

EL ÍNDICE DE POBREZA HÍDRICA APLICADO A LA CUENCA DEL RÍO LIMARÍ EN CHILE SEMIÁRIDO

Felipe Parga (1), Alejandro León (2), Ximena Vargas (1), Rodrigo Fuster (2)

(1) Departamento de Ingeniería Civil. División de Recursos Hídricos y Medio Ambiente. Universidad de Chile - Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Blanco Encalada 2002 – 3^{er} piso. Santiago de Chile – Chile. fparga@ing.uchile.cl

(2) Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales Renovables. Universidad de Chile - Facultad de Ciencias Agronómicas. Santa Rosa 11.315, La Pintana. Santiago de Chile – Chile.

Resumen

Se aplicó un índice que permite orientar a los tomadores de decisiones en la búsqueda de una gestión más eficiente del recurso hídrico. Para ello, se estudió un índice denominado Índice de Pobreza Hídrica, WPI (por su sigla en inglés) desarrollado por el Centre for Ecology & Hydrology de Londres, el cual combina una serie de indicadores sectoriales con el objetivo de relacionar el nivel socioeconómico de una comunidad y la gestión del recurso hídrico.

El índice se aplicó en la cuenca del río Limarí (IV región de Coquimbo, Chile), escogiendo indicadores sectoriales que reflejan la situación actual del recurso hídrico en una zona árida de Chile. Los resultados obtenidos muestran que la provincia posee un manejo adecuado de los recursos hídricos, sin embargo, posee deficiencias en aspectos tales como la conservación del ambiente y una demanda por el recurso mayor a la oferta natural del río.

A escala comunal se observan diferencias en los resultados, principalmente entre la zona alta y baja de la cuenca por la variación de la calidad del recurso y la disminución en la disponibilidad de éste.

Este artículo complementa aquel que fuese publicado en el volumen XI El Agua en Iberoamérica en 2005.

Palabras claves: recursos hídricos, pobreza, indicadores, desarrollo sustentable, aridez.

Summary

The index used allows guiding decision makers in their search for a more efficient management of the water resource. For this purpose, the so called Water Poverty Index, WPI, developed by the Centre for Ecology & Hydrology in London, was studied. This index combines a series of sectorial indicators with the aim of relating the socioeconomic level of a community to water management.

The index was applied in the basin of the Limarí River (IV region of Coquimbo, Chile), choosing sectorial indicators reflecting the current situation of the water resource in an arid area of Chile. Results obtained show that the province performs a proper management of water resources, notwithstanding, it exhibits deficiencies in issues such as environmental conservation, and demand for water is higher than the natural river supply.

Differences in the results can be observed at communal scale, mostly between the high and low area of the basin, because of the variation in water quality and the reduction in availability of this resource.

This article complements that published in Volume XI of "El Agua en Iberoamérica" in 2005.

Keywords: water resources, poverty, indicators, sustainable development, aridity.

Introducción

El manejo de los recursos hídricos en zonas áridas y semiáridas es importante dada su escasez que hace vulnerable a la economía de una región, lo que se combina habitualmente con la fragilidad de los recursos físicos y la pobreza de la población.

Con el objetivo de comprender de forma integral las falencias y virtudes que existen en la gestión del agua en la zona semiárida de Chile, respecto del desarrollo sustentable, se adaptó y aplicó el Índice de Pobreza Hídrica (WPI), desarrollado por Sullivan, 2002 y Sullivan et al., 2002 del Centre for Ecology & Hydrology de Londres.

Este índice se aplicó en un estudio de caso en la provincia de Limarí (IV región de Coquimbo, Chile), y en las cinco comunas en que se divide la provincia (Ovalle, Monte Patria, Combarbalá, Punitaqui y Río Hurtado), con el objetivo de comparar las realidades entre éstas.

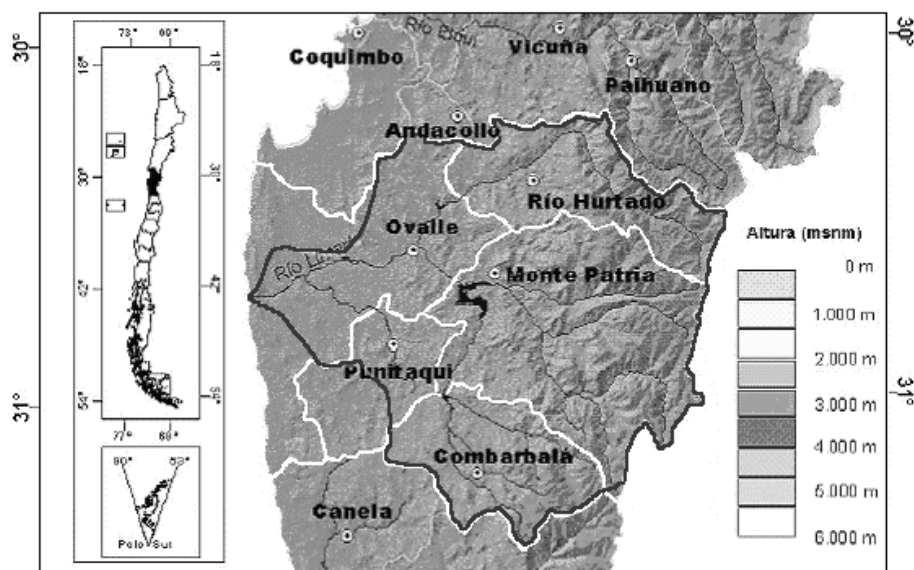
Los resultados del presente artículo son el producto de la aplicación del IPH en Chile. Anteriormente, en 2005, se publicaron en esta misma serie CYTED algunos aspectos preliminares de su aplicación en la cuenca del Río Limarí. En esta ocasión presentamos al lector algunas consideraciones generales del área de estudio y la formalización definitiva del IPH adaptado a la realidad del norte chileno.

