

**GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
DIVISIÓN DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN**

Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la Cuenca del Río Lluta

RESUMEN EJECUTIVO

REALIZADO POR:

ICASS SpA

S.I.T. N°473

Santiago, abril 2021.

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

Ministro de Obras Públicas
Ingeniero Civil Sr. Alfredo Moreno Charme

Director General de Aguas
Ingeniero Comercial Sr. Óscar Cristi Marfil

Jefe División de Estudios y Planificación
Ingeniero Civil Sr. Mauricio Lorca

Inspector Fiscal
Geólogo Sr. Marcelo Aliaga Alvarado

Inspectora Fiscal Subrogante
Ingeniera Agrícola Srta. Pamela García Serrano

Asesor Modelación Integrada
Ingeniero Civil Sr. Pedro Sanzana Cuevas

Profesionales DGA
Ingeniera en Recursos Naturales Renovables María Victoria Aedo
Aedo

Ingeniero Civil Agrícola Abraham Arévalo Neira
Ingeniero Civil en Obras Civiles Pablo Costa Tapia
Cartógrafo Guillermo Tapia Molina

INGENIERÍA Y CONSULTORÍA EN AGUAS SPA

Bernardo Capino Díaz

Jefe de Proyecto

Ingeniero Civil

Profesionales:

Ingeniero Civil Adrián Lillo

Hidrogeólogo Kirk Heatwole

Ingeniero Civil Mauricio Zambrano

Hidrogeólogo Wolf von Igel

Antropóloga Social Kapris Tabilo

Especialista SIG Luis Acevedo

Economista Rodrigo Morera

Geóloga Begoña Urtubia

Ingeniera Civil Paulina Rodriguez

Equipo Complementario:

Hidrogeóloga Carolina Saavedra

Hidrogeóloga Tamara Vejar

Ingeniero Ambiental Felipe Gonzalez

Geólogo José Bustamante

Ingeniero Civil Rodrigo Marinao

Economista Sebastián Barrios

Para citar bibliográficamente este estudio, se recomienda hacerlo de la siguiente forma:

Dirección General de Aguas (DGA), 2021. Plan Estratégico de Gestión Hídrica en las Cuencas de Lluta y Pampa del Tamarugal, SIT N°473, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación, Santiago, Chile. Realizado por: ICASS SpA.

Tabla de Contenido General

1.	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
1.1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.2	OBJETIVOS.....	1
2.	CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA	3
2.1	GEOMORFOLOGÍA	5
2.2	GEOLOGÍA	5
2.3	SUELOS	6
2.4	HIDROLOGÍA Y CLIMA.....	7
2.5	HIDROGEOLOGÍA	14
2.6	ACTIVIDADES ECONÓMICAS	18
2.7	DIMENSIÓN AMBIENTAL	19
2.8	INFRAESTRUCTURA HÍDRICA.....	20
2.9	NUEVAS FUENTES	22
2.10	GOBERNANZA	23
3.	BALANCE DE AGUA EN LA CUENCA	28
3.1	OFERTA.....	29
3.2	DEMANDA	35
3.3	BALANCE	36
4.	PLAN DE ACCIÓN	45
4.1	EJES Y OBJETIVOS PARA EL PEGH.....	45
4.2	CARTERA DE INICIATIVAS DE INVERSIÓN VIGENTES	45
4.3	CARTERA DE INICIATIVAS PROPUESTAS	46
4.4	VALORIZACIÓN ECONÓMICA DEL PLAN.....	49
5.	IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE ACCIÓN	52
5.1	ESTRUCTURA DEL PLAN DE GESTIÓN	52
5.2	PLAZOS DE IMPLEMENTACIÓN.....	52
5.3	ESTRATEGIA DE IMPLEMENTACIÓN	52
5.4	GOBERNANZA DEL PLAN ESTRATÉGICO.....	54
5.5	ESTRATEGIA DE COMUNICACIÓN	56
6.	MONITOREO Y EVALUACIÓN DEL PLAN.....	58
6.1	PLAN DE MONITOREO.....	58
6.2	MECANISMOS DE EVALUACIÓN, ACTUALIZACIÓN Y TOMA DE DECISIONES.....	61

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción

Los Planes Estratégicos de Gestión Hídrica (PEGH) de la Dirección General de Aguas, se enmarcan dentro de una estrategia que propone un nuevo enfoque de gestión por cuenca, que proporcione conocimiento y diagnóstico para formular planes de acción a corto, mediano y largo plazo, de acuerdo a las necesidades propias de cada cuenca, para formular una hoja de ruta realizable y medible, para hacer frente a los desafíos que enfrenta Chile al gestionar el agua.

El presente PEGH se encarga de la cuenca del río Lluta, XV región. Considera las materias de caracterización, demanda, oferta y balance hídricos, modelación de la cuenca, acciones, cartera de iniciativas e implementación de un plan estratégico de gestión.

1.2 Objetivos

El objetivo general del presente estudio es proponer un plan estratégico indicativo para la cuenca del río Lluta, que permita conocer la oferta y demanda actual de agua, establecer un balance hídrico y sus proyecciones a 30 años, diagnosticar el estado de información, infraestructura e instituciones que toman decisiones respecto al recurso hídrico, y proponer una cartera de acciones DGA y de terceros (público-privados), que permitan suplir la demanda de agua y adaptación al cambio climático, con un portafolio de acciones que aseguren su abastecimiento en cantidad y calidad.

Los objetivos específicos del Plan de la cuenca son los siguientes:

- Conocer el estado actual de la cuenca de Lluta en cuanto a oferta, demanda, balance de agua (en cuanto a derechos y demandas de agua) y sus respectivas herramientas de cálculo (modelos), control de extracciones, calidad físico-química de fuentes de aguas superficiales y subterráneas, gobernanza, y red hidrométrica superficial, subterránea, de calidad, de glaciología y nieves.
- Construir y/o actualizar los modelos de simulación hidrológicos, e integrarlos a nivel superficial-subterráneo.
- Definir acciones para restaurar condiciones de abastecimiento y calidad de las fuentes de agua potable rural y urbana, por tipo de usuario tanto para fuentes superficiales como subterráneas.
- Diagnosticar estado de la calidad de aguas de las fuentes superficiales y subterráneas. Definir acciones para proteger funciones ecosistémicas críticas relacionadas con los cuerpos de agua en el tiempo.
- Diagnosticar el estado de la infraestructura hidráulica actual y proponer acciones para mejorar el monitoreo de las aguas de la cuenca (superficial, subterráneo, de montaña y glaciares). Se deberá analizar el estado de funcionamiento, la antigüedad y confiabilidad de los sistemas en general.

- Identificar las brechas entre oferta y demanda de agua en distintos escenarios de cambio climático, sequía e inundaciones, estableciendo un portafolio de acciones (estrategias de gestión) para reducirlas. Se deberá establecer un caso base y distintos escenarios para la evaluación.
- Entregar estrategias para mejorar la toma de decisiones, mediante la utilización de modelos operativos de gestión, los cuales deberán tener escenarios de planificación a corto, mediano y largo plazo, y ser adaptativos en el tiempo.
- Entregar estrategias para promover y revitalizar la alianza público-privada, y así incrementar cualitativamente la inversión requerida en infraestructura e investigación.

2. CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA

La cuenca del Río Lluta (Figura 2.1) se ubica en la región de Arica y Parinacota, y abarca las provincias de Arica y Parinacota, y las comunas de General Lagos, Putre y Arica, con un área de 3.415 km². La cuenca del Río Lluta se divide administrativamente en las subcuencas de Lluta Alto y Lluta Bajo, de acuerdo a lo indicado en la Tabla 2.1. La delimitación de la cuenca se ha actualizado en función de los antecedentes topográficos disponibles, tomando en cuenta la delimitación de la cuenca del Banco Nacional de Aguas (BNA) y aquella definida por el Departamento de Administración de Recursos Hídricos (DARH).

Tabla 2.1 Subcuencas del río Lluta y sus provincias y comunas.

Código Subcuenca	Subcuenca	Área (km ²)	Provincia	Comuna
0120	Río Lluta Alto	2.251	Parinacota	General Lagos
				Putre
0121	Río Lluta Bajo	1.164	Arica	Arica
			Parinacota	Putre

Fuente: elaboración propia en base a Mapoteca DGA.

La cuenca del río Lluta se desarrolla desde la misma cordillera de Los Andes hasta su salida al mar, lo que le confiere al río un escurrimiento de carácter permanente. El río Lluta tiene una longitud de 150 km aproximadamente y presenta inicialmente un recorrido en sentido norte-sur hasta llegar a la junta con la quebrada Jurase, donde cambia su trazado en dirección hacia el suroeste para llegar al sector de Poconchile donde se encuentra con el cordón montañoso de San Martín.

2.1 Geomorfología

Del punto de vista geomorfológico, la cuenca del río Lluta en su parte baja abarca (de oeste a este) la Depresión Intermedia y parte de la Precordillera. La parte alta de la cuenca del río Lluta, se extiende por parte de la Precordillera, pero principalmente por la Cordillera Occidental.

