

Guía para estimación de caudales en régimen natural

CI6102: Proyecto Integrado de recursos hídricos

Profesor: Miguel Lagos Zúñiga.

Semestre Otoño 2021.

1. Diagrama unifilar conceptualizando los flujos de la cuenca

Un método muy útil para visualizar los flujos y diversas interacciones que están ocurriendo en una cuenca o volumen de control, corresponde al diagrama unifilar del mismo. En sistemas muy complejos esta conceptualización ciertamente es bastante compleja y requiere bastante creatividad para una representación simplificada y útil. A modo de ejemplo, en la Figura 1 se ilustran principales ríos afluentes al río Toltén, con la presencia de Lagos y estaciones fluviométricas existentes en toda la red de drenaje.

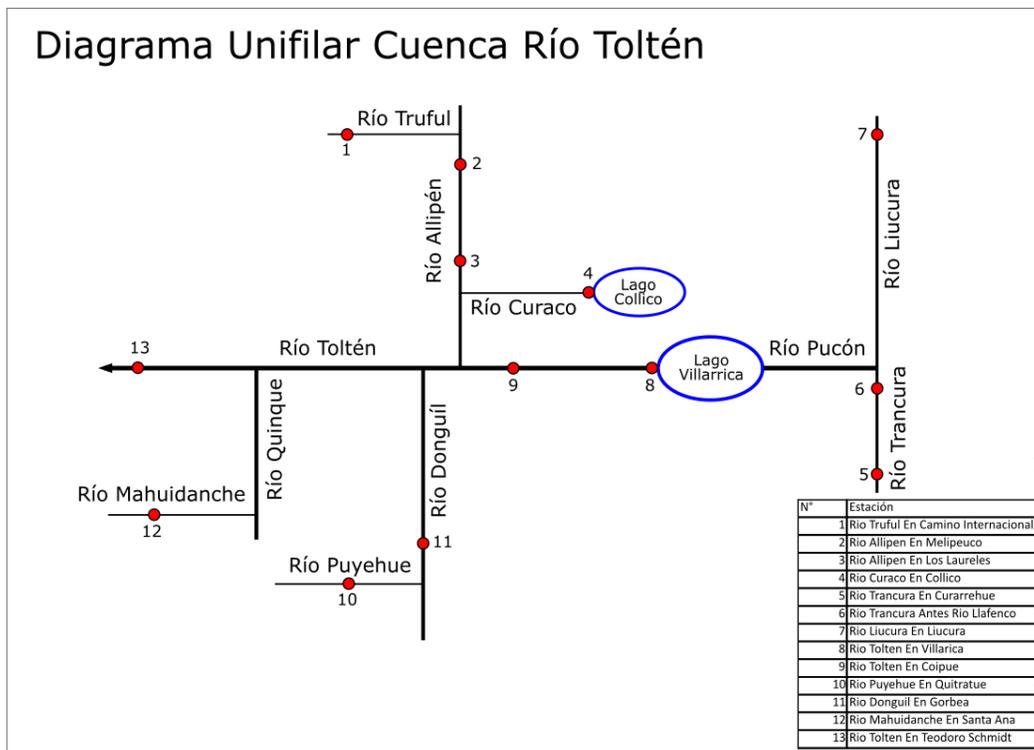


Figura 1: Diagrama Unifilar cuenca del río Toltén. Figura elaborada por el Ingeniero Civil Francisco Jara en el marco del estudio CORFO (2019).

2. Identificando usuarios

Una vez tenemos conceptualizado el manejo del sistema hídrico en cuestión, debemos consultar el Catastro Público de Aguas (CPA) de la DGA, para poder referenciar en cada sección del sistema, dónde existen demandas de derechos de aprovechamiento de agua (DAA) y su carácter (eg. Eventual o Permanente). Supongamos que tenemos el siguiente caso: Una sección de río envuelta por dos estaciones fluviométricas, y dos usuarios de agua (Figura 2), cuyos caudales de extracción se muestran en la Tabla 1.