Caracterización de la zona de estudio

Ubicación y población

La hoya hidrográfica del río Limarí (Figura 1), de 11.760 km² de superficie, se ubica entre las latitudes 30° 15' a 31° 30' y las longitudes 70° 15' y 71° 45', en la región de Coquimbo.

Figura 1. Mapa de la provincia de Limarí.



Líneas blancas delimitan las 5 comunas que conforman la provincia.

Línea negra delimita la cuenca del río Limarí.

Fuente: León et al., 2005.

Los límites de la cuenca del río Limarí prácticamente coinciden con los límites de la provincia del mismo nombre. La provincia se subdivide en cinco comunas, cuya superficie y población se presentan en la Figura 2.

Figura 2. Población y superficie de la provincia de Limarí y sus 5 comunas.

Comuna Provincia	Superficie (km ²)	Población (hab)	Urbana (hab)	Rural (hab)
Limarí	13.553,2	156.158	96.239	59.919
Ovalle	3.834,5	98.089	73.790	24.299
Monte Patria	1.895,9	30.276	13.340	16.936
Combarbalá	4.366,3	13.483	5.494	7.989
Punitaqui	1.339,3	9.539	3.615	5.924
Río Hurtado	2.117,2	4.771	0	4.771

Fuente: MIDEPLAN 2003

Clima

La cuenca del río Limarí se extiende sobre los límites de las regiones semidesérticas (que se presentan entre las latitudes 26° sur y 31° sur) y la región mediterránea (entre las latitudes 31° y 28° sur).

La precipitación promedio para la cuenca es de 200 mm/año con una alta variabilidad interanual y que se concentran durante los meses de invierno. La distribución espacial de las precipitaciones muestra un gradiente que decrece de sur a norte (CONAMA, 2000). Además, las precipitaciones anuales en la alta cordillera alcanzan valores que pueden triplicar los valores de zonas próximas a la costa.

El régimen de temperaturas medias diarias, a una altura aproximada de 2.000 m.s.n.m., presentan una amplia variabilidad multianual, alcanzando valores que difieren hasta en 10°C de un año a otro. Las temperaturas medias anuales tienen un valor promedio de 15°C (Ferrando, 2003).

Recursos hídricos

Recursos hídricos superficiales. El río Limarí nace en la cordillera de Los Andes en sitios con nevazones abundantes y desemboca en el mar, transportando un caudal medio de 7,34 m³/s. Sus principales afluentes son el río Grande, el río Hurtado y el río Cogotí.

Los ríos de la parte alta de la cuenca poseen un régimen nival, con gran variación interanual de caudales. En las estaciones pluviométricas del curso medio de los ríos se observa ya un régimen mixto nivo-pluvial (Ferrando, 2003).

Durante los años lluviosos, ocurren algunas crecidas de invierno producto de la escorrentía inmediata procedente de la precipitación pluvial en las partes bajas de la cuenca. En ocasiones, durante prolongados períodos secos, las extracciones de agua para riego son suficientes para secar los cauces naturales en muchas zonas.

Esta cuenca está regulada por tres embalses que conforman el Sistema Paloma. Estos son los embalses Paloma, Recoleta y Cogotí, que en su conjunto poseen una capacidad máxima de almacenamiento útil de 1.000 millones de m³ destinados principalmente a distribuir adecuadamente en el tiempo los recursos de agua disponibles en la cuenca, para abastecer las necesidades de regadío de 48.000 has. (Ferrando, 2003).

Recurso hídrico subterráneo. En la cuenca existe una proporción considerable de territorio con potencial acuífero alto, como es el caso de la zona de Ovalle hacia la costa, sin embargo, existen zonas de explotación agrícola que presentan un potencial acuífero nulo, caso de Samo Alto (capital de la comuna de Río Hurtado).

Los principales sectores con potencial acuífero se encuentran en los valles del río Hurtado, río Mostazal y el río Huatulame en la parte alta de la cuenca, y el valle del río Limarí en Sotaquí y el valle del estero Punitaqui en la parte baja de la cuenca. Las transmisividades de estos valles indican valores comprendidos entre 300 y 900 m²/día y caudales específicos de bombeo alrededor de los 3 l/s/m. En general, la profundidad de los niveles freáticos es inferior a los 10m (INIA, 2004).