2.2 Geología

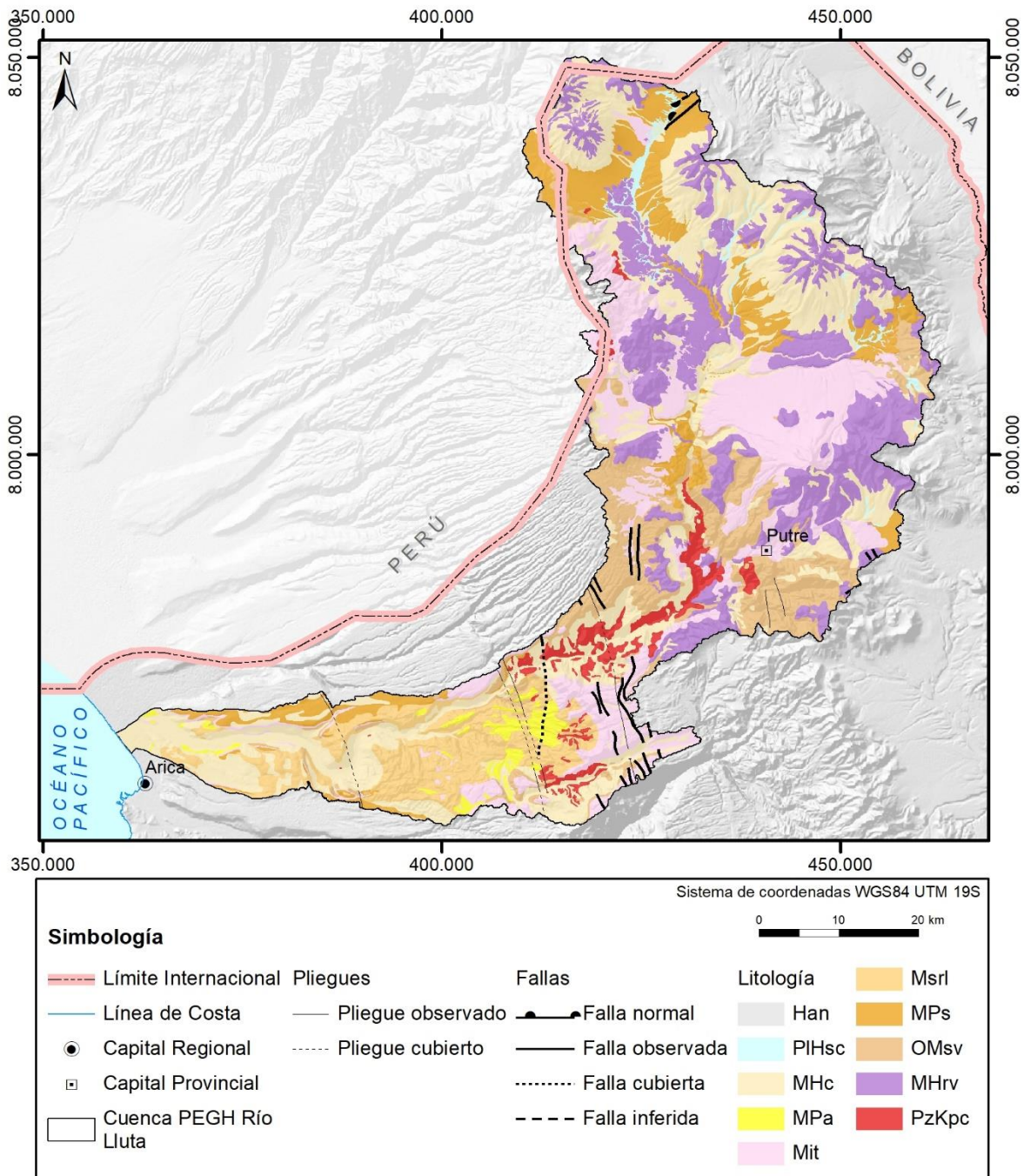
La Geología de la cuenca del río Lluta ha sido caracterizada según las cartas geológicas Arica, escala 1:250.000 (SERNAGEOMIN, 2004) y Visviri y Villa Industrial, escala 1:100.000 (SERNAGEOMIN, 2012).

Litología

La caracterización litológica se realizó agrupando las formaciones geológicas según sus características de permeabilidad similares, con el fin de facilitar el entendimiento hidrogeológico de las unidades y se pueden observar en la Figura 2.2. De este modo, se definen dos grandes tipos de unidades: 1) rocas, y 2) depósitos no consolidados a semiconsolidados y tobas. Se denominan con el término de rocas a las unidades volcánicas y sedimentarias clásticas del Oligoceno al Holoceno y a las rocas de edad Paleozoico al Cretácico, cuyas permeabilidades primarias varían desde medias a nulas. Por otra parte, los depósitos no consolidados a semiconsolidados y tobas se distribuyen a lo largo de la cuenca, y presentan permeabilidades primarias varían desde bajas a altas, dependiendo del grado de consolidación y granulometría.

Estructuras

Las estructuras regionales que afectan las unidades del Mesozoico y Cenozoico, presentan una dirección principal norte-sur a noroeste-sureste, algunas de las cuales limitan los rasgos fisiográficos mayores de la región y controlan los cambios de pendiente (SERNAGEOMIN, 2004). Las principales estructuras geológicas en la cuenca corresponden a fallas, pliegues y flexuras.



Fuente: modificado de SERNAGEOMIN (2004) y SERNAGEOMIN (2012).

Figura 2.2 Mapa geológico de la cuenca del río Lluta.

2.3 Suelos

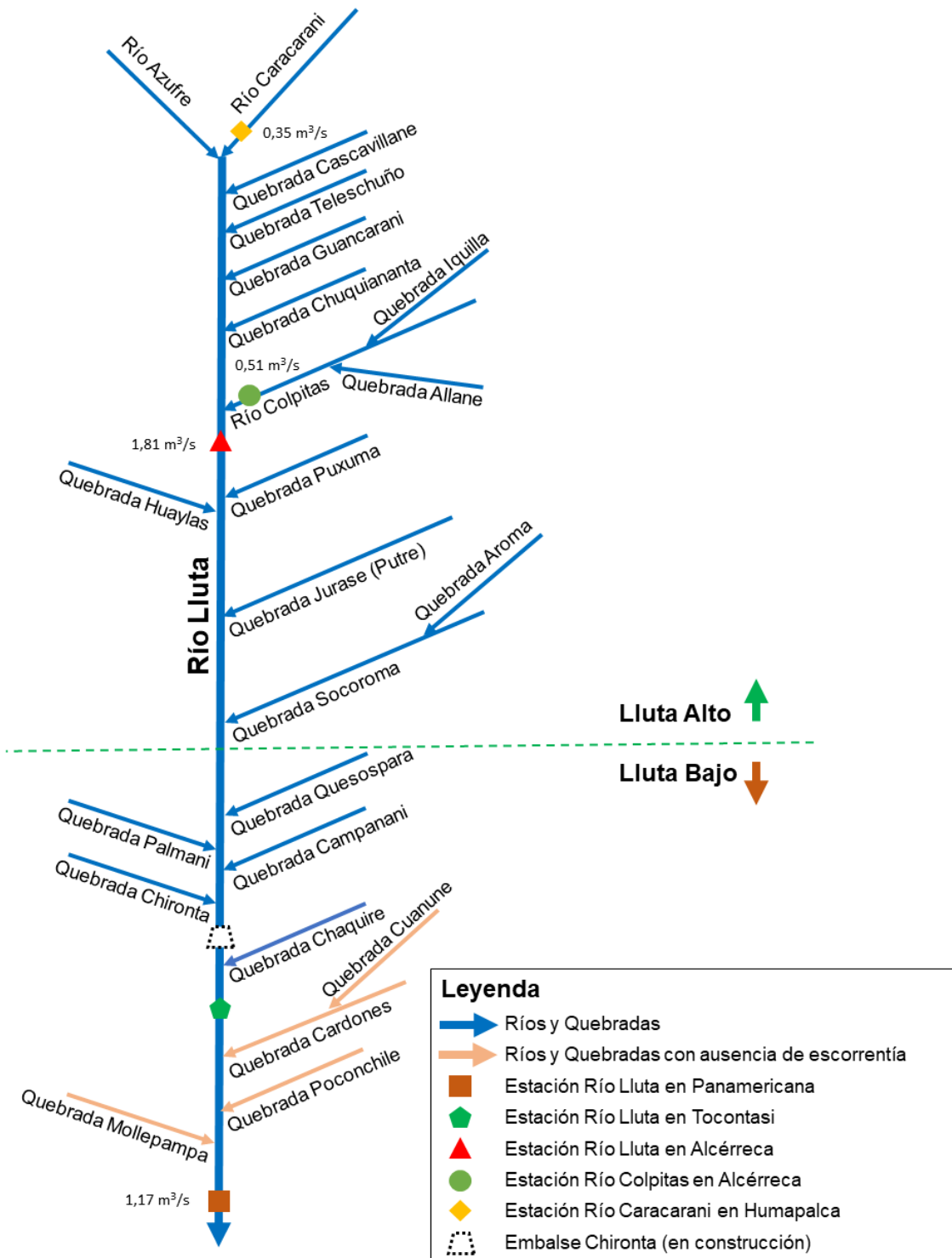
La caracterización de los suelos de la cuenca supone una división en cuatro secciones DGA (2004). En primer lugar, en la sección superior (altiplano) se tienen suelos de textura gruesa, con gran capacidad de retención de agua, permeabilidad alta, lenta

