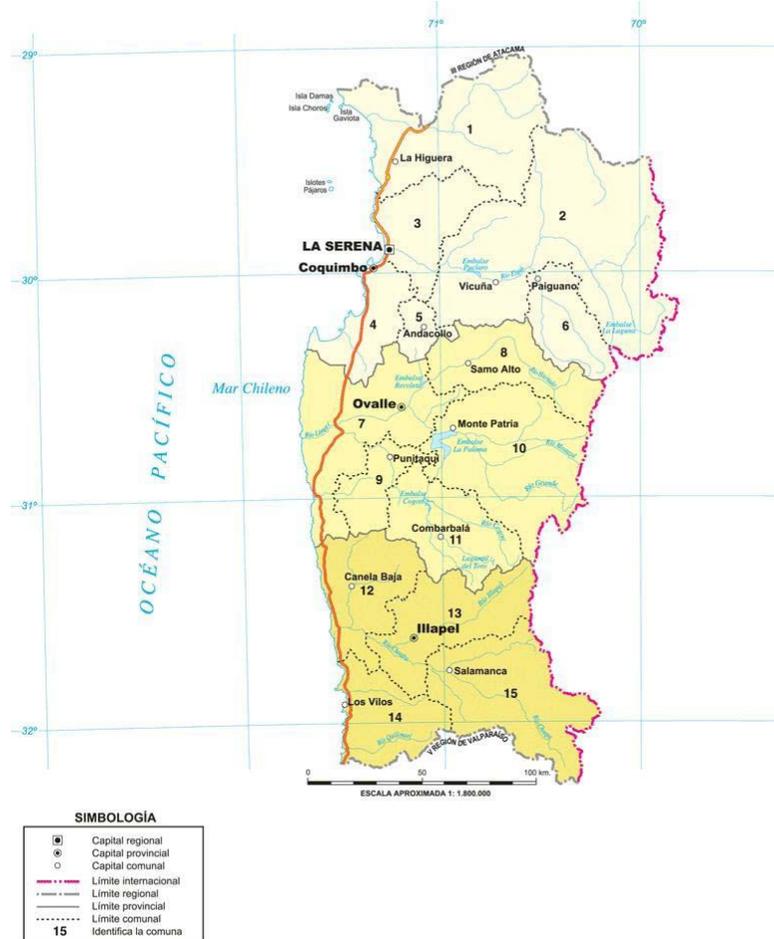


Figura 8. Ubicación de Limarí.

El río Limarí se forma por la unión de los ríos Grande y Hurtado, de los cuales el primero tiene una hoya hidrográfica mayor. En efecto, el río Grande, que drena la parte sur de la cuenca hidrográfica del Limarí, tiene una hoya más de dos veces superior a la del Hurtado. Ambos ríos nacen en partes de la cordillera donde las cumbres alcanzan en promedio hasta los 4.500 m.s.n.m. y reciben una abundante precipitación nival.

El río Hurtado no tiene afluentes de importancia y constituye el único y gran dren de la parte norte de la cuenca del Limarí. En su curso inferior está emplazado el embalse Recoleta, con capacidad útil de 100 millones m³ (Mm³)

El río Grande recibe una serie de afluentes de importancia, entre los cuales cabe mencionar: el río Rapel (con sus afluentes Palomo y Molles), el río Mostazal y el río Guatulame (con sus afluentes Cambarbalá, Pama y Cogotí). El escurrimiento del Guatulame está regulado por el embalse Cogotí de 150 Mm³ de capacidad. En la confluencia del río Guatulame con el río Grande se encuentra el embalse La Paloma, con un volumen de regulación de 750 Mm³. Los ríos Grande y Hurtado se juntan

aproximadamente 4 km, aguas arriba de la ciudad de Ovalle. A partir de la confluencia de ambos toma el nombre de río Limarí, el que luego de recorrer alrededor de 60 km desemboca al mar en la localidad denominada Punta Limarí.

Entre la ciudad de Ovalle y su desembocadura, el río Limarí recibe dos afluentes de escasa importancia, ellos son los esteros Ingenio por el norte y Punitaqui por el sur, teniendo ambos sus orígenes en la cordillera de la Costa.

2.2. Aspectos socio económicos y culturales (población, economía) (Tomado de Parga et al. 2006 ; Krestchmer y Wendt, 2011)

La población en la Provincia de Limarí alcanza aproximadamente las 160.000 personas, siendo la principal ciudad Ovalle, con cerca de 100.000 habitantes.

En la provincia de Limarí los hogares en situación de pobreza alcanzan en el 2000 al 26,8% de los hogares. Esta condición se hace más aguda aún si consideramos que cerca del 50% de la población es económicamente activa. Según se aprecia en la Tabla 1, tal como ha aumentado la pobreza a nivel provincial, ha aumentado la indigencia entre los años 1998 y 2000.

Tabla 1. Niveles de Pobreza e Indigencia en Limarí

Comuna Provincia	1998		2000	
	Pobre (%)	Indigente (%)	Pobre (%)	Indigente (%)
Limarí	20,7	4,8	26,8	7,7
Ovalle	25,1	5,3	22,4	6
Río Hurtado	26,6	8,6	33,2	8
Monte Patria	27,8	9,8	29,3	12,6
Combarbalá	33,2	15,8	43,3	14,3
Punitaqui	36,2	6,6	35,3	13,2

Educación

El panorama educacional de la provincia de Limarí muestra un aumento de los años de escolaridad de la población, que en promedio alcanza a los 8 años, siendo las comunas rurales aquellas con menor nivel de escolaridad. La educación proporcionada por el Estado alcanza el 98% de los establecimientos educacionales de la provincia, de los cuales cerca del 9% corresponde a establecimientos particulares subvencionados (MIDEPLAN, 2000).

En su conjunto, estos establecimientos permiten tener una alta cobertura. Gracias a la alta cobertura y la cantidad de años de escolaridad, se ha logrado un bajo nivel de

analfabetismo el cual oscila entre un 15,9 y 6,2% siendo los valores más altos en las comunas con mayor población rural (INE, 2002).

La demanda universitaria de la provincia se encuentra cubierta por la presencia de sedes universitarias de la Universidad de La Serena y la Universidad Católica del Norte, las cuales se ven complementadas por la Universidad Hernando de Aguirre, de carácter privado, e institutos profesionales ubicados en la comuna de Ovalle.

Servicios básicos

La provincia posee sistemas de agua potable que están controladas por la empresa Aguas del Valle S.A. en las ciudades y localidades más grandes y en algunas localidades más pequeñas que clasifican como rurales. El resto del abastecimiento provincial, se logra por medio de diversos Comités de Agua Potable Rural organizadas por las mismas comunidades conectadas al sistema, bajo la tuición de Aguas del Valle S.A. Sin embargo, no es posible lograr una cobertura absoluta y muchas localidades aisladas y dispersas deben abastecerse por medio del agua proporcionada por norias, pozos o canales.

El sistema de alcantarillado y tratamiento de aguas servidas, manejados también por la empresa Aguas del Valle S.A., cubre las mismas unidades geográficas que cubre la red de agua potable, con excepción de algunas localidades de carácter rural. Las coberturas de los sistemas de agua potable y alcantarillado se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Niveles de cobertura de agua potable y alcantarillado en Limarí.

Comuna Provincia	Agua potable	Alcantarillado
Limarí	78,1	63,8
Ovalle	85,7	75,4
Río Hurtado	78,4	45,8
Monte Patria	58,6	50,6
Combarbalá	58,2	24,7
Punitaqui	33,4	34,9

Principales actividades económicas

Agrícola: es la actividad de mayor importancia económica de la provincia. Los principales cultivos de la provincia son los frutales, que ocupan un 34% de la superficie apta para la agricultura, seguido de cultivos anuales, con un 24,5% y las viñas viníferas con un 21,5%.