Calidad de las aguas. En general, la calidad natural del agua superficial es clasificada como buena. Sin embargo, la abundancia de metales es el parámetro que más influye en la calidad natural, esto dado principalmente por la condición de clima semiárido y actividades mineras. Los metales que principalmente se encuentran son cobre, selenio, boro y aluminio, tal como se puede apreciar en la Figura 3 (CADE-IDEPE, 2004).

Figura 3. Valores estacionales máximos de las aguas en distintas estaciones de la cuenca del río Limarí.

Estación	CE us/cm	RAS	CT mg/l	SO ₄ ⁻ mg/l	B Mg/l	Cu ug/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Se ug/l	Al mg/l
Río Grande en Las Ramadas	<600	3,4	<200	<120	0,67	16	0,94	0,08	6	1,62
Río Grande en Punt. de San Juan	<600	3,4	<200	<120	0,74	19	1,59	0,07	16	2,19
Río Mostazal en Cuestecita	<600	<2,4	<200	<120	0,6	32	<0,8	0,06	6	0,86
Río Rapel en Palomo	<600	<2,4	<200	<120	0,54	19	<0,8	0,05	6	0,64
Río Hurtado en San Agustín	<600	<2,4	<200	<120	0,71	56	<0,8	0,15	30	1,25
Río Hurtado en Ang. de Pangué	<600	3,6	<200	<120	0,64	19	<0,8	<0,04	7	0,46
Río Limarí en Peñones Bajos	607,2	7,1	<200	<120	1	30	<0,8	<0,04	<1	0,26
Río Limarí en Panamericana	2190	21	457,5	218	0,72	28	<0,8	0,06	6	1,66
Río Combarbalá en Ramadillas	<600	<2,4	<200	<120	0,43	24	<0,8	<0,04	80	1,09
Río Cogotí en Fragueta	<600	2,6	<200	<120	0,51	20	<0,8	0,04	6	0,9
Río Cogotí antes de embalse	<600	3	<200	<120	0,88	21	<0,8	<0,04	6	0,96
Río Huatulame en el Tome	<600	4	<200	<120	0,78	40	<0,8	<0,04	6	1,77
Estero Punitaqui en Punitaqui	788	9,4	<200	<120	1	30	<0,8	0,05	10	0,43

Fuente: CADE-IDEPE, 2004

Situación de pobreza

En la provincia de Limarí los hogares en situación de pobreza alcanzan en el 2000 al 26,8% de los hogares (MIDEPLAN, 2000). Esta condición se hace más aguda aún si consideramos que cerca del 50% de la población es económicamente activa. Según se aprecia en la Figura 4, tal como ha aumentado la pobreza a nivel provincial, ha aumentado la indigencia entre los años 1998 y 2000.

Figura 4. Índice de pobreza e indigencia en la provincia de Limarí y sus 5 comunas.

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

Fuente: INE 2002

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 Figura 5.

Figura 5. Coberturas de la red de agua potable y alcantarillado en la provincia de Limarí y sus 5 comunas.

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

Fuente: MIDEPLAN 2000

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 solo la minera Panulcillo, con producciones marginales dentro de la región, emplazada en terrenos del secano (INIA, 2004).

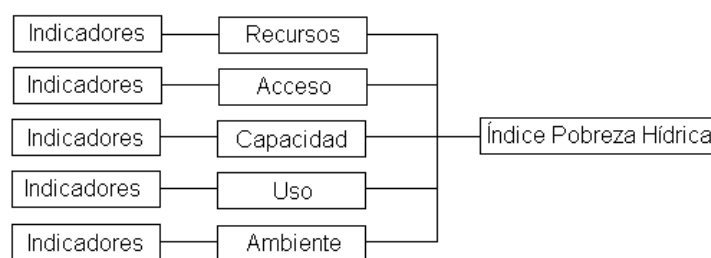
Adaptación e implementación del índice de pobreza hídrica

Estructura del Índice de Pobreza Hídrica

Según Sullivan (2002), el Índice de Pobreza Hídrica (WPI) es una herramienta de gestión interdisciplinaria que busca vinculaciones existentes entre el nivel socioeconómico de las comunidades con la gestión del recurso hídrico, de manera de generar información que permita desarrollar políticas dirigidas hacia el desarrollo sustentable de las comunidades.

El WPI corresponde a un índice, el cual en su estructura atiende a diversos aspectos que son de vital importancia en el desarrollo del sector hídrico, y que apuntan a factores que en su conjunto generan una visión global del estado del recurso en una localidad. El índice se forma a través de cinco variables, cada una de las cuales consta de indicadores que describen dicha variable (Figura 6)

Figura 6. Estructura del Índice de Pobreza Hídrica.