escorrentía y bajo riesgo de erosión. En esta zona se presentan sectores con suelos de alto contenido de materia orgánica, correspondientes a bofedales. En segundo lugar, en la sección media de la cuenca (precordillera), se presentan planos deposicionales o conos aluviales, sobre los que se desarrollan suelos estratificados por lluvias torrenciales del invierno altiplánico. Los suelos tienen una textura gruesa, permeabilidad alta y presentan una lenta escorrentía y bajo riesgo de erosión. En tercer lugar, en la sección baja del valle de la cuenca se tienen suelos con alta salinidad producto de su defectuoso drenaje y asociado a la alta evapotranspiración, lo que permite ascenso por capilaridad de las sales de la napa freática. Los suelos tienen una textura moderadamente fina, permeabilidad media y presentan escorrentía media y riesgo de erosión moderado, dependiendo de las precipitaciones. Por último, en la sección costera los suelos son poco desarrollados, con influencia coluvial. Los suelos tienen una textura franca y gruesa, permeabilidad media a alta y presentan escorrentía media a lenta y riesgo de erosión moderado a bajo.

2.4 Hidrología y clima

A nivel hidrológico, el río Lluta nace de la confluencia de los ríos Azufre y Caracarani en Humapalca, siendo sus tributarios más importantes el río Colpitas, las quebradas Allane, Socoroma, Putre (Jurase), Aroma, Cascavillane, Teleschuño, Guancarane y Chuquiananta. El diagrama unifilar del río que se presenta en la Figura 2.3.

En relación a la forma, la cuenca tiene un coeficiente de compacidad (K_G) de 1,94, indicando que la cuenca no presenta una tendencia alta a concentrar volúmenes de aguas de escurrimiento. La densidad de drenaje es de 0,27 km/km², que representa un drenaje pobre asociado normalmente a cuencas con materiales del suelo resistentes a la erosión, muy permeables y de baja pendiente (DGA, 2016). La curva hipsométrica de la cuenca muestra que esta presenta una topografía variable con cotas que van entre los 4 y 5.960 m s.n.m., teniendo el 50% de la cuenca una altura por sobre los 4.000 m s.n.m. Esta cuenca se considera particular a nivel regional, siendo la única que se desarrolla desde la Cordillera de Los Andes hasta su desembocadura al mar, lo que le confiere al río un escurrimiento de carácter permanente.



Fuente: elaboración propia en base a DGA (2016).

Figura 2.3 Diagrama unifilar del río Lluta.

La caracterización climática de la cuenca indica que se presentan condiciones climáticas de extrema aridez, que se manifiestan especialmente en la depresión intermedia y en las cuencas cordilleranas (Sarricolea *et al.*, 2017). Desde la costa hasta la cordillera se presentan variaciones climáticas dispuestas en franjas longitudinales.

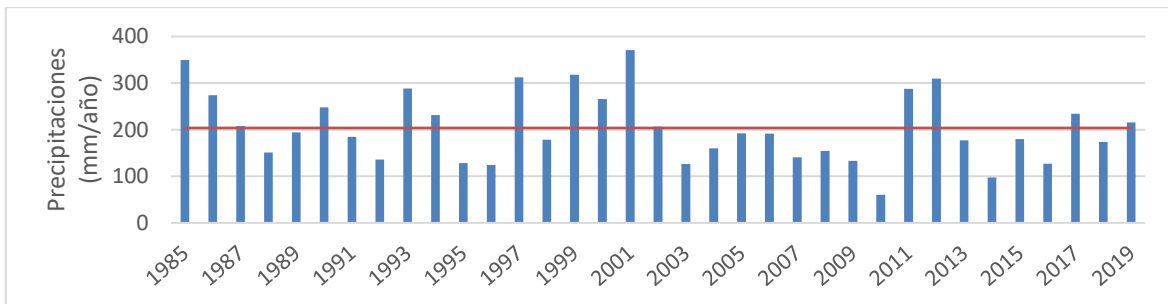
En primer lugar, clima desértico cálido (sector costero), donde la alta humedad por la proximidad del mar y el efecto moderador de la corriente de Humboldt, producen bajas amplitudes térmicas tanto diarias como anuales, manteniéndose durante el año temperaturas entre 20 y 25°C. A partir de los 1.000 m s.n.m. se presenta un clima desértico frío, caracterizado por una baja humedad relativa, cielos permanentemente despejados, grandes cambios de temperatura entre el día y la noche y la ausencia de precipitaciones. Entre los 2.000 y 3.000 m s.n.m. se presenta un clima semiárido, con un régimen de precipitaciones mixto, observándose precipitaciones estivales y de origen ciclónico, aunque escasas en ambos casos. Debido a la altura, las temperaturas son relativamente frías, con un promedio no superior a los 10°C, en el que las oscilaciones térmicas anuales se atenúan, pero las diarias aumentan. A partir de los 3.000 m s.n.m. se presenta el clima frío de tundra por altura de lluvia estival. La elevada altitud hace que las temperaturas sean muy frías, con valores medios que no sobrepasan los 5°C y una gran amplitud térmica entre el día y la noche. Las precipitaciones aumentan, principalmente en verano, asociado a los eventos de "Invierno Altiplánico". A partir de los 5.700 m s.n.m., las temperaturas hacen que las nieves sean perpetuas, caracterizando las cumbres más elevadas de la región, con una humedad relativa en general baja, tipo de clima que se denomina glacial de lluvia estival.

Precipitaciones

Las precipitaciones en la cuenca fueron estimadas a partir del producto CR2MET (Boisier *et al.*, 2018), conjunto de datos climáticos que ya ha sido utilizado en la Actualización del Balance Hídrico Nacional (DGA, 2017a). La última versión disponible (versión 2) abarca el período 1979-2019 a escala diaria¹. Este producto fue corregido considerando la estadística disponible en las estaciones meteorológicas de la DGA.

La precipitación media anual en la cuenca se estima en 204 mm/año, con valores cercanos a cero en la desembocadura, y superiores a 380 mm en las zonas de mayor altura (Figura 2.6). Entre los años 1985 y 2019, la precipitación anual ha variado entre 60 y 371 mm/año (Figura 2.4).

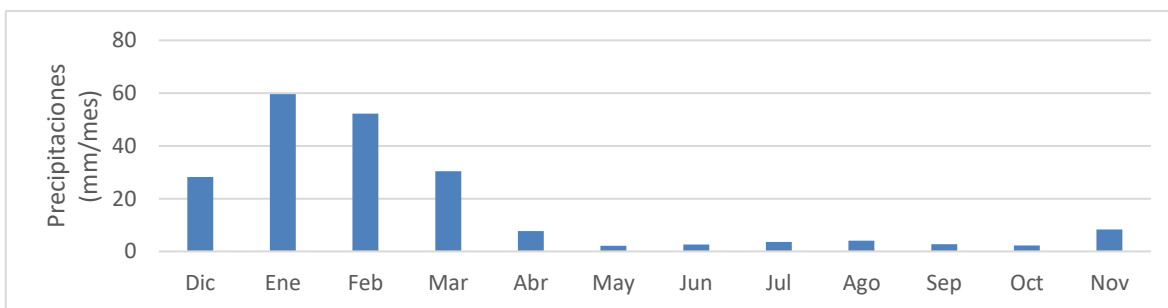
¹ Datos Productos Grillados CR2MET v2 [en línea] <http://www.cr2.cl/datos-productos-grillados/> (visitado por última vez el 30/04/2021)



Fuente: elaboración propia.