Ganadera: el único grupo que ha tenido crecimiento es el caprino. El último censo agropecuario indica la existencia de 148.473 cabezas (INE, 1997). Este grupo experimentó un auge muy importante, puesto que es una tipo de animal que puede utilizar las praderas retrógradas presentes en la provincia.

Industrial: en la provincia la actividad industrial es menor y se encuentra asociada principalmente a empresas pisqueras.

Minería: en la provincia la actividad minera es dispersa, destacando por su envergadura sólo la minera Panulcillo, con producciones marginales dentro de la región, emplazada en terrenos del seco (INIA, 2004).

3. Diagnóstico Ambiental del Sistema Hídrico Subterráneo

3.1. Modelo hidrogeológico local

Geología, geomorfología, suelos (Tomado de Oyarzún y Alvarez, 2001; CEAZA, 2005)

- La geología de esta provincia incluye la presencia de rocas cristalinas (ígneas y metamórficas) paleozoicas tanto en la faja costera como en la faja andina, con predominio de formaciones cretácicas volcánicas o volcano-clásticas con intercalaciones sedimentarias marinas (Cretácico inferior) o continentales (Cretácico superior-Terciario inferior) en la parte central que ocupa la mayor extensión de su territorio. Estas formaciones están cortadas por intrusivos graníticos también de edad cretácica o terciaria, lo que genera zonas de contacto y alteraciones hidrotermales que aportan mineralización de cobre, oro, hierro, manganeso y mercurio. También dicho efecto de contacto o alteración es responsable de la formación de yacimientos de dos piedras ornamentales: el lapislázuli (en la zona andina) y la combarbalita, en torno a la ciudad del mismo nombre.

Una gran zona de falla, situada en la continuación de la Falla Vicuña, separa la cordillera andina de la parte central del territorio. Por otro lado, y como es propio de la región tectónica compresiva de los Valles Transversales, no hay una separación clara entre la zona central y la "Cordillera de la Costa".

Finalmente, un rasgo característico de esta provincia es la amplia distribución de las terrazas de sedimentos marinos y continentales del Terciario superior y Cuaternario, en particular al W y NW de Ovalle y al S de la bahía de Tongoy .

El ya antiguo pero excelente trabajo de H. Thomas (1967) "Geología de la Hoja Ovalle", Boletín N° 23 del Instituto de Investigaciones Geológicas, 58 p y mapa geológico 1:250.000, sigue siendo el principal referente sobre la geología regional de la provincia de Limarí.

Con respecto a la geomorfología, se distinguen las siguientes unidades:

a) La Alta Montaña: corresponde a la Cordillera de Los Andes. Ocupa la posición extrema oriental de la región y se distingue por sus alturas, su capacidad de retención nival y por la ausencia de volcanismo cuaternario. Sus cumbres superan los 3.500 m, alcanzando sobre la frontera chileno-argentina los 6.000 m de altitud.

b) La Montaña Media: agrupa todos aquellos relieves cuya altura no supera los 3.000 m.s.n.m. y está separado de la Cordillera de los Andes por la Falla de Vicuña. Aparece

como un relieve desmembrado y discontinuo, debido a la intensa disección fluvial a que ha estado sometido. El límite occidental de la unidad queda demarcado por la franja litoral y los relieves asociados a ella. Por lo general, los cursos de agua que se originan en estos relieves no logran acumular recursos hídricos suficientes como para escurrir permanentemente o para construir valles con depósitos sedimentarios y sistemas de terrazas.

c) La franja litoral: en este ambiente se inicia el dominio de las terrazas de sedimentación marina. Los Altos de Talinay presentan un conjunto de plataformas de abrasión marina que se correlacionan con los niveles de sedimentación de las bahías de Coquimbo y Tongoy. Estas terrazas litorales limitan hacia el este con macizos de varios cientos de metros separados unos de otros por quebradas que han formado los cursos de agua en su trayecto para alcanzar el mar.

d) Los Valles Fluviales Transversales: su forma es producto de la actividad de las aguas corrientes, con alturas que no superan los 300 m en su curso inferior. Estos valles fluviales se caracterizan por presentar, en sus cursos medio e inferior, un completo sistema de terrazas que corresponden a las superficies de sedimentación marina descritas anteriormente. De esta forma, estas terrazas se correlacionan con los cambios sufridos por el nivel del mar durante el Cuaternario.

En relación a los suelos, se puede señalar que en la cuenca del Río Limarí es posible encontrar distintos tipos de suelos como consecuencia principalmente de su diferente ubicación y materiales parentales.

En la parte central de la Provincia del Limarí predominan los suelos pardocalcálicos, de pH neutro o ligeramente alcalino. En el fondo de los valles y sus terrazas alledañas se desarrollan suelos donde la salinidad no tiene carácter restrictivo, representando un buen potencial desde el punto de vista agrícola. Predominan los limos y sedimentos recientes en contraposición a los suelos de las terrazas superiores que son más arcillosos.

Los suelos que se han formado en las terrazas más bajas y en la caja del Río Limarí son poco evolucionados, de reducida profundidad y presentan limitaciones para el cultivo a causa de su baja fertilidad natural, siendo el nitrógeno el elemento crítico. Aquellos suelos formados a partir de los depósitos antiguos de las terrazas altas, han alcanzado un mayor grado de evolución y sus características presentan una gran diversidad espacial. Sin embargo tienen como característica general un alto contenido de arcilla, lo que les hace aparecer como densos y por lo tanto con limitaciones para su manejo.

Estos suelos tienen profundidades variables, pero en términos generales pueden ser definidos como moderadamente profundos. Su fertilidad natural varía de baja a media y presentan problemas para la penetración de las raíces, por la presencia de lentes de arcilla y de un hardpan calcáreo. Esta capa endurecida aparece a profundidades que varían entre los 30 y 70 cm. La misma textura fina impone condiciones de drenaje interno deficiente en la mayoría de los casos.

Caracterización hidroclimatológica a escala local

La inversión térmica que caracteriza a esta zona y a la Región de Coquimbo en general, limita los movimientos verticales de aire generándose un régimen árido con escasas precipitaciones que siguen un patrón típicamente mediterráneo de lluvias, es decir, una acumulación de lluvias superior al 60% en los meses de invierno, llegando a ser casi

nulas en verano. Las precipitaciones anuales están comprendidas entre los 70 mm por el norte y los 275 mm por el sur para toda la región.

La exposición de las laderas modifica notablemente el régimen hídrico, existiendo una considerable influencia marina en las laderas situadas a sotavento, lo que incide en la deposición de rocío o condensación de neblinas sobre la vegetación.

Cabe señalar que la DGA cuenta con 13 estaciones pluviométricas dentro de esta cuenca, cuyos registros permiten contar con series históricas de hasta 25 años de mediciones para algunos casos (1980-2004). Estas estaciones se ubican entre los 410 y 2.020 m.s.n.m., circunscribiéndose a los ríos Hurtado, Grande, Guatulame y Limarí.

El análisis anual de las precipitaciones indica que en las estaciones situadas entre los 1.020 y 1.350 m.s.n.m. (Las Ramadas, Tascadero y Tulahuén) se concentra la mayoría de las precipitaciones superiores a 500 mm. En cambio en las estaciones del sector medio y bajo de la cuenca del Río Limarí, las lluvias sólo alcanzan valores entre los 300 a 500 mm/año en años lluviosos (bajo la influencia del Fenómeno El Niño). En sectores puntuales (centro-sur) las precipitaciones pueden alcanzar incluso mayores registros (600-700 mm/año). Por otra parte el análisis mensual de las precipitaciones indica una mayor concentración en los meses de mayo (12%), junio (24%), julio (37%) y agosto (16%).