Las variables evaluadas por el índice son:

- Recursos: Caracterización de los recursos hídricos existentes (cauces superficiales y aguas subterráneas), considerando variabilidad, calidad de las aguas y seguridad de abastecimiento.
- Acceso: acceso a agua potable, además incluye acceso a tratamiento de aguas, sistemas de eliminación de excretas y sistemas de riego.
- Capacidad: la capacidad de la comunidad de manejar en forma efectiva el recurso. Se considera "capacidad" el ingreso que permite la adquisición de mejoras en relación con el agua, a la educación y salud, y otros bienes durables.
- Uso: manera en la cual el agua es utilizada en diversos usos, como lo son el uso doméstico, agricultura, ganadería e industria.
- Ambiente: se evalúa el medio ambiente respecto al agua y el deterioro de los sistemas.

Luego de la identificación de las variables sigue la identificación de indicadores con vista a la evaluación de éstas. A cada indicador se le asignan escalas que varían entre 0 y 100, siendo 0 el caso más desfavorable y 100 el escenario más favorable.

Las ponderaciones se utilizan en un índice para cambiar la importancia relativa de sus componentes e indicadores, esto se hace generalmente para poner más énfasis en aquellas variables e indicadores que se consideran más importantes para lograr metas establecidas.

Finalmente, utilizando las ponderaciones asignadas se obtiene un valor por variable. El valor final del indicador se obtiene promediando las componentes, utilizando la siguiente fórmula.

$$WPI = \frac{\sum_{i=1}^N w_{x,i} X_i}{\sum_{i=1}^N w_{x,i}}$$

En donde X_i se refiere a cada una de las 5 componentes del WPI, y $w_{x,i}$ se refiere a las ponderaciones asignadas a dichas componentes.

Indicadores sectoriales

La identificación de indicadores sectoriales para la evaluación de cada una de las 5 variables estipuladas por el Índice de Pobreza Hídrica es un proceso complejo. Para abordar adecuadamente esta tarea, que es eminentemente práctica, se requiere de sólidos conocimientos sobre el tema investigado y de la zona en estudio. Para la elección se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

- Tener el menor número de indicadores posibles para evaluar una variable, siempre y cuando sean realmente representativos de la misma (Sabino, 1996).
- Deben tener formas específicas de medición para cada indicador (Sabino, 1996).

En la selección de indicadores participan aquellas personas involucrada en las políticas hídricas (usuarios y administradores del agua). Ellos proponen indicadores que se deben incluir, y les asignan las ponderaciones, de esta manera el WPI logra reflejar la importancia que los involucrados en las decisiones asignan a cada indicador.

Los indicadores adoptados para cada una de las variables y su forma de medición se presentan a continuación:

Variable recurso

Variabilidad interanual de los caudales superficiales: Relación existente entre el caudal igualado o superado el 25% de los días con respecto al caudal igualado o superado el 75% de los días. Este valor representa la pendiente de la curva de duración. El índice de variabilidad obedece a la fórmula 1.

$$I = \sqrt{\frac{Q_{75}}{Q_{25}}} \cdot 100 \quad (1)$$

donde Q_{25} corresponde al caudal igualado o superado el 25% de los días, mientras que Q_{75} corresponde al caudal igualado o superado el 75% de los días.

Aguas subterráneas utilizadas: Extracción de aguas subterráneas como porcentaje del agua total extraída (mide el grado de presión sobre los recursos hídricos subterráneos para atender la demanda de agua existente). El indicador obedece a la fórmula 2.

$$I = \frac{Q_{subterránea}}{Q_{subterránea} + Q_{superficial}} \quad (2)$$

Seguridad de abastecimiento: Mide el porcentaje de satisfacción de las demandas hídricas requeridas. Para esto, se debe realizar un balance hídrico superficial de la cuenca, de manera de poder evaluar la oferta y la demanda de agua. Así, el indicador queda expresado como el volumen total de aguas extraídas para ser utilizadas dividida por el volumen total de agua superficial disponible (incluidos los consumos y caudales de retorno), tal como lo indica la fórmula 3.

$$I = \frac{Oh}{Dh} \cdot 100 \quad (3)$$

donde Oh corresponde a la oferta hídrica superficial y Dh es la demanda hídrica.

Calidad de las aguas: Calidad de agua se refiere principalmente a la aptitud que tiene para el uso en distintas actividades económicas y sociales. Para su medición se utiliza el Índice de Calidad de Aguas Superficiales (ICAS) establecido por la Dirección General de Aguas (CONAMA, 2002).

Variable acceso

Acceso al agua potable: Porcentaje de la población que tiene acceso a una cantidad suficiente de agua potable en el hogar o que pueden acceder fácilmente a ella.

Los sistemas de acceso al agua potable se han agrupado en buenos, aceptables y malos, de acuerdo a lo siguiente:

Bueno (B): porcentaje de viviendas conectadas a red pública.

Aceptable (A): porcentaje de viviendas conectadas a pozo o noria.

Malo (M): porcentaje de viviendas que se abastece de río, vertiente u otra.