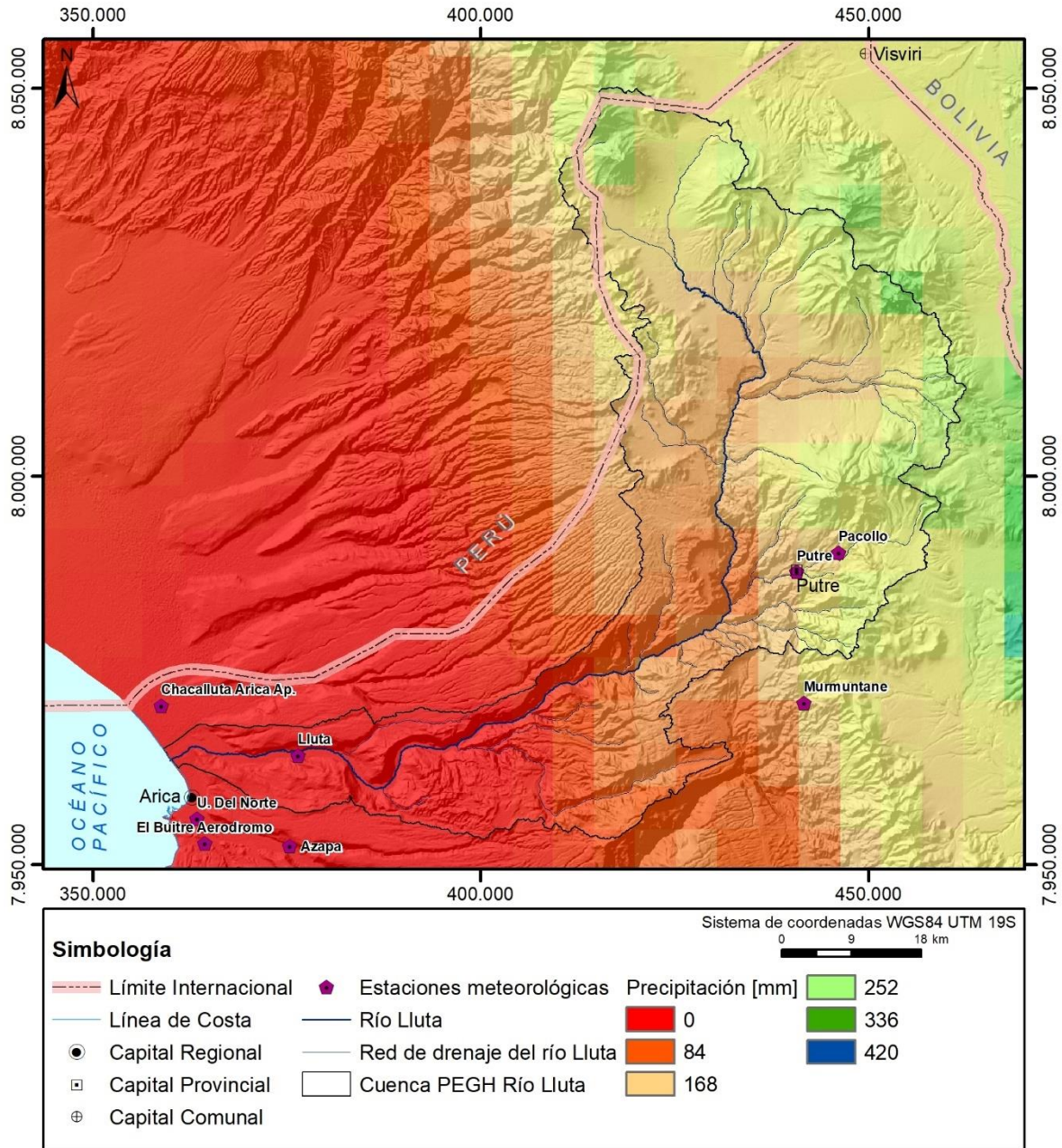
Figura 2.4 Precipitación anual cuenca Río Lluta, estimado a partir de producto CR2MET v2 corregido.

A nivel medio mensual (Figura 2.5) las precipitaciones muestran una marcada estacionalidad, con meses húmedos (diciembre, enero, febrero y marzo) y meses con precipitaciones esporádicas o nulas (entre abril y noviembre). Este régimen de precipitaciones es característico para las regiones del norte de Chile, como la región de Arica y Parinacota, en la cual las precipitaciones se concentran en la temporada estival producto del denominado “Invierno Altiplánico”.



Fuente: elaboración propia.

Figura 2.5 Variación mensual de la precipitación en la cuenca del río Lluta.

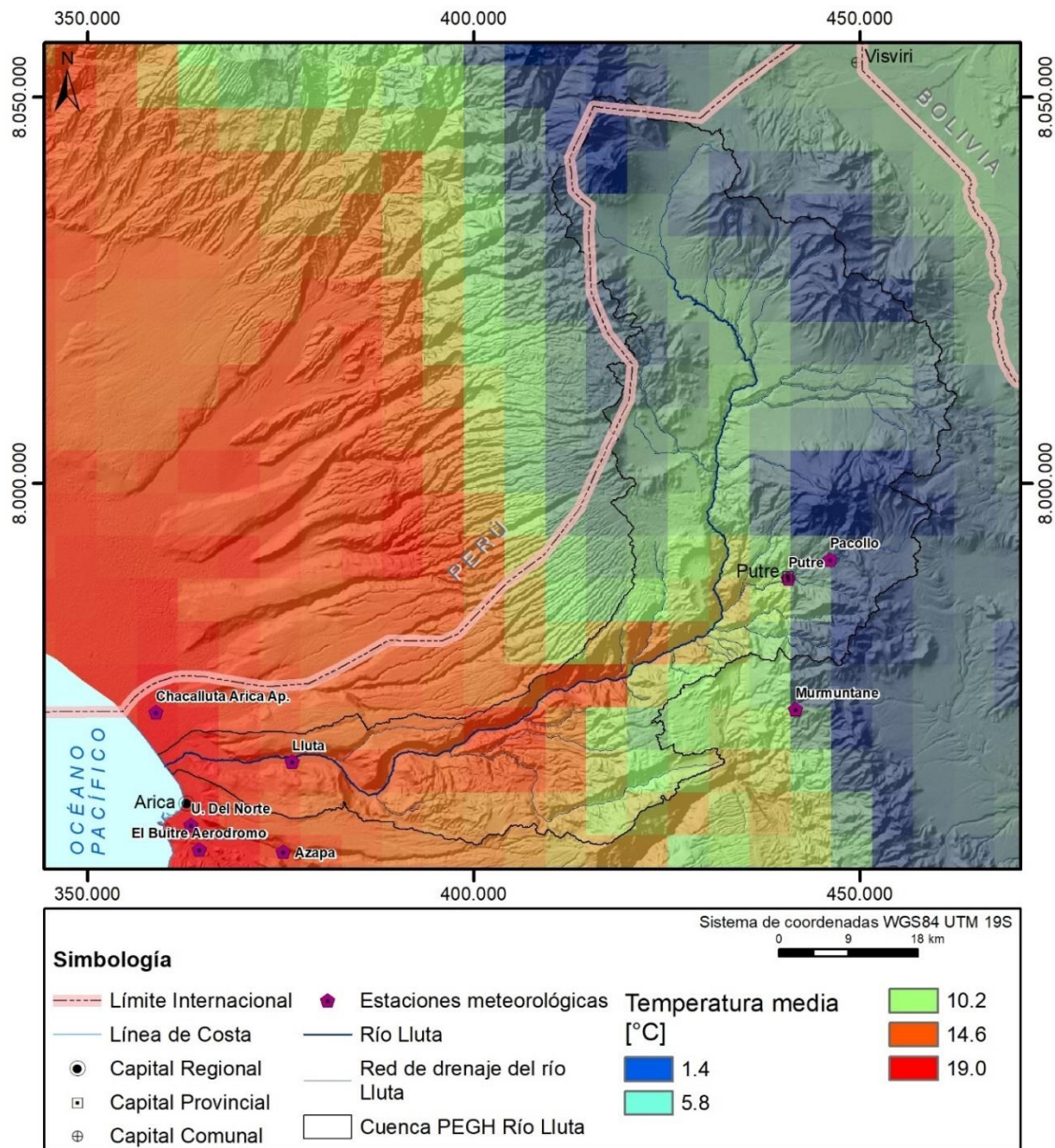


Fuente: elaboración propia en base a antecedentes CR2MET.

Figura 2.6 Precipitación media anual (mm) en cuenca del Río Lluta, obtenida mediante análisis de producto CR2MET v2.

Temperaturas

Las temperaturas medias anuales de la cuenca, caracterizadas utilizando los antecedentes del producto satelital CR2MET v2, muestran una variación entre los 19°C, en el sector de la desembocadura y valores bajo los 0°C en las zonas más altas (Figura 2.7).



Fuente: elaboración propia en base a antecedentes CR2MET v2.

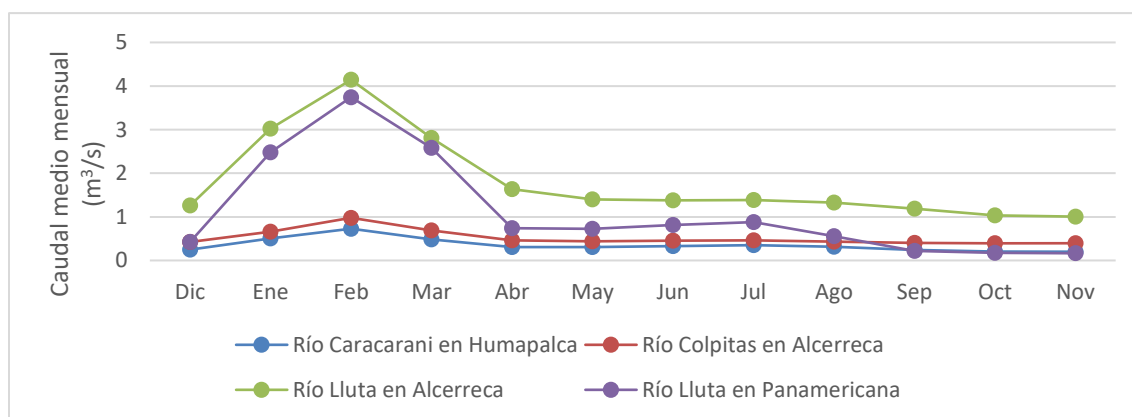
Figura 2.7 Distribución de la temperatura media anual (CR2MET v2) en la Cuenca del Río Lluta (1985-2019).