- Humedad: La humedad relativa es bastante estable durante el año, registrándose un promedio anual del 85% en los sectores litorales. Sin embargo, hacia los valles interiores ésta disminuye hasta un 50%, sobre todo en los cursos altos de los valles.

La tasa anual de evaporación fluctúa de 1.000 mm en el litoral a 1.600 mm al interior de la cuenca, registrándose valores de evapotranspiración de 1.400 mm en las áreas cordilleranas.

La recarga de los acuíferos proviene de diversos factores. Los factores más importantes corresponden al aporte por precipitaciones, a las infiltraciones desde los ríos y al riego, dado por un alto desarrollo de la agricultura. Otras entradas de menor importancia corresponden a los aportes subterráneos de quebradas tributarias, que forman pequeños acuíferos en contacto con el acuífero principal y son muy difíciles de evaluar.

Si bien los factores mencionados corresponden a fuentes de recarga, la recarga neta al acuífero es menor, debido a pérdidas por evapotranspiración, por escorrentía y por consumo de las plantas.

Unidades hidrogeológicas (Tomado de CEAZA, 2005; DGA, 2008)

Modelo Hidrológico Conceptual Básico de la Cuenca

a) Tipos litológicos presentes y sus propiedades hidráulicas

1.- Rocas cristalinas: Corresponden a rocas graníticas intermedias (granodioríticas) de edad paleozoica a terciaria y a rocas metamórficas paleozoicas. Estas rocas poseen solamente permeabilidad secundaria, debido a fallas y a planos de diaclasa. En algunos casos, la presencia de diques que rellenan fracturas en rocas graníticas contribuye a incrementar esa permeabilidad. En la cuenca de la Rinconada de Punitaqui (a unos 25 km de la costa) el agua en fracturas en rocas graníticas provee flujos del orden de L/minuto y alimenta una agricultura de cítricos de mediana importancia. En la Hoja Ovalle (1968) (al W de long. 70°30') los afloramientos de rocas cristalinas ocupan alrededor de un 30% de la superficie.

2.- Rocas estratificadas mesozoicas y del Terciario inferior: Corresponden mayoritariamente a rocas volcánicas efusivas, rocas piroclásticas y rocas sedimentarias, estas últimas constituidas mayoritariamente por clastos de origen volcánico. También existen afloramientos de rocas carbonatadas y de sedimentos marinos, aunque su superficie es minoritaria. Al Norte y Sur de Samo Alto afloran también areniscas amarillas depositadas en cuencas lacustres con actividad volcánica, que presentan horizontes con manganeso. Las rocas estratificadas presentan tres tipos de permeabilidad. Una primaria, asociada a la granulometría y poros originales de los sedimentos o bien a las estructuras depositacionales de las rocas volcánicas (vesículas, tubos de degasificación, estructuras brechosas por flujo en estado transicional líquido-sólido, etc.). A ella se agregan dos secundarias. La primera, constituida por la disolución de minerales como calcita o yeso, formados durante los procesos de metamorfismo de bajo grado o alteración hidrotermal que afectan a las rocas. Cuando esos minerales son abundantes, pueden llegar a generarse especies de "micro-karst" que producen elevada permeabilidad local. Una segunda permeabilidad secundaria está dada por los planos de fractura (fallas y diaclasas) así como por los planos de estratificación. Naturalmente, su relación geométrica con el gradiente hidráulico reviste importancia respecto a su efectividad. Es probable que la permeabilidad de las rocas estratificadas y su rol en el flujo hídrico hayan sido subestimados. Ello en cuanto pueden jugar un rol importante en la transferencia "retardada" de las precipitaciones (nieve o agua lluvia) al sistema de drenaje superficial. Por otra parte, su interacción química con el agua puede ser también importante, por los minerales solubles (principalmente secundarios) que ellas contienen. Su porcentaje de afloramientos en la Hoja Ovalle se estima en un 55%.

3.- Sedimentos de terrazas y planicies aluviales: La cuenca del Río Limarí presenta extensos afloramientos de terrazas, los que se presentan al W de Ovalle, en forma de un abanico que se abre hacia el Oeste, hasta su límite con la serranía costera granítico-metamórfica. Conforme a la carta de Thomas (Hoja Ovalle) se trata de terrazas constituidas por sedimentos continentales cuaternarios. Sin embargo, al N de la divisoria que controla al Estero Socos, predominan los afloramientos de terrazas marinas de edad Terciario superior-Cuaternario. La granulometría de las terrazas continentales cuaternarias es bastante homogénea: conglomerados bien redondeados de diámetro centimétrico a decimétrico, con matriz arenosa-limosa. Se trata, en consecuencia, de materiales permeables, que pueden incluir algunos contenidos salinos en su matriz. En cuanto a los sedimentos aluviales de los actuales cursos fluviales, ellos representan una escasa proporción de los afloramientos, en especial en los afluentes del río Limarí. En consecuencia, ellos constituyen una especie de "fina tubería" por la cual circula el flujo superficial y subterráneo, íntimamente asociados. En total, las terrazas y sedimentos aluviales activos ocupan alrededor de un 15% de la parte de la cuenca del Río Limarí, comprendida en la Hoja Ovalle (vale decir, al W de 70°30'W)

éstas. En la clasificación de las aguas según Piper, las aguas superficiales y subterráneas del Río Limarí y Estero Punitaqui corresponden a la misma clasificación de cloruradas cálcicas. Lo mismo ocurre en el Estero El Ingenio, donde aguas de ambos niveles clasificaron dentro del tipo de las sulfatadas cálcicas. El Río Grande, también presenta las mismas clasificaciones como bicarbonatadas cálcicas, tanto aguas superficiales como subterráneas. Estas similitudes en la clasificación apoyan la hipótesis de interacción entre aguas superficiales y subterráneas. La excepción la constituye Río Hurtado que exhibe una clasificación diferente en cada componente hidrológico, siendo sus aguas superficiales bicarbonatadas cálcicas, y las del acuífero sulfatadas cálcicas.

En cuanto a los principales procesos y/o factores encontrados que determinan las características químicas en la cuenca destaca: el efecto Panulcillo, debido a la presencia de sus piscinas evaporadoras (sin revestimiento durante sus años de funcionamiento). Ello ha permitido que soluciones con contenidos de sulfato infiltren hacia las aguas del Estero El Ingenio, provocando una alteración importante a lo largo de toda la cuenca.

Otro factor importante en la cuenca, es la influencia de las terrazas salinas, en la composición de las aguas tanto del Estero El Ingenio, Estero Punitaqui y al final de la subcuenca del Río Limarí. Esto en directa relación con las altas concentraciones salinas (Ca, Na, Cl, etc.) encontradas al final de la cuenca. También, estas altas concentraciones pueden deberse a que en este lugar la cuenca se abre considerablemente, provocando una evaporación de las aguas lo que favorece el aumento de concentraciones de sales. Las Figuras 10 y 11 muestra en forma resumida las principales características hidroquímicas de aguas subterráneas en la parte media-baja de Limarí.