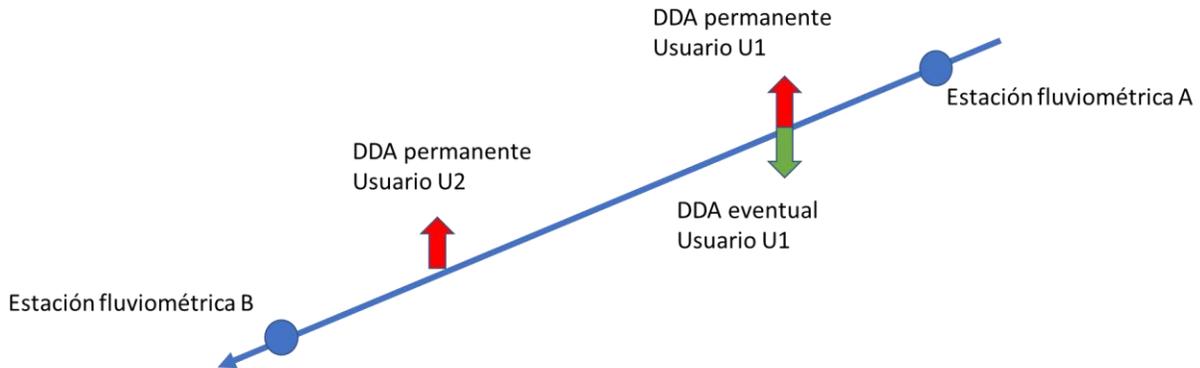


Figura 2: Esquema de sección de río, donde existen dos estaciones fluviométricas A y B; y dos usuarios U1 y U2, el primero de ellos con derechos permanentes y eventuales.

Tabla 1: Derechos de aprovechamiento de agua por usuario

Usuario	Derechos permanentes [m ³ /s]	Derechos eventuales [m ³ /s]
U1	1,2	3,5
U2	1,8	-

Sabemos que los DDA son otorgados en su totalidad cuando existe caudal suficiente para suplir todas las demandas, incluyendo el caudal ecológico que supondremos igual a 0,3 m³/s. De este modo, las entregas se pueden realizar según las siguientes leyes de uso: Para la asignación de derechos permanentes ($Q_{dda\ permanente}$), que dependerán si el río cuenta con la oferta natural suficiente para abastecerlos de forma total o parcial, siempre respetando el caudal ecológico (Ec. 1), y si quedan disponibilidad para la otorgación de derechos eventuales ($Q_{dda\ eventual}$, Ec.2); que también pueden otorgarse de forma parcial o total. Del mismo modo, la demanda real que se debe disponibilizar siempre será el caudal de demanda permanente más el caudal ecológico.

$$Q_{dda\ permanente} = \begin{cases} Q_{dda}, & \text{si } Q_A > Q_{dda} + Q_{ec} \\ Q_A - Q_{dda} - Q_{ec}, & \sim \end{cases} \quad (1)$$

$$Q_{dda\ eventual} = \begin{cases} 0, & \text{si } Q_A < Q_{dda-p} + Q_{ec} \\ Q_{ev}, & \text{si } Q_A - Q_{dda-p} - Q_{ec} > Q_{ev} \\ Q_A - Q_{dda-p} - Q_{ec}, & \text{si } Q_A - Q_{dda-p} - Q_{ec} < Q_{ev} \end{cases} \quad (2)$$

3. Reconstruyendo el régimen natural

De este modo, la demanda real estará dada por (Eq. 3), y el caudal en régimen natural quedaría como la Ecuación (4), despreciando las pérdidas por infiltración y evaporación en la misma sección de río:

$$Q_{dda\ real} = Q_{dda\ permanente} + Q_{dda\ eventual} \quad (3)$$

$$Q_{B\ natural} = Q_{B\ obs} + Q_{dda\ real} \quad (4)$$

A modo de ejemplo, se presentan los cálculos realizados para dos años hidrológicos con su respectiva figura:

Tabla 2: Años hidrológicos con registros de caudales medios mensuales en cada estación, junto con las reglas de demanda. Las unidades están en m³/s.