Caudales

El caudal de la cuenca está caracterizado por los registros de 5 estaciones fluviométricas identificadas como efectivamente vigentes. Los caudales medios anuales promedios medidos en las estaciones de la cuenca para el periodo 1985-2019, van desde los 0,35 m³/s en la estación río Caracarani en Humapalca (3.908 m s.n.m.) y los 0,51 m³/s en la estación río Colpitas en Alcerreca (3.251 m s.n.m.), hasta un caudal de 1,81 m³/s en la estación Río Lluta en Alcérreca (3.550 m s.n.m). Aguas abajo, de

acuerdo a lo estimado por DGA (2016), el caudal medio anual de la estación Río Lluta en Tocontasi, ubicada a de 1.850 m s.n.m., alcanza un valor de 3,24 m³/s. Esta estación controlaría el 75% de la cuenca de drenaje y registra prácticamente el caudal total de la cuenca (DGA, 2010). Sin embargo, y pese a la ubicación estratégica de esta estación, el análisis de los datos muestra una disponibilidad de datos inferior al 25%, asociado a los constantes problemas que presenta la estación producto de las crecidas durante los eventos del “Invierno Altiplánico”. Finalmente, la estación Río Lluta en Panamericana (10 m s.n.m.), ubicada prácticamente en la desembocadura del río al Océano, el caudal promedio anual desciende considerablemente hasta 1,17 m³/s. Este descenso se explica por las extracciones y producto de la infiltración hacia el acuífero.

A nivel mensual, los caudales presentan un régimen dominado por el efecto del “Invierno Altiplánico” con mayores caudales en los meses de enero, febrero y marzo (Figura 2.8). En todas las estaciones el río muestra un flujo permanente a lo largo del año, con caudales base que bordean los 0,3 m³/s en la estación de Río Lluta en Panamericana.



Fuente: elaboración propia.

Figura 2.8 Caudal medio mensual en el río Lluta, periodo 1985-2019.

Eventos extremos

En relación a los eventos extremos, los aluviones son el evento más patente en la cuenca del Río Lluta. La ocurrencia de aluviones como eventos torrenciales de cierta consideración, ha traído importantes consecuencias en el Valle de Lluta Bajo en el pasado, sobre todo al sector agrícola, dado el uso de llanuras de inundación muy cercanas al río, como zonas de cultivos. El análisis de frecuencia realizado sobre los caudales máximos diarios en la estación Río Lluta en Panamericana entregó un caudal de 270 m³/s para un periodo de retorno de 100 años, valor muy elevado en una cuenca que presenta un caudal medio anual de entre 1,0 a 3,0 m³/s de caudal medio anual.

Cambio climático

Para caracterizar las condiciones climáticas futuras se consideraron los Modelos de Circulación Global (*Global Circulation Model*, GCM) CSSM4, CSIRO, IPSL y MIROC, a partir de los datos del estudio de Actualización del Balance Hídrico Nacional (ABHN) (DGA, 2017a, 2018a) para el periodo futuro (2020-2050).

Cada modelo climático utiliza un forzamiento radiativo particular asociado a alguna Trayectoria de Concentraciones Representativa (RCP, por sus siglas en inglés), las cuales representan una trayectoria de concentraciones (no emisiones) de gases de efecto invernadero adoptada por el IPCC. El forzamiento radiativo determina la magnitud del cambio para las variables atmosféricas de interés, las cuales normalmente son temperatura del aire y precipitaciones (DGA, 2017a). La reciente Actualización de Balance Hídrico Nacional (DGA, 2017a) utilizó trayectorias RCP 8.5, lo que indica que la radiación incidente aumenta en $8,5 \text{ W m}^{-2}$ hasta el año 2100, respecto de la era preindustrial. Los escenarios RCP 8.5 corresponden a los escenarios más desfavorables disponibles, pero que resultan ser lo más consistente con los actuales niveles de emisiones en el planeta (DGA, 2017a).

Los modelos climáticos muestran que la sensibilidad climática en la zona es bastante incierta, y no hay una tendencia común para la variación de las precipitaciones en la zona de acuerdo a los 4 GCM utilizados. A nivel promedio las proyecciones de precipitación y temperatura para el periodo futuro fueron determinadas a partir de la aplicación del método "*Delta Change*", vale decir, considerando la variación media de la serie histórica y futura para cada GCM. Estas variaciones indican una disminución leve de la precipitación anual de la cuenca (de un 3,3%), y un aumento en la temperatura media anual (+1,1 °C).

2.5 Hidrogeología

A nivel hidrogeológico, en la subcuenca Río Lluta Alto, el acuífero corresponde a depósitos fluviales ubicados en las áreas inmediatas a los cursos superficiales que circulan en los cañones, ya que tales cursos constituyen los niveles bases de recarga de agua, desde Caracarani hasta la Quebrada Allane. A partir de la quebrada Huaylas, el río Lluta se encajona en rocas volcánicas de baja permeabilidad en las que no se desarrollan acuíferos. En el caso de la subcuenca Río Lluta Bajo, se abre un valle encajonado en rocas de baja permeabilidad de las formaciones Oxaya y Azapa, el área de inundación del valle está formado por materiales de derrumbes de laderas y corriente de barro que constituyen acuíferos de baja importancia hidrogeológica (DGA, 2016). En esta zona se han identificado dos sistemas acuíferos ubicados en los depósitos fluviales (acuífero superior) distribuidos entre la carretera Panamericana y Rosario, y en la Formación Concordia (acuífero inferior), localizada aguas abajo de la carretera (DGA, 1995).

Unidades Hidrogeológicas

Se definen nueve unidades hidrogeológicas para la cuenca del Río Lluta, en base a la información de los antecedentes disponibles. La unidad de mayor importancia hidrogeológica está asociada a los depósitos aluviales y fluviales del Holoceno. La recarga principal se produce por la infiltración de las precipitaciones en la subcuenca del Lluta Alto, mientras que en la subcuenca del río Lluta Bajo el acuífero se recarga por el aporte del río Lluta al acuífero, principalmente por las crecidas del cauce durante el invierno altiplánico, y por la infiltración de las aguas de riego en los campos de cultivo.

Parámetros hidráulicos

En la Tabla 2.2 se muestran los valores de los parámetros hidráulicos asignados a cada unidad hidrogeológica, en base a los antecedentes recopilados. La distribución espacial de las conductividades hidráulicas que se obtuvo a partir de la estimación de los parámetros hidráulicos obtenidos en las pruebas de bombeo realizadas en el valle del Lluta tanto por DGA (1995) y ESSAT (1998b), varían desde 0,15 m/d hasta 2,6 m/d y el coeficiente de almacenamiento oscila entre 0,6 y 11%.

Tabla 2.2 Parámetros hidráulicos para cada unidad hidrogeológica de la cuenca del río Lluta.

Cuenca	Subcuenca	Unidad Hidrogeológica	Régimen	T (m ² /día)	K (m/día)	S _s (m ⁻¹)	Sy (%)	Observaciones
Río Lluta	Alto Bajo	I	Libre	20-600	0,1-10	--	1-8	K, Sy por pruebas de bombeo, DGA (1995) y ESSAT (1998b)
	Alto	II	Libre		1E ⁻⁷ a 1E ²	--	6-38	K estimado por Domenico & Schwartz (1990) para materiales diversos. Rango de Sy en acuíferos no-consolidados por Morris & Johnson (1967)
	Alto	III	Libre		1E ⁻² -1E ²	--		K estimado por Aguaconsult (2010) depósitos volcánicos
	Alto	IV	Libre		8E ⁻⁷ - 2E ⁻³	--		K estimado por Domenico & Schwartz (1990) para rocas sedimentarias
	Alto Bajo	V	Libre		1E ⁻⁶ - 1E ²	--	--	K estimado por Aguaconsult (2010) Fm. Huaylas y por Domenico & Schwartz (1990) para rocas sedimentarias
			Confinado			--		
	Alto Bajo	VII	Libre		7E ⁻⁴ - 30	--	--	K estimado por Doménico & Schwartz (1990) y S por Domenico & Miffilin (1965) para roca fracturada.
			Confinado			3E ⁻⁶ -7E ⁻⁵		
Alto Bajo	VIII	Libre		1E ⁻⁵ -1	--	--	K estimado por Aguaconsult (2010) de la Fm. Lupica. S por Domenico y Miffilin (1965)	
		Confinado			3E ⁻⁶ -1E ⁻⁵			

Fuente: DGA (2016).