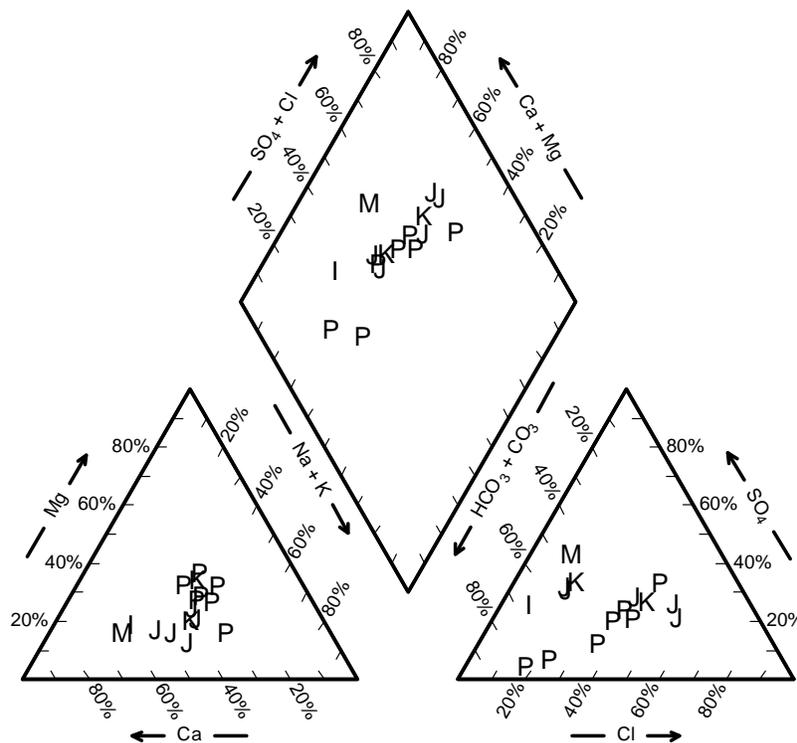


Figura 10. Diagrama de Piper para aguas subterráneas. ■ Grande; ◆ Hurtado; ▲ Estero El Ingenio; ● Limarí; ★ Punitaqui.

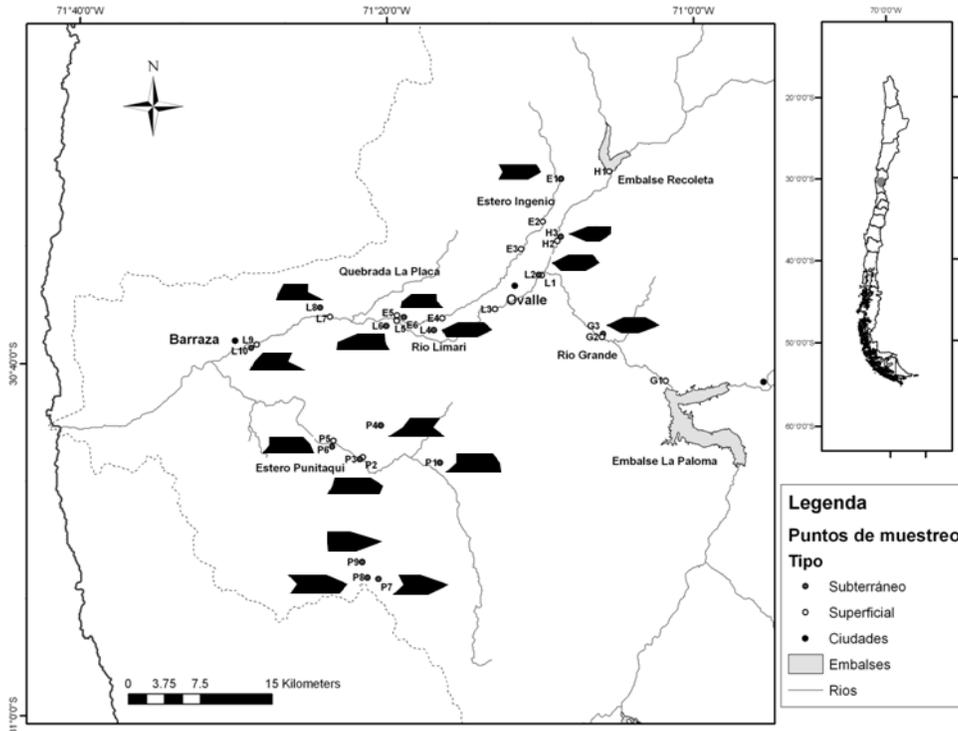


Figura 11. Diagrama de Stiff en aguas subterráneas.

3.2. Oferta y demanda de aguas subterráneas (Tomado de DGA, 2008)

- Oferta (recarga):

La estimación de la recarga total al acuífero se realizó con dos metodologías diferentes, una para cuencas cordilleranas o cabeceras de cuenca, y otra para cuencas intermedias. Esta sectorización se debe principalmente en base a la cantidad de superficie con depósitos sedimentarios no consolidados presentes en la cuenca, factor que determina básicamente las unidades hidrogeológicas presentes en el sector y la cantidad de cultivos.

Para las cabeceras de cuenca se ha estimado que la recarga proviene básicamente de la precipitación, siendo despreciables los aportes por riego u otras fuentes. Esto se justifica dado que las cuencas de cabeceras presentan escasos depósitos sedimentarios, los que se ubican principalmente en los cursos de los ríos. Esto determina que las áreas de cultivo, en comparación con la superficie total de la cuenca, sean marginales. Esto, sumado a la alta pluviosidad de la zona y al hecho que no existen volúmenes de regulación importantes, hace que las recargas por riego en esta zona puedan considerarse como despreciables.

Por otro lado en las cuencas intermedias, al disminuir las pendientes medias se observa mayor

cantidad de relleno lo que se asocia directamente a acuíferos más extendidos, de mayor profundidad, y mayores superficies dedicadas a la agricultura. Considerando además el sistema de riego La Paloma, que asegura con un 85% de probabilidad el riego para las zonas ubicadas bajo los embalses Recoleta, Cogotí y La Paloma, donde la pluviosidad es más baja, se tiene que el mayor aporte de recarga en esta zona está dada por el riego. Así entonces, la magnitud de recarga neta en las cuencas intermedias se estima que se debe a dos aportes principales, la recarga por precipitación y la recarga por riego.

Para el primer caso, el de cuencas cordilleranas, se entrega en la Tabla 3 la estimación existente.

Tabla 3. Estimación de recarga media (precipitación) en cuencas cordilleranas de la zona de Limarí.

Sector	Pp Media mm	Recarga l/s
Río Hurtado	268,73	193,5
Río Ponio	262,60	41,4
Río Rapel	485,00	127,4
Río Grande	390,28	288,4
Cogotí	320,10	76,6
Combarbalá	320,72	41,1
Río Pama	320,92	45,0
Quebrada Grande	298,58	23,7

De igual forma, se presenta a continuación la estimación realizada en relación a la recarga (precipitaciones y/o riego) en las zonas (subcuencas) medias a bajas de la cuenca del Limarí

Tabla 4. Recarga en la zona media y baja de Limarí.

Nombre	Recarga por Pp l/s	Recarga por riego l/s	Recarga Total l/s	Recarga Total [m ³ /año]
Río Hurtado	193,5	-	193,5	6.102.216
Río Ponio	41,4	-	41,4	1.305.590
Río Rapel	127,4	-	127,4	4.017.686
Río Grande	288,4	-	288,4	9.094.982
Cogotí	76,6	-	76,6	2.415.658
Combarbalá	41,1	-	41,1	1.296.130
Río Pama	45,0	-	45,0	1.419.120
Quebrada Grande	23,7	-	23,7	747.403
Higuerilla	21,1	-	21,1	665.410
El Ingenio	71,0	56,6	127,6	4.023.994
Río Limarí	129,0	456,5	585,5	18.464.328
Guatulame	120,6	117,4	238,0	7.505.568
Punitaqui	325,8	416,9	742,7	23.421.787
Limarí Desembocadura	16,9	-	16,9	532.958

- Demanda:

En la Tabla 5 se muestra la demanda de agua subterránea para cada sector hidrogeológico

del valle del río Limarí, en términos de uso previsible equivalente a los derechos otorgados al 31 de julio de 2008. La columna 1 muestra la demanda comprometida de los derechos de agua al 31 de julio de 2008, en tanto, la columna 2 muestra la demanda total de los derechos a la misma fecha. Se entiende como demanda comprometida a la suma de todos los derechos otorgados y en trámite en términos de usos preVISIBLES, cuya fecha de ingreso es anterior al último derecho aprobado de acuerdo al articulado permanente del Código de Aguas.