El indicador obedece a la fórmula 4:

$$I = B + \frac{1}{2} \cdot A \quad (4)$$

Sistema de eliminación de excretas de los hogares: Porcentaje de población que tiene acceso a instalaciones sanitarias para la eliminación de los excrementos humanos en su vivienda o en las proximidades.

La población consta de diversos tipos de sistemas, los cuales se han clasificado en buenos, aceptables y malos:

Bueno (B): porcentaje de hogares con WC conectado a alcantarillado

Aceptable (A): porcentaje de hogares con WC conectado a fosa séptica

Malo (M): porcentaje de hogares con letrina sanitaria, pozo negro o no dispone

El indicador obedece a la fórmula 5:

$$I = B + \frac{1}{2} \cdot A \quad (5)$$

Acceso al tratamiento del agua: Proporción de las aguas residuales generadas por las comunidades urbanas que reciben un nivel aceptable de tratamiento antes de ser descargadas a un curso superficial.

Acceso al riego: Este indicador mide la importancia relativa del regadío para el sector agrícola, desde el punto de vista de la utilización de los recursos agua y tierra. Su

evaluación se hace dividiendo la superficie de tierras irrigadas entre la superficie total de tierras cultivables.

Acceso a información disponible del recurso: Este indicador mide la cantidad de información existente respecto de aquellos aspectos necesarios para implementar el Índice de Pobreza Hídrica. Para su cálculo se evaluó cuales de los indicadores presentan información con respecto al total de indicadores.

Variable capacidad

Ingresos familiares: Permitir establecer comparaciones necesarias para llevar a cabo una evaluación general del progreso del territorio en el ámbito de la mitigación de la pobreza y/o una evaluación de políticas y proyectos concretos. Poner de manifiesto varios aspectos de la política de mitigación de la pobreza, tales como prioridades comunales o sectoriales de gasto público.

Para la evaluación de este indicador, se utiliza la fórmula 6.

$$I = \begin{cases} 0 & \text{si } x < \$40.000 \\ \frac{\log(x) - 4,6}{1,4} & \text{si } \$40.000 < x < \$1.000.000 \\ 100 & \text{si } x > \$1.000.000 \end{cases} \quad (6)$$

en donde x es el ingreso familiar en pesos chilenos.

Equipamiento del hogar: La incorporación de este indicador se justifica por ser una medida bastante exacta del estándar de vida medio existente en una población. Para observar la evolución de los bienes durables, se ha escogido una canasta de éstos que incluyen televisor, cocina, lavadora, microondas, refrigerador, equipamiento de música, vídeo, teléfono y computador.

La ponderación de cada bien se establece en relación a la importancia que presenta en el IPC. Finalmente, el indicador obedece a la fórmula 7.

$$I = \frac{\sum P_i \cdot B_i}{\sum P_i} \quad (7)$$

donde P_i corresponde al peso asignado al electrodoméstico

B_i es el porcentaje de hogares que posee el electrodoméstico

Nivel educacional: Progreso relativo de un territorio en materia de alfabetización de adultos y la matriculación de la población. La tasa de matrícula bruta ($I_{\text{matriculado}}$) se calcula como el total de personas en edad escolar matriculada dividida por la población en edad escolar. La tasa de alfabetización de adultos ($I_{\text{alfabetismo}}$) resulta del cociente entre el número de alfabetos mayores de 15 años, sobre el total de la población mayor de 15 años. Finalmente, el índice obedece a la fórmula 8:

$$I = \frac{2 \cdot I_{\text{alfabetismo}} + I_{\text{matriculado}}}{3} \quad (8)$$

las ponderaciones que se asignan al índice de alfabetización y de matriculación, obedecen a la proporción entre ambas variables arrojados por el censo de población y vivienda del 2002 (INE, 2002).

Existencia y participación en organizaciones de usuarios de agua: Relación existente entre los usuarios de recursos hídricos organizados en comunidades de agua (tipo de organización básico estipulado en la ley de Aguas) con respecto al total de los usuarios del recurso hídrico.

Tasa de mortalidad infantil: Los niños corren un mayor riesgo de morir dado que poseen menores defensas en sus primeros años de vida, lo cual se ve incrementado en sectores pobres, dado que poseen menores servicios disponibles.

La tasa de mortalidad infantil es el número de muertes de niños menores de 1 años durante un período de tiempo por cada 1000 nacidos vivos durante ese mismo período. Por otra parte, se considera una alta tasa de mortalidad infantil en países subdesarrollados, una tasa de 30 ‰. Para evaluar los logros de este objetivo, el indicador queda definido por la fórmula 9:

$$I = \begin{cases} 0 & \text{si TMI} > 30\% \\ \left(1 - \frac{TMI}{30}\right) \cdot 100 & \text{si TMI} < 30\% \end{cases} \quad (9)$$