Niveles Piezométricos

La información de niveles piezométricos en la cuenca del río Lluta, se concentra principalmente en la subcuenca del río Lluta Bajo donde se cuenta con pozos de exploración, de monitoreo y de producción. Se ha realizado un análisis de la evolución temporal de los niveles freáticos mediante, de las cuales se ha extraído la información desde el año 2000 a la fecha. El nivel freático en estos pozos, se encuentra a profundidades del orden de los 8-10 mbnt para el pozo J-A, el cual se sitúa más cercano al cauce del río Lluta, a unos 22-23 mbnt en el pozo J-1 y entorno a los 33,5 m en los pozos J-B y J-2 (Figura 2.9). La tendencia de los niveles en el tiempo se ha mantenido cercana a la estabilización, mostrando tan sólo el pozo J-A, una leve tendencia al descenso de nivel en el tiempo.

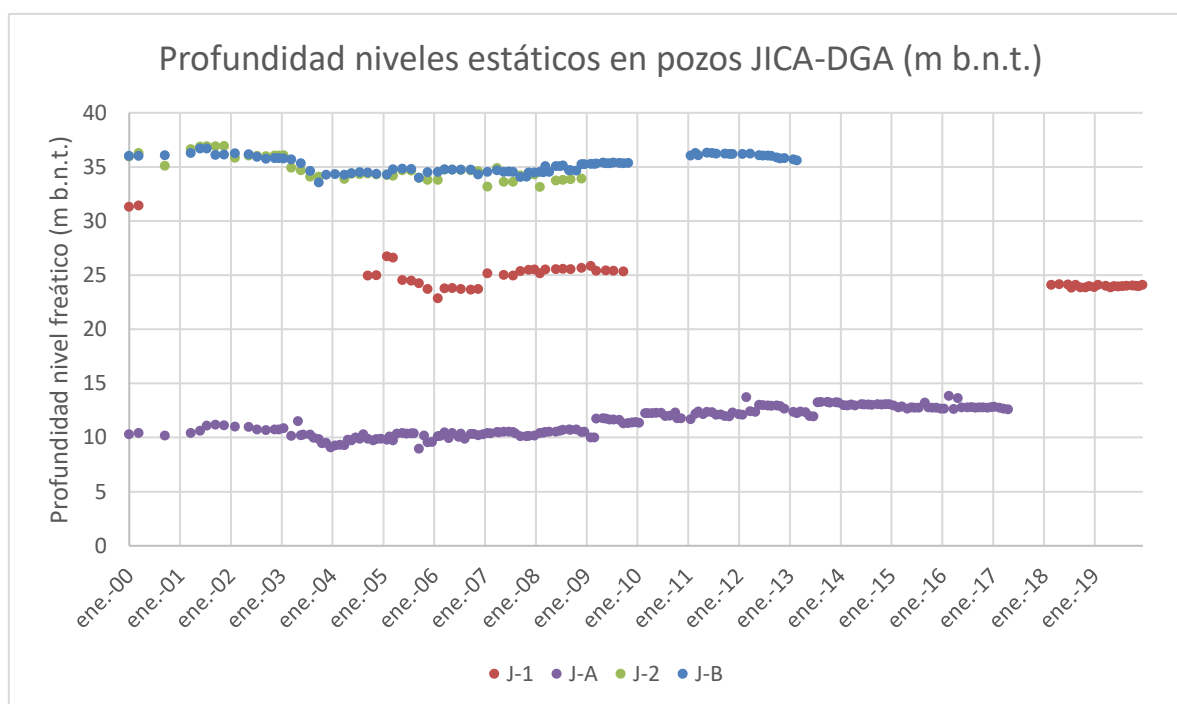
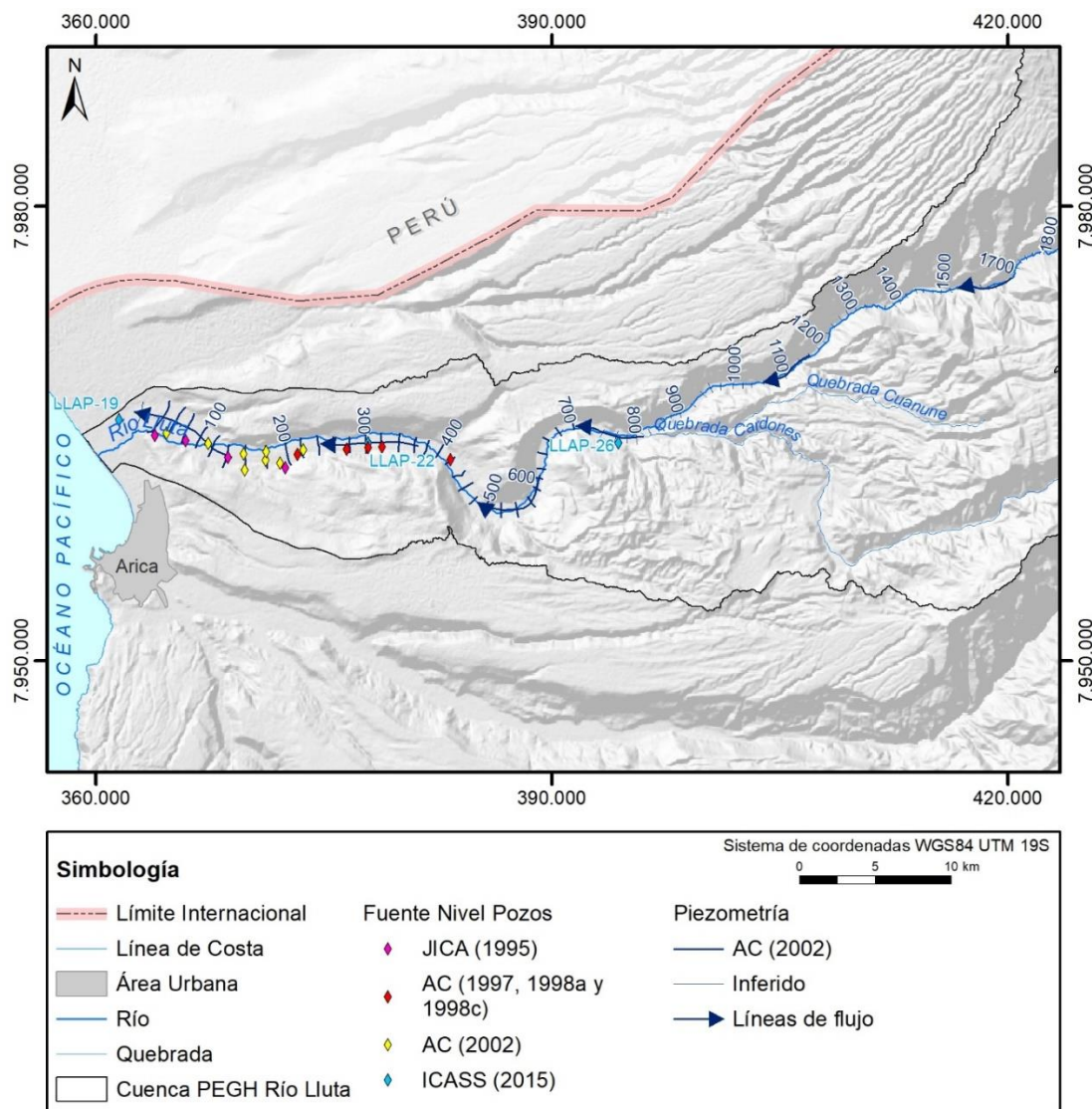


Figura 2.9 Evolución temporal de la profundidad del nivel freático en metros bajo el nivel del terreno (m b.n.t.) en pozos JICA-DGA, periodo 2000-2019.

Piezometría

Para la subcuenca del río Lluta Bajo, el mapa piezométrico que presenta la DGA (2016), se sustenta con datos duros obtenidos de mediciones en pozos y sondajes, aunque estas sólo se distribuyen en el entorno cercano al río, en la Unidad Hidrogeológica I, quedando el resto del área sin información de mediciones de nivel. En la Figura 2.10 se observa que el flujo subterráneo va desde este a oeste, por el

valle del río Lluta. El gradiente hidráulico fue estimado en 2% en base a la información de niveles de los pozos LLAP-26 y LLAP-19.



Fuente: modificado de DGA (2016).

Figura 2.10 Mapa piezométrico unidad Hidrogeológica I, subcuenca del río Lluta Bajo.