Tabla 5. Demanda de aguas subterráneas, cuenca del Limarí

Nombre	Demanda Comprometida [m ³ /año]	Demanda Total [m ³ /año]
Río Hurtado	1.533.674	2.130.398
Río Ponio	184.486	203.722
Río Rapel	298.172	581.681
Río Grande	3.588.796	3.970.603
Cogotí	2.051.101	3.654.007
Combarbalá	1.965.161	2.899.541
Río Pama	2.637.670	3.803.241
Quebrada Grande	867.082	2.124.548
Higuerilla	719.652	1.016.090
El Ingenio	17.024.173	21.021.535
Río Limarí	23.971.800	27.396.855
Guatulame	14.337.495	18.683.534
Punitaqui	36.412.900	50.112.091
Limarí Desembocadura	35.320	154.368

De la relación recarga vs. derechos comprometidos, se advierte que en los sectores, Combarbalá, Río Pama, Quebrada Grande, Higuerilla, El Ingenio, Río Limarí, Guatulame y Punitaqui, los derechos de agua subterránea comprometidos superan la capacidad de recarga del acuífero, por lo que no es posible otorgar en estos sectores, nuevos derechos definitivos de aprovechamiento de agua subterránea.

3.3. Riesgo de contaminación de aguas subterráneas (Tomado de Espinoza, 2005).

El término *vulnerabilidad* fue introducido por Margat (1968), y desde entonces se han planteado numerosas definiciones, sin llegar a una completamente aceptada. Entre éstas, se pueden distinguir dos corrientes: una que sólo considera las propiedades del acuífero, sin considerar las características de los contaminantes (vulnerabilidad intrínseca) y la otra considera tanto las características del medio como las del contaminante (vulnerabilidad específica).

Foster e Hirata (1991), plantean el concepto de vulnerabilidad como la susceptibilidad del agua subterránea a ser afectada adversamente por una carga contaminante aplicada en la superficie. Al hablar de carga contaminante aplicada en la superficie se desprende que se refieren sólo a contaminación antropogénica. Carbonell (1993), la define como la tendencia de los contaminantes a localizarse en el sistema de agua subterránea luego de ser introducidos en el sistema más somero. Dicho autor considera de esta manera sólo la

influencia de los contaminantes, dejando de lado el medio saturado. Vrba y Zaporozec (1994), se refieren a la vulnerabilidad como una propiedad intrínseca del sistema de agua subterránea que depende de la sensibilidad del mismo a los impactos humanos y naturales. Según Custodio (1995), la vulnerabilidad se puede definir como la incapacidad del sistema para absorber las alteraciones, tanto naturales como artificiales. Finalmente, en el "Manual para la aplicación del concepto de vulnerabilidad de acuíferos establecido en la norma de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas, Decreto Supremo nº46 de 2002", desarrollado en Chile, se establece que la vulnerabilidad corresponde a la susceptibilidad de un acuífero con respecto a la velocidad a la que un contaminante aplicado en superficie puede migrar hasta la zona saturada de un acuífero.

Así como existen diversas definiciones para este concepto, también se encuentran diversos métodos para determinarla. Según National Academy Council (1993), existen tres enfoques generales para abordar el problema de vulnerabilidad: métodos de índices y superposición, modelos de simulación y modelos estadísticos. Los métodos más sencillos de aplicar corresponden a los de índices y superposición, los cuales le asignan puntajes a distintos atributos de la zona no saturada, que se ponderan entre sí y se suman. Los modelos estadísticos o de monitoreo se aplican después de que se ha producido la contaminación y su principal función es predecir la concentración futura de los contaminantes. Por último, los modelos de simulación son modelos analíticos de transporte de contaminantes, pero debido a la gran cantidad de parámetros que requieren son más difíciles de aplicar.

Durante los últimos 10 años se han desarrollado en Chile diversos estudios con el fin de evaluar la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos. En la mayoría de ellos se ha utilizado el método GOD, debido principalmente a su fácil aplicación y a los buenos resultados obtenidos.

La aplicación de las metodologías GOD y BGR en Limarí permiten señalar que los mayores valores de vulnerabilidad se presentan en los depósitos fluviales, mientras que los menores valores se encuentran asociados a acuíferos confinados y semiconfinados. Valores moderados de vulnerabilidad se relacionan con litologías heterogéneas, mayores profundidades del nivel estático y/o acuíferos cubiertos, condiciones que se presentan en los depósitos de terrazas aluviales. En el caso de vulnerabilidad en roca, los mayores puntajes se presentan en la zona de roca fracturada, debido a que en ella el agua probablemente ingresa al acuífero esencialmente a través de fracturas, por lo que la velocidad a la que el agua se desplaza es relativamente alta. A medida que aumenta la profundidad del nivel estático, el valor de vulnerabilidad pasa a moderado, y en las rocas que no presentan fracturas el valor de vulnerabilidad es bajo.

4. El contexto de lo rural

4.1. Usos del suelo (Tomado de CEAZA, 2005)

El 33% de la superficie de la Región de Coquimbo se encuentra en el valle del Limarí (1,3 millones de hectáreas), valores que otorgan a la provincia un gran potencial en cuanto a la agricultura y capacidad de riego y que permite proyectar la posibilidad de aumentar las superficies plantadas y/o sembradas. En esta cuenca se concentra el 48% de la superficie agrícola regional y un 70% de las exportaciones regionales; por ello las actividades productivas que se desarrollan en la zona requieren el desafío de establecer criterios

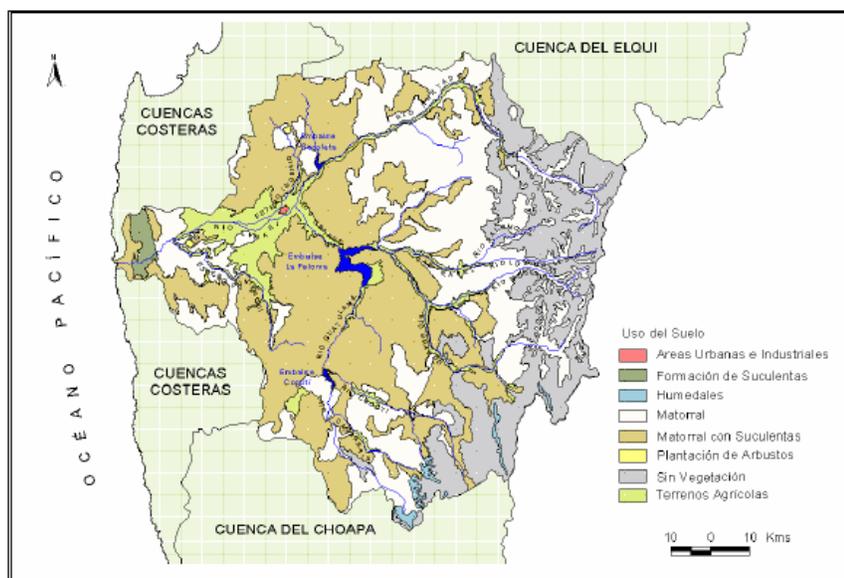
sociales y ambientales que contribuyan a un desarrollo sustentable y equilibrado de este territorio. La información referente a los usos del suelo en la cuenca se presenta en la Tabla 6 y en la Fig. 12:

Tabla 6. Clasificación de usos de suelo en la cuenca del río Limarí.

Cuenca del Río Limarí	Usos del suelo	Superficie (Ha)	Superficie destinada al uso (%)
1.180.000 Ha	Praderas	93	0,01
	Terrenos agrícolas y agricultura de riego	80.011	7
	Plantaciones forestales	0	0
	Áreas urbanas e industriales	396	0,03
	Minería industrial	<156	0
	Bosque nativo y bosque mixto	115	0,01
	Otros usos (*)	883.777	75
	Áreas sin vegetación	215.608	18

(*)Referidos a los siguientes usos: matorrales, matorral-pradera, rotación cultivo-pradera, áreas no reconocidas, cuerpos de agua, nieves-glaciares y humedales.