Variable uso

Uso de aguas en domicilios: Todo individuo requiere una cantidad mínima de agua para satisfacer necesidades básicas, sin embargo, cuando se tiene acceso a volúmenes de agua a nivel domiciliario, muchas veces se ocupa de manera inadecuada, por lo que es necesario establecer criterios para definir el buen uso del recurso, a lo cual obedece este indicador. Según el Banco Mundial (2000), se considera que una persona necesita entre 100 y 150 lt/hab/día para satisfacer sus necesidades básicas en un país en desarrollo. Se establece la fórmula 10 para encontrar el valor del indicador.

$$I = \begin{cases} x & \text{si } x < 100 \text{ lt/hab/día} \\ 100 & \text{si } 100 < x < 150 \text{ lt/hab/día} \\ \frac{150}{x} & \text{si } x > 150 \text{ lt/hab/día} \end{cases} \quad (10)$$

Uso del agua en agricultura: Medir la utilización de distintos métodos de riego, se relaciona con diferentes eficiencias en la aplicación del recurso. Para su evaluación se utilizan la fórmula 11.

$$I = \frac{\sum A_i \cdot E_i}{\sum A_i} \quad (11)$$

en donde A_i es el área irrigada por sistema de riego y E_i corresponde a la eficiencia del sistema de riego

Uso del agua en ganadería: Relación existente entre aquella población de animales que poseen sistemas de bebederos en relación al total de la población animal.

Uso del agua en la industria: La tasa de uso de agua en el sector industrial relaciona la cantidad neta de agua utilizada en relación con la cantidad de agua captada por la industria.

Variable ambiente

Tierras erosionadas: Superficie de tierras afectadas por la erosión como porcentaje del territorio total. La erosión es un proceso natural producto de agentes atmosféricos, fuertemente acelerada por actividades humanas. Durante este proceso se arranca y transportan las capas superficiales de tierra vegetal, con pérdida de tierras agrícolas.

Biodiversidad: Número de especies fuera de peligro de extinción como porcentaje del número total de especies.

Áreas protegidas: Comprende la superficie de tierras protegidas, expresada como porcentaje de la superficie total de tierras.

Para la evaluación se utiliza un criterio adoptado por la Unión Mundial para la Naturaleza (IUCN) que establece como recomendación el destinar el 10% del territorio a la preservación de áreas protegidas, de esta manera, el indicador obedece a la fórmula 12.

$$I = \begin{cases} 100 & \text{si } \frac{A_{\text{protegida}}}{A_{\text{total}}} \geq 10\% \\ \frac{A_{\text{protegida}}}{A_{\text{total}}} \cdot 1000 & \text{si } \frac{A_{\text{protegida}}}{A_{\text{total}}} < 10\% \end{cases} \quad (12)$$

Caudal ecológico: Cantidad y calidad de los recursos hídricos necesarios para mantener el hábitat del río y su entorno en buenas condiciones, considerando las necesidades de la población humana, animal y vegetal, así como los requerimientos físicos para mantener su estabilidad y funciones.

Según criterio establecido por la ley de aguas vigente en Chile, se establece el caudal ecológico como el 10% del caudal medio anual. Para evaluar este indicador, se utiliza la fórmula 13.

$$I = \begin{cases} \frac{Q}{0.1 \cdot Q_{\text{medio-anual}}} \cdot 100 & \text{si } Q > Q_{\text{medio-anual}} \\ 100 & \text{si } Q < Q_{\text{medio-anual}} \end{cases} \quad (13)$$

Ponderaciones

Para evaluar el índice en la provincia de Limarí es necesario verificar la importancia relativa de cada una de las variables e indicadores con las personas involucradas en el manejo de los recursos en la provincia. Para ello se entrevistó a administradores o miembros de las directivas de organizaciones de usuarios de aguas, representantes de instituciones públicas ligadas a la gestión de los recursos hídricos y a representantes de organizaciones agrícolas, quienes asignaron un valor a cada indicador y variable dependiendo de su percepción. Los valores finales se presentan en las Figuras 7 a 12.

Figura 7. Ponderación de las variables del WPI.

Variable	Ponderación
Recurso	32,7
Acceso	19,5
Capacidad	17,7
Uso	15,9
Ambiente	14,2

Figura 8. Ponderaciones de indicadores de variable recurso.

Indicador	Ponderación
Variabilidad	25,4
Agua subterránea	12,8
Seguridad abastecimiento	42,8
Calidad del agua	19,1

Figura 9. Ponderaciones de indicadores de variable acceso.

Indicador	Ponderación
Agua potable	22,3
Elim. de excretas	20
Trata. de aguas	15,5
Acceso al riego	25
Acceso info.	16,4

Figura 10. Ponderaciones de indicadores de la variable capacidad.

Indicador	Ponderación
Ingresos familiar	21,4
Bien durable	10,5
Educación	38,2
Organización de los usuarios	23,2
Mortalidad infantil	6,8

Figura 11. Ponderaciones de indicadores variable uso.

Indicador	Ponderación
Uso doméstico	24,5
Uso Agrícola	54,4
Uso Ganadero	11,8
Uso Industrial	9,1

Figura 12. Ponderaciones de indicadores variable ambiente.