Mes	QA	QB	Q dda real	Q dda ev	QB nat
abr-98	3.1	4.8	2.8	0	7.6
may-98	4.2	5.2	3	0.4	8.6
jun-98	2.9	3.2	2.6	0	5.8
jul-98	2.8	1.2	2.5	0	3.7
ago-98	3.1	2.8	2.8	0	5.6
sept-98	3.9	4.6	3	0.1	7.7
oct-98	5.2	6.8	3	1.4	11.2
nov-98	5.8	7.9	3	2	12.9
dic-98	4.5	6.4	3	0.7	10.1
ene-99	3.2	5.7	2.9	0	8.6
feb-99	3.1	3.8	2.8	0	6.6
mar-99	2.9	0.4	2.6	0	3
abr-99	3.1	4.8	2.8	0	7.6
may-99	3.7	5.8	3	0	8.8
jun-99	2.9	4.2	2.6	0	6.8
jul-99	2.3	1.3	2	0	3.3
ago-99	2.6	0.3	2.3	0	2.6
sept-99	3.9	6.9	3	0.1	10
oct-99	5.2	8.2	3	1.4	12.6
nov-99	5.8	8.8	3	2	13.8
dic-99	4.5	7.5	3	0.7	11.2
ene-00	3.2	5.9	2.9	0	8.8
feb-00	3.1	3.4	2.8	0	6.2
mar-00	2.4	1.2	2.1	0	3.3

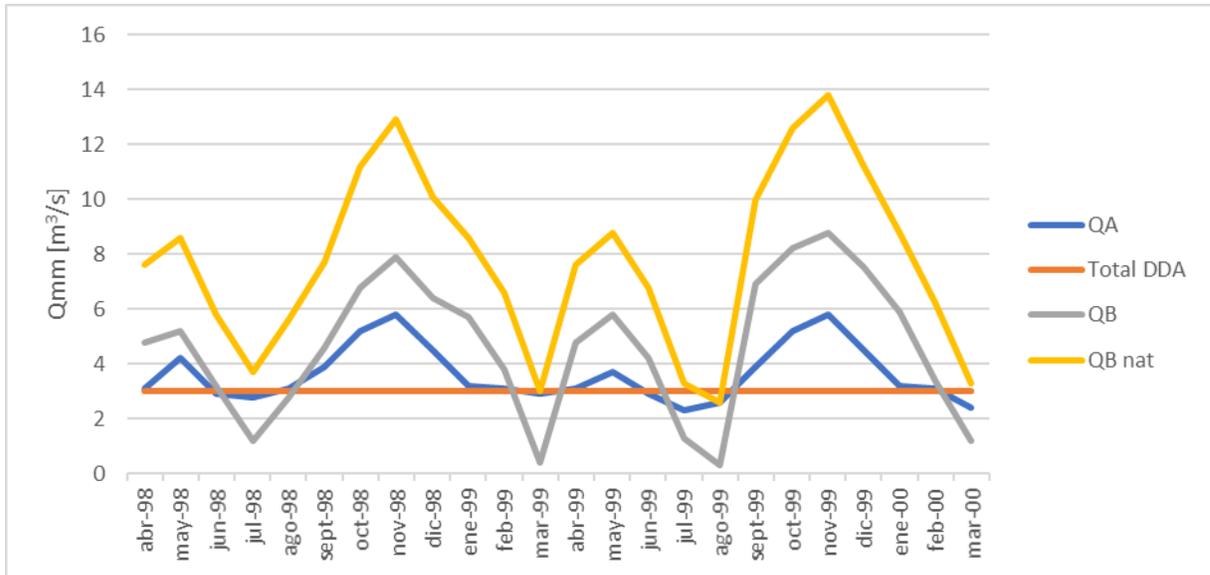


Figura 3: Representación gráfica de caudales medios mensuales observados en A (QA), en B (QB), la demanda total permanente (Total DDA) y el caudal en B naturalizado (QB nat).

Reflexiones finales

Si bien se muestra un ejemplo didáctico de cómo esto funcionaría si se conocen los caudales observados en régimen natural aguas arriba de las captaciones, y los derechos de aprovechamiento de agua, así como las observaciones aguas debajo de estas. En la realidad esto no siempre se conoce, por lo que la construcción de modelos hidrológicos para estimar caudales en régimen natural es también una práctica frecuente (eg. CORFO, 2019).

Otro desafío relevante es que si bien se puede tener un derecho permanente, este no necesariamente está siendo extraído todo el tiempo, pero el conocimiento histórico de estas series de tiempo es un desafío permanente para la gestión de recursos hídricos.

Referencias

CORFO (2019). "Evaluación de Proyecto de una Carretera Hídrica Nacional - Fase 1: Inventario de la Oferta y Demanda de Agua a lo Largo de la Geografía Chilena" Elaborado por Laboratorio de Análisis Territorial y Advanced Mining Technology Center. Universidad de Chile.