Fuente: CONAF-CONAMA catastro de Bosque Nativo



Fuente: Departamento de Hidrología, DGA.

Figura 12. Ocupación de suelo.

De acuerdo al Proyecto Paloma (1956), se estima que la superficie con 85 % de seguridad de riego corresponde a 53.000 ha. Dicha superficie ha sido utilizada por los usuarios de aguas en cultivos de ciclo corto (hortalizas, cultivos anuales y praderas) y especies permanentes como frutales y vides (frutales persistentes, caducos y vides).

De acuerdo al catastro frutícola de CIREN (2011), Catastro Vitícola de SAG (2007) y Censo Agropecuario 2006/2007 del INE (2007) se presenta en la Tabla 7 un cuadro resumen de superficies cultivadas con frutales y vides.

Tabla 7. Cuadro resumen, superficie por rubro (frutales) en Limarí

Rubro	Superficie(ha)
Frutales mayores	19256.7
Vides viníferas	1680
Vides pisqueras	6050.5
Frutales menores	2300
Total	29287.2

Como se observa, la superficie de frutales y vides de la cuenca del Limarí se aproxima a las 30.000 hectáreas. De dicha superficie, aproximadamente el 50% es ocupado por vides (para mesa, vino y pisco) y el otro 50% corresponde a frutales persistentes y perennes como paltos y olivos. La superficie de frutales obliga a regar permanentemente sin poder ajustar la demanda a la variabilidad de la oferta interanual. En consecuencia la superficie frutal es dependiente del abastecimiento seguro de agua de riego, de tal forma que las variaciones interanuales son manejadas por medio de la tecnología de riego (micro riego) y de la disminución o ajuste de la superficie de especies de ciclo corto.

3.2 Demandas sectoriales de agua

No existen mayores antecedentes respecto a esto

3.3 Actividades agropecuarias

- Principales cultivos (Tomado de CEAZA, 2005; Rhodos-CAZALAC-DGA, 2005)

La cuenca del Limarí cuenta con una superficie total de aproximadamente 1,2 millones de hectáreas de las cuales han sido cultivadas entre el 3 y el 5%. La superficie bajo cultivo ha variado históricamente desde la construcción y puesta en operación del Sistema Paloma, pero más destacable que el incremento total de superficie utilizada para cultivos es importante la evolución en la composición de los rubros existentes. En la Fig. 13 destaca el año 1997 que fue censado en un periodo de sequía sostenido de cuatro años (1993-1996). En dicho año el aporte regulado del Sistema Paloma fue utilizado mayoritariamente para abastecer los cultivos de frutales y vides que habían sufrido un incremento importante entre 1976 y 1997. También se puede observar que en el año 2007 la superficie cultivada total sufrió un incremento hasta más de 62.000 ha.

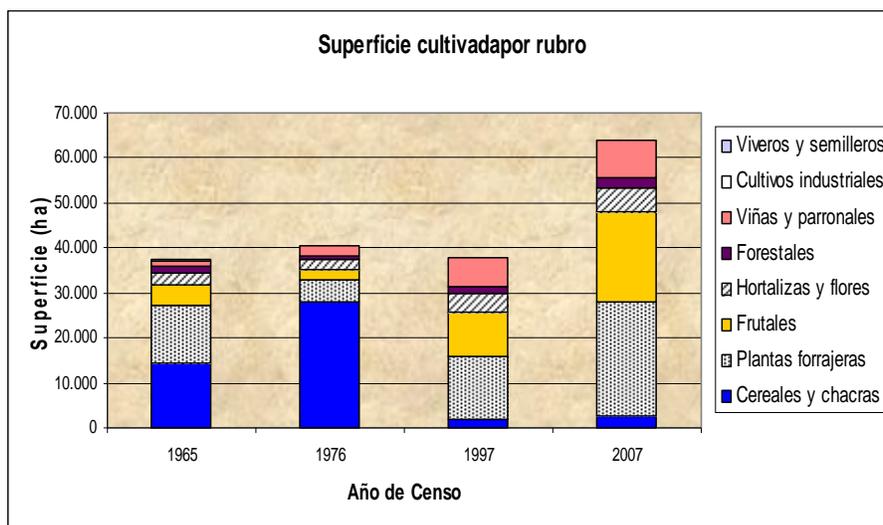


Figura 13. Evolución superficie por cultivo, Limarí

La composición de la superficie cultivada ha variado desde una alta participación de las especies anuales o de ciclo corto hasta menores niveles de participación a favor del incremento permanente de las vides y especies frutales (Figura 14).

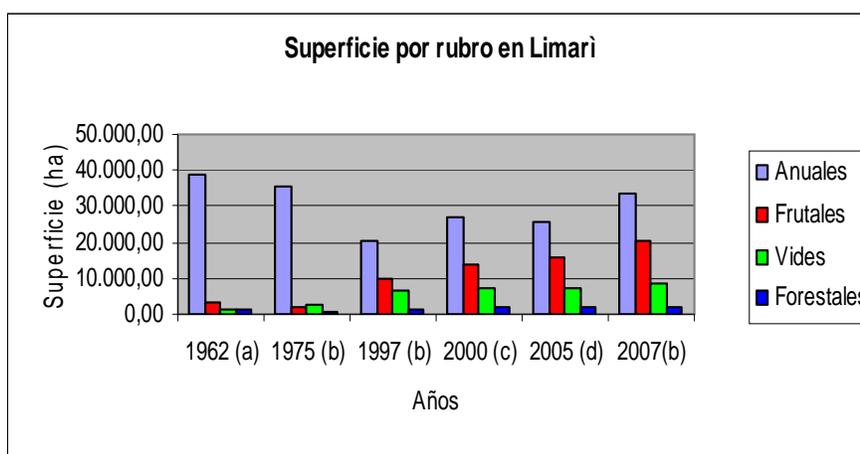


Figura 14. Evolución superficie por rubros, Limarí.

- Demandas de agua de los cultivos

Si se observa la figura 15 se puede ver que ha habido un aumento permanente de las especies que demanda permanente de agua, es decir vides y frutales que requieren seguridad de riego a escala interanual para el éxito de las inversiones. En este sentido en todas las comunas de la cuenca se produce un aumento, pero este alcanza los mayores valores en Ovalle y Monte Patria respectivamente.

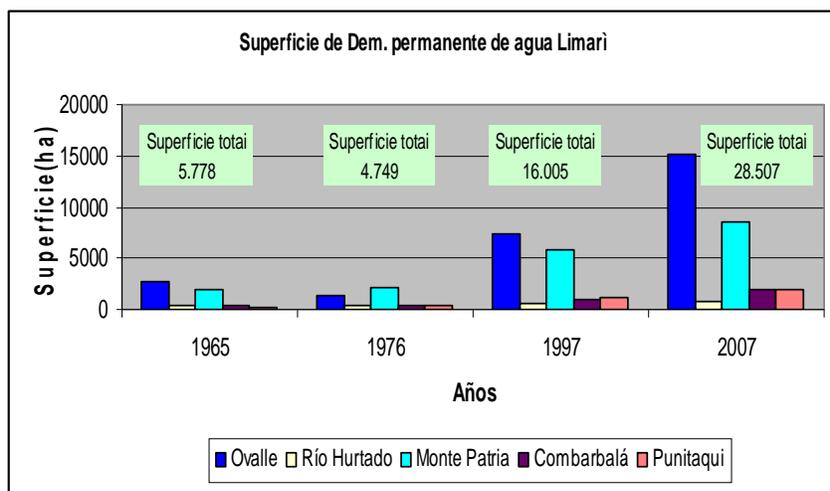


Figura 15. Evolución de la superficie permanente demandante de agua (Frutales)