Indicador	Ponderación
Erosión	37,7
Biodiversidad	20
Áreas protegidas	17,7
Caudal ecológico	23,6

Resultados

En la Figura 13 se presentan los resultados del Índice de Pobreza Hídrica de la Provincia de Limarí y para cada una de sus 5 comunas, en tanto que en la figura 3 se presenta la representación gráfica de los resultados.

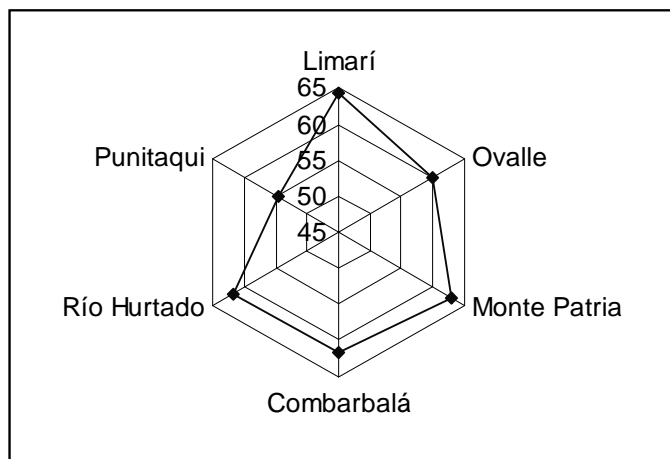
Los valores arrojados indican que los mejores índices, ordenados de mayor a menor, son para las comunas de Monte Patria, Combarbalá, Río Hurtado, Ovalle y Punitaqui, sin embargo, hay que tener en cuenta que en las comunas de Monte Patria y Punitaqui no se consideraron algunas variables por no existir la información.

Los resultados del índice reflejan el grado de desarrollo sustentable alcanzado, es decir, como se conjugan el desarrollo económico, la equidad social en la distribución de los recursos y la sustentabilidad ambiental en las diversas comunas y en la provincia.

Figura 13. Resultados del WPI y sus variables para la cuenca del río Limarí y sus comunas.

Comuna/Provincia	Recursos	Acceso	Capacidad	Uso	Ambiente	WPI
Limarí	64,2	62,8	72	71,2	47,9	64,1
Ovalle	55,4	69,4	66,6	68,8	39,2	60
Monte Patria	66,6	52	70,6	60,1	-	62,9
Combarbalá	63,3	57,2	61,3	76,5	48	61,7
Río Hurtado	80,4	42,7	68,9	63,7	35	61,9
Punitaqui	-	43,9	53,1	69,1	-	54,5

Figura 14. Valor del Índice de Pobreza Hídrica de la provincia de Limarí y sus comunas.



Se puede observar que las comunas con menores índices (Punitaqui y Ovalle) corresponden a la parte baja de la cuenca, mientras que las comunas de la parte alta de la cuenca presentan mayores índices (Monte Patria, Río Hurtado y Combarbalá). Esto influenciado principalmente por la variable ambiente en el caso de Ovalle y de acceso en Punitaqui.

Al ver los valores del índice en forma desagregada, es decir, de cada una de sus variables, se puede ver lo siguiente:

- Recurso: Los mejores valores se encuentran en aquellas comunas de la parte alta de la cuenca, lo cual se puede explicar por la creciente presión sobre el recurso hídrico a medida que el río avanza hacia su desembocadura, ya que el recurso disminuye debido al uso principalmente en regadío, y a su vez, disminuye su calidad.
- Acceso: las comunas de mejores índices son aquellas que presentan menor población rural. Es así como Ovalle es la comuna de mejores índices, mientras que Río Hurtado y Punitaqui son aquellas de peores índices. Esto se explica debido a que las empresas que prestan servicios de agua potable, alcantarillado, etc. se centran principalmente en las ciudades.
- Capacidad: los índices arrojado por comuna en orden descendente son Monte Patria, Río Hurtado, Ovalle, Combarbalá y Punitaqui. Estos resultados se pueden explicar principalmente por dos indicadores: organización de usuarios del recurso e ingresos familiares. Mientras que en organización de usuarios, la comuna de Río Hurtado presenta los mejores resultados, la comuna es Ovalle muestra los valores más bajos. En cuanto a ingresos familiares, los mayores valores se presentan en la comuna de Ovalle, debido a la mayor actividad económica que presenta con respecto a las otras comunas.
- Uso: en esta variable sólo se utilizaron dos de los cuatro indicadores puesto que los usos industrial y ganadero no presentan información. Los mejores índices se presentaron en la comuna de Combarbalá, en la cual poseen un mayor grado de tecnificación en el riego, mientras que los peores valores se presentaron en la comuna de Monte Patria. En el caso del uso doméstico, Las comunas de Ovalle, Monte Patria y Combarbalá presentan los mayores valores debido a una dotación mayor a los 100 lt/hab/día.
- Ambiente: esta variable es la que presenta los valores más bajos con respecto al resto de las variables. Hay que notar que en esta variable se excluyeron las comunas de Monte Patria y Punitaqui debido a que no poseen información completa para aplicar los indicadores.