2.6 Actividades económicas

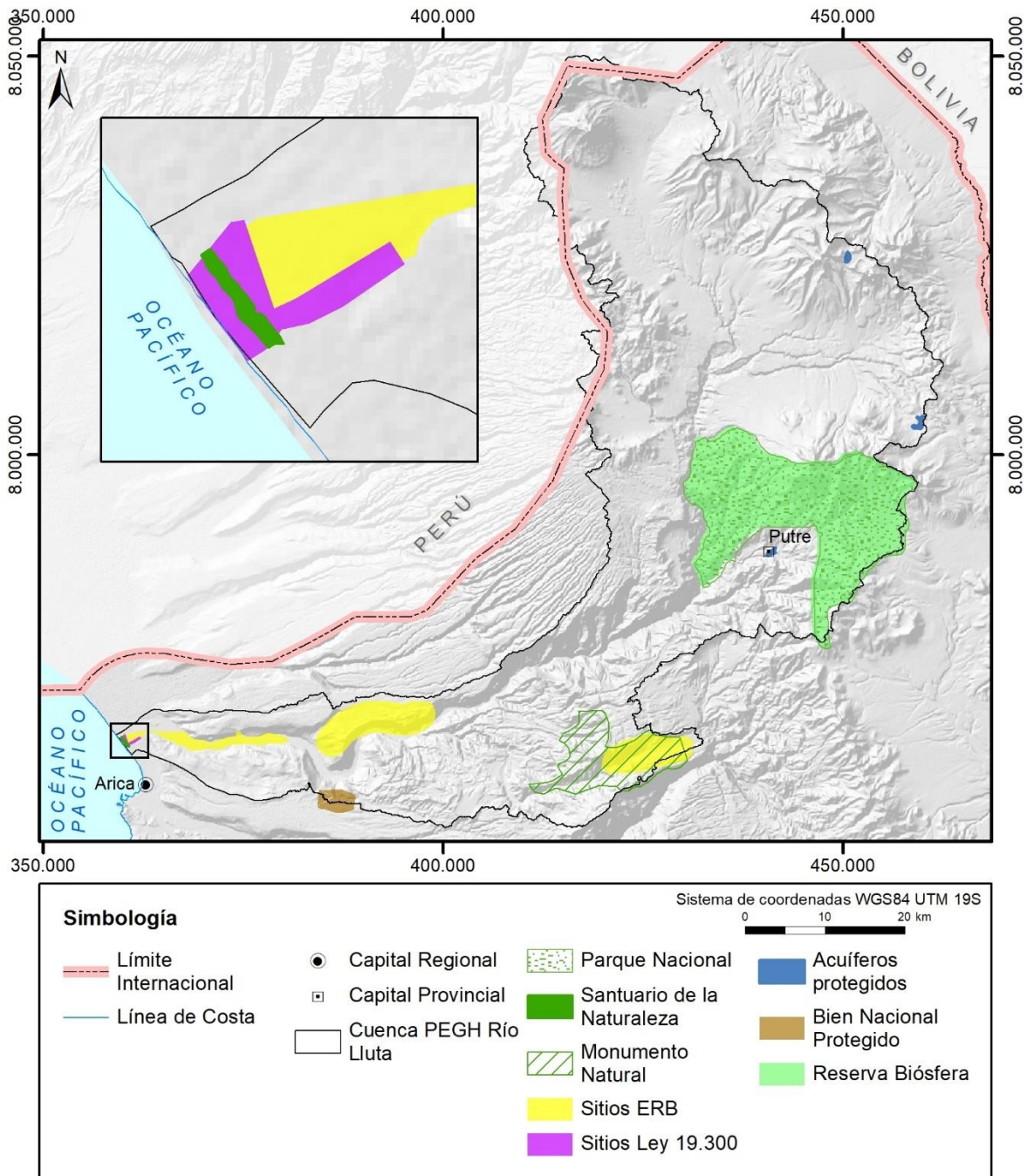
Las actividades económicas más importantes en la cuenca del río Lluta corresponden a las actividades agropecuarias, y en menor medida al turismo, minería e industria. En la subcuenca del Lluta Alto se genera actividades de ganadería de camélidos y ovinos, y una agricultura de subsistencia dada principalmente por alfalfa y orégano. En la subcuenca del Lluta Bajo, las principales actividades económicas se dan en el Valle de Lluta, en el que se da una agricultura de mediana producción, destacando el maíz,

cebolla, ajo y alfalfa, así como una gran cantidad de granjas de aves. A la altura de la panamericana se ha desarrollado el Parque Industrial Puerta América, en el que se emplazan pequeñas industrias y servicios.

2.7 Dimensión ambiental

En la cuenca se han identificado 11 sitios con algún grado de protección con fines de conservación, ya sea que formen parte del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNAPE) o de otros instrumentos de conservación. Estos sitios corresponden a Monumentos Naturales, Parques Nacionales, Santuarios de la Naturaleza, Bienes Nacionales Protegidos, Reservas de la Biósfera, Acuíferos Protegidos o Sitios ERB (Estrategia Regional de Biodiversidad), y son presentados en la Figura 2.11. Adicionalmente, según el Inventario de humedales la cuenca se encuentra cubierta por humedales en un 2,1% de su superficie, encontrando 7 tipos de clasificaciones, y destacando los humedales del tipo Andino.

En relación a la presencia de glaciares, de acuerdo al inventario de glaciares de la DGA, en la cuenca del río Lluta existen 97, distribuidos entre glaciares rocosos, glaciares de montaña y glaciaretos, los cuales cubren un área total de 6,36 km². Estos se encuentran ubicados principalmente en el límite norte y oriental de la cuenca, en los centros volcánicos y cordones montañosos, donde se presentan las mayores altitudes.



Fuente: Elaboración propia con datos del MMA (2020a).

Figura 2.11 Sitios o Áreas Protegidas en la cuenca del Río Lluta.

2.8 Infraestructura hídrica

Las principales obras de infraestructura hidráulica en la cuenca corresponden a la red de canales que constituyen cada una de las comunidades de agua de la cuenca y que comprende la Junta de Vigilancia del Río Lluta, obras que cuentan en general con

bocatomas muy escuálidas, tipo patas de cabra, y que son arrastradas o se pierden con las grandes crecidas, y las obras de tecnificación de riego, que a nivel regional alcanzan el 20%, asociado fuertemente al cultivo de hortalizas y frutales (CNR, 2016). Se estima que este porcentaje es menor en Lluta debido a que la cuenca de Azapa aloja la mayoría de estos sistemas. Además, se tiene la infraestructura de defensas fluviales y de protección de riberas, en el valle Bajo del río Lluta y en algunos casos asociados a obras viales y de conectividad, e infraestructura de agua potable y alcantarillado, 5 sistemas de APR operativos, no todos los cuales tienen asociado un sistema de saneamiento rural, lo cual constituye una problemática importante a resolver a nivel regional. Por último, se destaca en la cuenca la presencia de los Pretiles del río Azufre, que mitigan la contaminación natural del río Lluta, los que se ubican en Pampa Titire. Estos poseen 14 estanques evaporadores, con una superficie evaporable total de 40 ha, que atiende un caudal promedio del río 105 l/s, los que fueron construidos el año 1967 y han sido reparados en múltiples oportunidades a lo largo de los años.

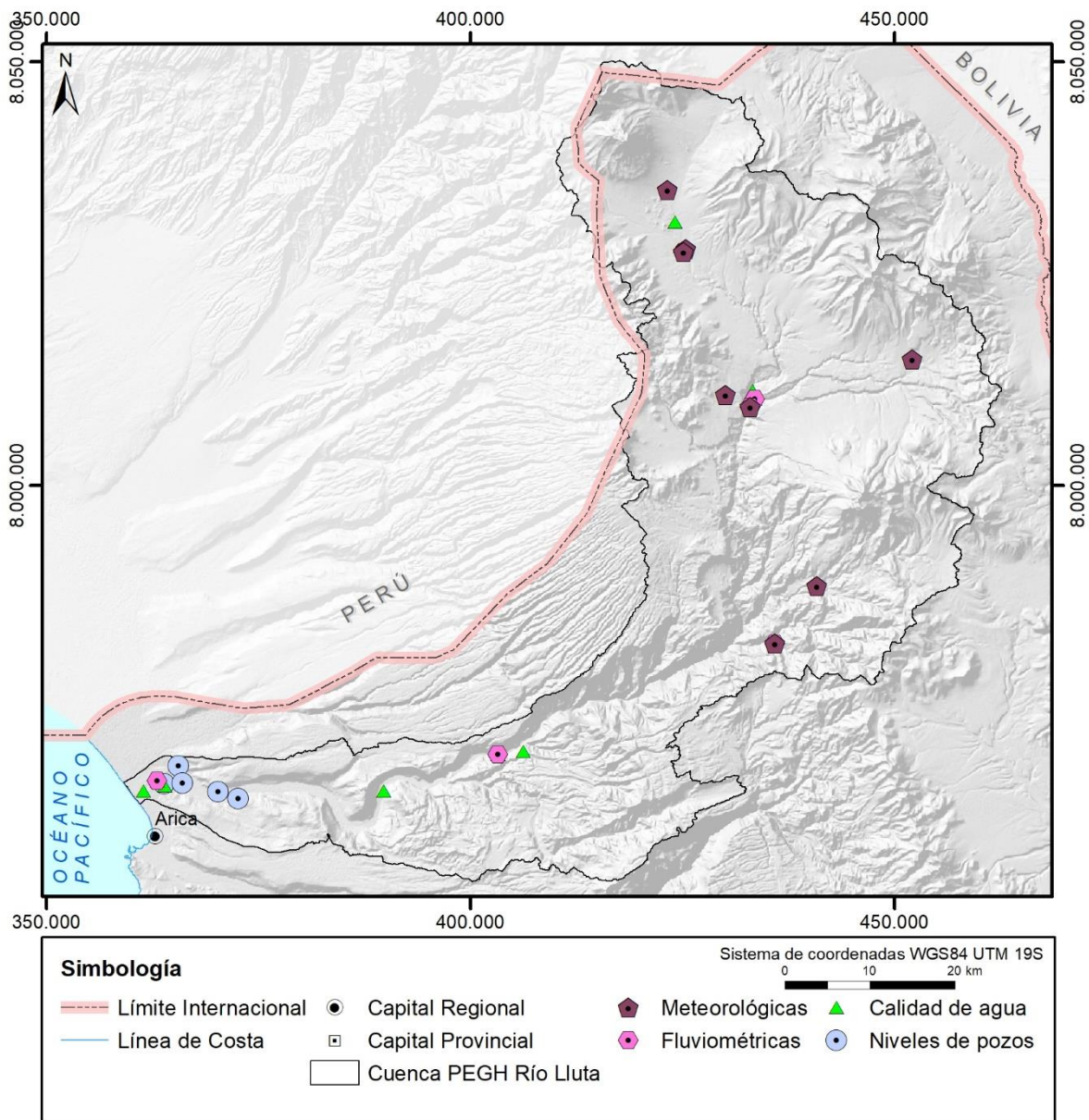
En relación a las redes de medición la DGA posee una red hidrométrica a lo largo de la cuenca la cual permite conocer datos hídricos en tiempo real o diferido, y establecer patrones de comportamiento histórico de las condiciones hidrológicas a lo largo del país. La red hidrométrica se divide según el tipo de información que recopila, existen 8 tipos de estaciones; meteorológicas, fluviométricas, niveles de pozos, sedimentométricas, calidad de agua, nivel de lagos y embalses, glaciológicas y ruta de nieve.