La evapotranspiración potencial en la cuenca oscila entre 1100 y 1300 mm/año, siendo los valores menores aquellos asociados a las zonas de riego bajo los embalses del Sistema Paloma que corresponden principalmente a la comuna de Ovalle. Por el contrario, los valores mayores de ETo se asocian a la zona por sobre los embalses del Sistema considerando como límite superior el área precordillerana (1800 m.s.n.m.). La máxima demanda depende de la fenología y de la ETo, al respecto se puede considerar que la demanda neta promedio oscila entre 6000 m³/ha y 10000 m³/ha. Estos volúmenes pueden aumentar en función de la eficiencia de riego y de la eficiencia de conducción. Estas cifras explican aproximadamente la demanda anual de 320 millones de m³/temporada provenientes del Sistema Paloma (volúmenes regulados por embalses) y alrededor de 180 millones de m³/temporada provenientes de cauces naturales o aportes sin regulación de embalses. Las demandas máximas ocurren en los meses estivales (diciembre, enero, febrero), en tanto que los mínimos se presentan durante el periodo invernal cuando las especies caducas se encuentran en receso.

- Tecnologías de riego

En la Tabla 8 se presenta la distribución de los principales métodos de riego utilizados en la cuenca de Limarí. El principal método de riego utilizado es por surco, seguido de goteo y por tendido. De este modo, el mayor porcentaje de métodos de riego en la cuenca está asociado a bajos niveles de eficiencia.

Tabla 8. Métodos de Riego.

AREA DE RIEGO	Surcos	Tendido	Tazas	Bordes	Curva de nivel	Otro	Goteo	Goteo o Cintas	Aspersión	Micro Aspersión	TOTAL
	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha
Río Grande sobre Paloma	1086	388	1	3	4	0	874	6	17	2	2379
Río Mostazal	587	247	0	0	1	0	83	0	0	0	918
Río Rapel	1006	309	9	0	0	0	385	2	0	0	1710
Río Pama	223	520	0	0	0	0	0	0	0	0	743
Río Combarbalá	302	705	0	0	0	0	125	0	0	0	1133
Río Cogotí	615	262	0	0	0	0	410	0	0	0	1286
Canal Cogotí	579	165	2	0	0	0	1127	0	0	26	1899
Río Huatulame	124	50	7	0	0	0	2396	68	0	0	2646
El Palqui	366	0	0	0	0	249	1467	0	8	0	2089
Tamelcura	751	122	2	0	1	0	530	144	7	36	1592
Hurtado sobre Recoleta	914	769	7	0	0	0	23	0	0	1	1714
Hurtado bajo Recoleta	754	87	2	0	1	0	344	50	0	2	1241
Riego Recoleta y Qda Ingenio	6500	784	2	0	0	0	675	0	0	105	8066
Río Limarí	1497	1067	37	0	0	0	661	254	0	16	3532
Derivado Cogotí	3112	1425	10	0	0	0	1585	0	0	20	6153
Camarico	3286	1530	2	0	0	0	1745	0	0	29	6593
Punitaqui	123	93	6	0	0	0	125	0	0	0	347
TOTAL	21825	8522	87	3	7	249	12555	524	32	237	44040

En la Tabla 9 se presenta la superficie tecnificada para la cuenca del río Limarí. Existe una alta variabilidad en cuanto al porcentaje de superficie tecnificada, según aéreas de riego. La mayor superficie tecnificada se ubica en el río Huatulame (93%), mientras que la menor se ubica en río Mostazal (9%).

Tabla 9. Superficie de riego tecnificado

AREA DE RIEGO	Total Superficie	Total Superficie Tecnificada	Total Superficie No Tecnificada	%Sup.Tecn = Sup.Tecn / Sup.Total
	(Ha)	(Ha)	(Ha)	(%/1)
Río Grande sobre Paloma	2379	898	1481	0,38
Río Mostazal	918	83	835	0,09
Río Rapel	1710	387	1323	0,23
Río Pama	743	0	743	0,00
Río Combarbalá	1133	125	1007	0,11
Río Cogotí	1286	410	876	0,32
Canal Cogotí	1899	1153	746	0,61
Río Huatulame	2646	2465	181	0,93
El Palqui	2089	1723	366	0,83
Tamelcura	1592	717	875	0,45
Hurtado sobre Recoleta	1714	24	1690	0,01
Hurtado bajo Recoleta	1241	396	845	0,32
Riego Rec. y Qda Ingenio	8066	780	7286	0,10

- Fertilizantes y pesticidas utilizados

No existen mayores antecedentes respecto a esto.

5. Estrategias de gestión del agua subterránea

- Redes de Monitoreo (Tomado de DGA, 2008)

En la cuenca de Limarí existe una interesante red de monitoreo de niveles administrada por la Dirección General de Aguas (Fig. 16)

“probable” factibilidad de riego generando un mercado especulativo que finalmente sube los costos de la tierra y el agua.

Dado el monto y distribución de las precipitaciones, así como la geología y geomorfología de la zona de media montaña resulta frecuente el interés por perforar pozos y posteriormente solicitar un derecho de aprovechamiento de aguas subterráneas en depósitos aluviales recientes. En estas formaciones geológicas el interflujo puede ser bombeado directamente a la superficie provocando un “conflicto o interferencia” entre el derecho solicitado y aquellos superficiales preexistentes. En el caso de la cuenca del río Limarí este hecho afecta globalmente al territorio regado por el Sistema Paloma.

La problemática de la interferencia río-acuífero en cuencas con derechos superficiales constituidos tiene aspectos técnicos, jurídicos y organizacionales a considerar. En este caso la evaluación del porcentaje de interferencia respecto al caudal pasante del río frente al punto de bombeo constituye un elemento objetivo para sustentar una oposición.

Por lo anteriormente descrito resulta de interés mencionar aspectos generales relacionados con la interferencia río-acuífero en la cuenca del río Limarí. Así se evidencia la existencia de métodos y procedimientos de control para regular el acceso a la explotación del recurso hídrico en un sistema liberal.

Profundizando sobre el por qué se presenta esta situación, cabe mencionar tres aspectos principales: - el primero es que la posición geográfica de cualquier “caso” en la zona de influencia de las nueve organizaciones del Sistema genera un efecto sistémico desde el punto de vista organizacional, - el segundo es que posteriormente a un caso se generan otras solicitudes frente a las cuales el procedimiento de oposición o acuerdo constituye un “saber hacer” local, y en tercer lugar se evidencian en este tipo de conflictos las motivaciones y relaciones público privadas frente al “acceso” a los derechos de aprovechamiento.

La relación sociedad-recurso hídrico se establece en base a motivaciones que luego desencadenan procesos tecnológicos y sociales con consecuencias esperadas y en concordancia con las motivaciones originales. Los antecedentes permiten exponer a continuación las motivaciones y contraposiciones que evidencian la existencia de un “control de acceso a los derechos de aprovechamiento de agua” en un entorno jurídico y político liberal.

a.- Los solicitantes: desde este punto de vista existe un interés económico propio del entorno liberal en que se desarrolla la política agraria chilena. Bajo estas condiciones, la disminución de los costos de inversión en recursos naturales es un factor de seguridad sobre la rentabilidad. De acuerdo al código de 1981, los derechos de aprovechamiento son otorgados por acto de “autoridad”(DGA) a título gratuito, por lo tanto la constitución de un derecho de aprovechamiento de agua subterránea se comporta como un “sustituto” de las acciones de derechos superficiales que un inversionista debe comprar en el “mercado” circundante al lugar de la explotación.