Los principales problemas en esta variable se presentan debido a la baja cantidad de áreas protegidas (las menores en todo el país), y principalmente el problema de la erosión de los suelos, lo que genera una disminución paulatina en la calidad de éstos, provocando serios problemas en la agricultura de la zona.

Conclusiones

La aplicación del índice en la provincia de Limarí y sus comunas permitió analizar de manera global el desempeño de ciertas políticas en la zona. Se puede observar que aquellas comunas que se desempeñan exitosamente en el ámbito económico (como es el caso de la comuna de Ovalle) no logró los mejores índices, puesto que los beneficios del desarrollo han generado problemas en otros aspectos, como los aspectos ambientales.

En términos generales, la provincia de Limarí presenta un buen manejo del recurso hídrico, aunque su principal debilidad se encuentra en los aspectos medioambientales. Entre éstos destacan la erosión, el bajo porcentaje de territorio destinado a áreas protegidas y la inexistencia de caudales ecológicos en los cursos de agua naturales.

La aplicación del índice a nivel comunal muestra que las comunas con mejores puntuaciones son aquellas ubicadas en la parte alta de la cuenca, como monte Patria, Combarbalá y Río Hurtado, mientras que aquellas que están en la parte baja, como Punitaqui y Ovalle, presentan valores menores. Las principales diferencias entre las comunas de estas dos zonas se presentan en el componente "recurso", debido a que la calidad del agua decrece a medida que se avanza hacia la costa junto con una disminución del caudal debido a las extracciones de los usuarios para usos agrícolas. Esta situación se ve mejorada por la existencia del sistema Paloma, que permite incluir mayores superficies agrícolas al riego.

Para mejorar los valores del índice es necesario poner mayor énfasis en aspectos ambientales, que es la componente con mayores problemas en todas las comunas de la provincia. Dentro de esta componente, el factor que más influye es la erosión, un problema que puede asociarse al manejo de suelos y ganadería en el área.

Finalmente, la aplicación del Índice de Pobreza Hídrica en la zona ha permitido visualizar las deficiencias en el desarrollo de la provincia y sus comunas de forma efectiva. No obstante son necesarias más aplicaciones en el futuro para observar como evoluciona el sector hídrico en el tiempo cuando entren en vigencia nuevas políticas hídricas, como puede ser el caso de cambios en el Código de Aguas.

Bibliografía

BANCO MUNDIAL (2000). Un mundo sin pobreza. www.bancomundial.org

CADE-IDEPE (2004). Diagnostico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca del río Limarí. Dirección General de Aguas (DGA). www.conama.cl/portal/1255/fo-article-31018.pdf

CONAMA (Comisión Nacional del Medio Ambiente) (2000). De Mar a Cordillera: IV región de Coquimbo. Gobierno de Chile-Ministerio de Educación.

CONAMA (Comisión Nacional del Medio Ambiente) (2002). Guía para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales y marinas. Gobierno de Chile. www.conama.cl/portal/1255/articles-31476_Guia.pdf

FERRANDO, F. (2003). Cuenca del Limarí, Chile semiárido: aspectos de la oferta y la demanda de agua. Revista de geografía, Norte Grande, número 030. Pontificia Universidad Católica de Chile.

INE (Instituto Nacional de Estadísticas – Chile) (1997). IV censo nacional agropecuario. Resultados preliminares.

INE (Instituto Nacional de Estadísticas – Chile) (2002). Censo de Población y vivienda. www.ine.cl

INIA (Instituto de Investigaciones Agropecuarias) (2004). Diseño, implementación y seguimiento del plan integral de desarrollo del secano, IV región de Coquimbo. Informe preliminar.

LEÓN, A, PARGA, F. y X. VARGAS (2005). Indicadores biofísicos y socioeconómicos de uso de agua en la cuenca del río Limarí, Chile. En: FERNÁNDEZ CIRELLI, A. y E. ABRAHAM (Eds.) "Uso y Gestión del Agua en Tierras Secas" Vol 11: 109-124.

MIDEPLAN (Ministerio de Planificación y Cooperación – Gobierno de Chile) (2000). Encuesta CASEN. www.mideplan.cl

MIDEPLAN (Ministerio de Planificación y Cooperación – Gobierno de Chile) (2003). Estrategia Regional de Desarrollo de la Región de Coquimbo. www.serplaccoquimbo.cl

SABINO, C. (1996). El proceso de Investigación. Editorial Lumen-Humanitas.

SULLIVAN, C. (2002). Using the Water Poverty Index to monitor progress in the water sector, World Development Vol. 30, No. 7, pp. 1195-1210.

SULLIVAN, C., J.R. MEIGH and T. S. FEDIW (2002). Derivation and Testing of Water Poverty Index –Final report May 2002 – Volume 1 – Overview, Centre for Ecology & Hydrology, Oxford, U.K.