En el límite geográfico del área de riego existe una zona de secano con un clima favorable, pero que sin embargo no cuenta con derechos de aprovechamiento. Esta sola condición disminuye los valores de la tierra. Como consecuencia existe la posibilidad de adquirir suelos baratos, sin riego pero que potencialmente pueden regarse con aguas

subterráneas lo que hace atractiva la alternativa de solicitar un derecho de aguas subterráneas.

Paralelamente, parece importante tener en cuenta que el derecho solicitado normalmente es permanente y continuo lo que de acuerdo al código de 1981 se entiende como una extracción durante todos los días del año en forma continua. Esta característica cobra importancia cuando se piensa además en la “seguridad de riego” que se asocia a un derecho de esta naturaleza en comparación a un derecho superficial que recibe un beneficio indirecto del embalse La Paloma pero que no regula la variabilidad interanual o estacional de los caudales.

También se puede incluir como motivación de los solicitantes las ventajas que ofrece esta forma de derecho puesto que en este caso no existe una “asociación” que regule ni organice la repartición del agua. Del mismo modo los costos de conducción superficial, su eficiencia y la mantención de un sistema de administración de derechos superficiales restan poder de decisión respecto al manejo y gestión de la propia inversión.

En conjunto con lo descrito, resulta posible la existencia de un proceso de especulación privada puesto que la constitución de un derecho permanente y continuo haría factible la explotación y la valorización de una inversión sobre suelos de “secano” regados con aguas subterráneas. Este tipo de externalidad, no descrita aún, provoca que algunos suelos de bajo valor que potencialmente pueden ser regados aumenten su valor.

b.- El Estado: el Estado representado por DGA tiene por función hacer cumplir lo establecido por el Código de Aguas tanto en la letra como en el espíritu. Así el espíritu liberal trasciende al marco reglamentario llevando al límite la relación “cosa-derecho”. Sólo argumentos como el daño a terceros o la finitud del agua (cosa) son argumentos considerados como válidos para detener la constitución o creación de un nuevo derecho.

En el contexto liberal la idea es que el acceso se logre por la vía del mercado. Por lo tanto mientras más derechos participen en éste y mientras más derechos potencialmente constituibles estén asignados, teóricamente las distorsiones del mercado desaparecerán. En sus fundamentos el agua puede ser considerada como un recurso finito sobre la cual se pueden constituir derechos también finitos. Resumiendo podría entenderse que la no finitud de los derechos o de la constitución de estos se podría considerar como un elemento distorsionador del mercado de los arriendos y/o compra-ventas de derechos.

c.- Los opositores (Organizaciones de regantes): estos corresponden a organizaciones con personalidad jurídica que reúnen a los propietarios de derechos de aprovechamiento. Los regantes ven en la constitución de derechos permanentes subterráneos una posible superposición de derechos de diferente naturaleza sobre la misma cosa (agua superficial). De acuerdo al parecer de los directores consultados (entrevistas a los Directores de la Junta de Vigilancia del río Limarí) la posición, las pendientes y una combinación de conocimientos empíricos los hace suponer que las aguas bombeadas son finalmente superficiales. La inestabilidad sobre los derechos afectaría patrimonialmente a los productores porque el valor de mercado de sus acciones es parte de su contexto económico y financiero, además de representar un bien insustituible en la empresa agrícola de zonas áridas. Esta idea toma aún más fuerza bajo el concepto del productivismo en un sistema gobernado por la demanda de frutas de climas templados y subtropicales (uvas, paltas, mandarinas).

Finalmente cabe mencionar que en la década del 2000 se produjo la “Declaración de Agotamiento” del río Limarí por lo cual la única forma de acceder al agua superficial pasó a ser la compra de volúmenes spot para la temporada o la compra de derechos de aprovechamiento superficiales. En consecuencia se produjo una presión importante sobre las aguas subterráneas y por ende sobre la constitución de nuevos derechos. En muchos casos se produjo la judicialización de los procesos de constitución en el marco de las motivaciones antes descritas.

6. Sistemas de información

No existen mayores antecedentes respecto a esto. Eso sí, en la página <http://www.sinia.cl/1292/w3-propertyvalue-12819.html> es posible acceder a información ambiental-territorial de la Región de Coquimbo.

7. Conclusiones

Como se advierte, la Provincia de Limarí es la zona agrícola más importante del Centro Norte de Chile, y se caracteriza por tener la más importante infraestructura de riego en Chile. Sin embargo, la fragilidad ambiental impuesta por el régimen climático, así como aspectos socio-económicos, limitan su desarrollo. Igualmente, existen aun vacíos importantes de información en relación al uso de insumos y aspectos medioambientales al nivel específico de cuenca.

Proponer ideas para las conclusiones según el contenido de la monografía

Referencias bibliográficas

Alvarez, P. 2005. Un estudio del viaje del agua: un enfoque agronómico y geográfico de la situación del manejo del riego en una zona árida de Chile (en francés). Tesis Doctoral, Universidad de Orleans, Francia. 298 pp.

Alvarez, P., Oyarzún, R. 2006. Interacción río-acuífero en zonas áridas: contexto legal y análisis de casos. VIII Congreso Latino Americano de hidrología subterránea (ALSHUD). Asunción, Paraguay.

Baldessari, R. 2007. Efectos naturales y antrópicos en la calidad de las aguas del Río Limarí y sus afluentes. 236 p.

CEAZA. 2005. Levantamiento de situación base para el Programa Territorial Integrado Cuenca Limarí. Informe Final. 122 p. y Anexos.

CONAMA, 2007. Estrategia nacional de gestión integrada de cuencas hidrográficas. Comisión Nacional del Medio Ambiente, Santiago, Chile. 59 pp.

DGA, 1986. Mapa hidrogeológico de Chile. Escala 1:2.500.000. Texto explicativo. Dirección General de Aguas, Santiago, Chile. 36 p. Disponible en http://bibliotecadigital.ciren.cl/gsdlexterna/collect/bdestudi/index/assoc/HASH6700.dir/DGA_054.pdf. Consultado el 23 de Agosto, 2011.

DGA. 2008. Evaluación de los recursos hídricos subterráneos de la cuenca del río Limarí. Informe Técnico SDT N° 268. 40 p.

Espinoza, C. 2005. Vulnerabilidad de los acuíferos en los ríos Limarí y Maule mediante las metodologías GOD y BGR. Memoria de Título, Geología, Universidad de Chile

INE. 2007. Censo Agropecuario y Forestal 2007. Disponible en http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/censos_agropecuarios/censo_agropecuario_07.php

Gutierrez, S. 2007. Informe de avance, consultoría técnica. Anteproyecto normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales de la Cuenca del Río Limarí. 163 p.

Jofré, E. 2011. Caracterización de la interacción agua superficial/agua subterránea poco profunda en la parte baja de la cuenca del Río Limarí, a través del uso de herramientas hidroquímicas e isotópicas. Memoria de Título, Ingeniería Civil Ambiental, Universidad de La Serena. 164 pp.

Kretschmer N., Wendt, A. 2011. Calculating the watershed sustainability index for the Limarí basin. Documento no publicado. 50 p.

Minagri. 2006. Lineamientos programáticos de la política agroalimentaria y forestal Chilena. Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile, Santiago, Chile. 28 p.

Oyarzún, R., Alvarez, P. 2001. Morfología de suelos de la cuenca de Talhuén del secano semiárido de la IV Region, Chile. Agricultura Técnica, 61 (4): 517-521.

Parga, F., A León, X. Vargas y R. Fuster. 2006. El índice de pobreza hídrica aplicado a la cuenca del río Limarí en Chile semiárido.. Eval. Usos del Agua en Tierras Secas de Iberoamérica, 12: 93-109.

RHODOS-CAZALAC-DGA. 2005. Aplicación de metodologías para determinar la eficiencia de uso del agua. Estudio de caso en la Región de Coquimbo. 540 p.