De acuerdo a la Mapoteca DGA (abril 2020), en la cuenca del río Lluta hay un total de 32 estaciones, de las cuales 8 son meteorológicas, 7 fluviométricas, 5 de niveles de pozos, 1 sedimentométricas, 11 de calidad de agua, y ninguna de nivel de lagos y embalses, glaciológicas o de ruta de nieve. En la Tabla 2.3 se presenta el número de estaciones por tipo y por su distribución a lo largo de las subcuencas.

Tabla 2.3 Número y distribución por subcuencas de las estaciones vigentes de la red hidrométrica en la cuenca del río Lluta.

Red de medición	Número de estaciones		
	Total	Lluta Alto	Lluta Bajo
Meteorológica	8	8	-
Fluviométrica	6	4	2
Niveles de pozo	5	-	5
Sedimentométrica	1	-	1
Calidad de agua	11	5	6

Fuente: elaboración propia a partir de datos Mapoteca DGA (abril 2020).



Fuente: elaboración propia, base Mapoteca DGA y estudio DGA (2016).

Figura 2.12 Red hidrométrica de la DGA en la cuenca del Río Lluta. Incluye solo estaciones vigentes.

2.9 Nuevas fuentes

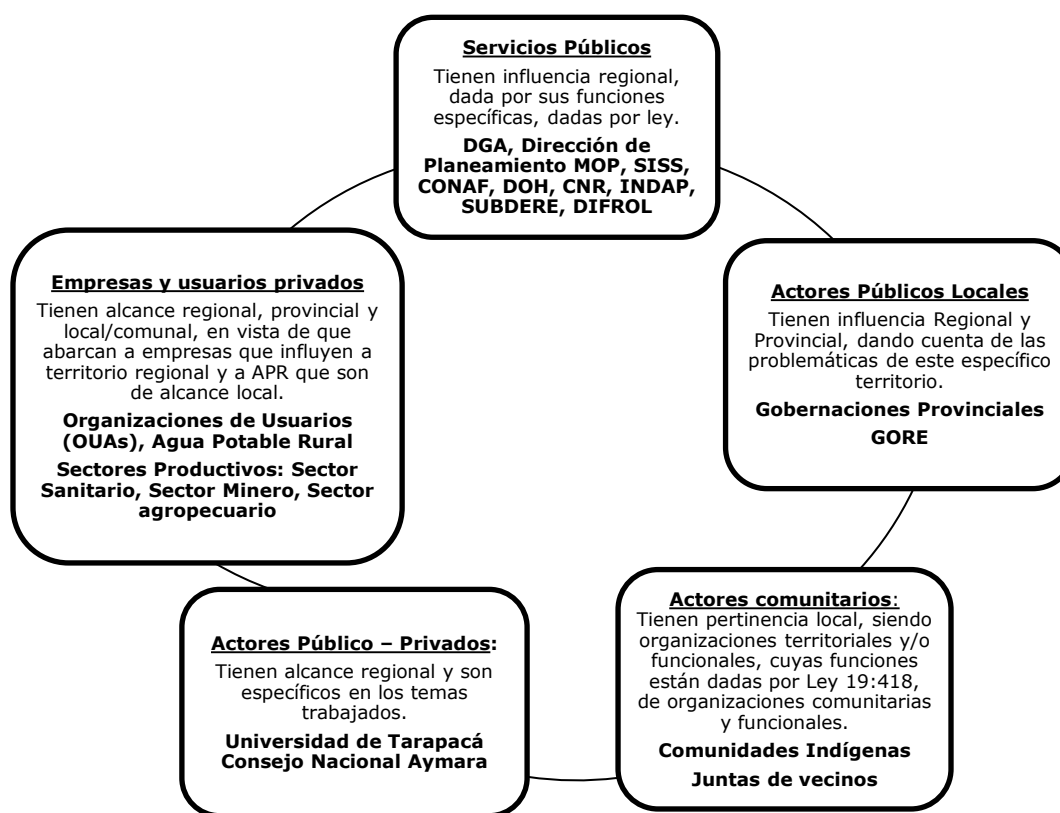
Se han identificado en la cuenca 5 tipos de nuevas fuentes, relacionadas a iniciativas o proyectos que buscan aumentar la oferta hídrica, que corresponden a nuevos acuíferos, recarga artificial de acuíferos, desalinización de agua, uso de aguas servidas tratadas y sistemas de atrapanieblas.

2.10 Gobernanza

La gobernanza del agua a nivel de cuenca da cuenta de las formas en la que los actores se vinculan, pensando en la gestión de un Plan que permita el manejo del recurso hídrico en este territorio.

Mapa de agentes

Se convocaron agentes y/o actores relevantes en la temática hídrica en la Cuenca de Lluta. El listado acotado de actores de esta cuenca se divide en cinco grupos, cuya definición está anclada en el territorio. Esto quiere decir que el tipo de actor señalado en el informe está determinado por su presencia y acción territorial, la que se presenta sintéticamente en el esquema de la Figura 2.13.



Fuente: elaboración propia.

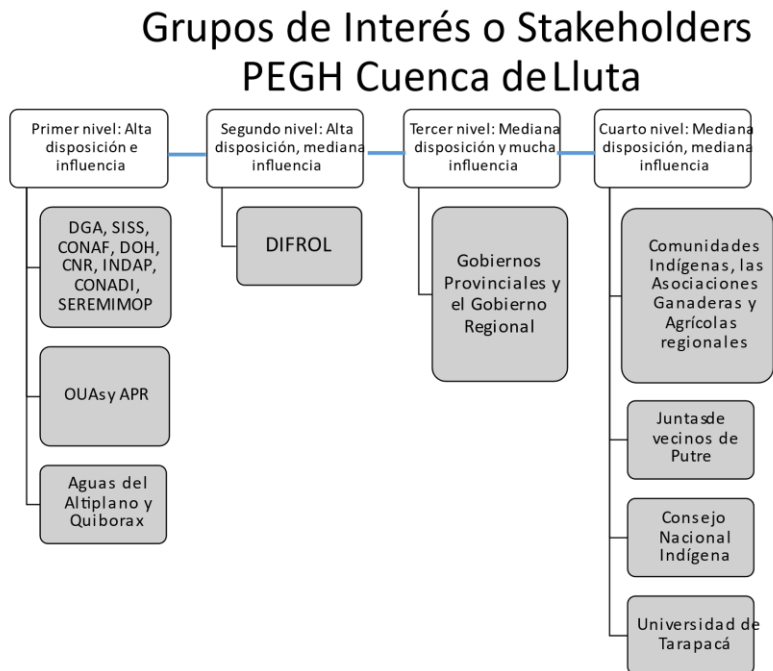
Figura 2.13 Representación general de actores/agentes vinculados al recurso hídrico, PAC Lluta, 2021.

Relaciones de interés e influencia

Dentro de las herramientas que permiten establecer la posición de diversos actores frente a un tema específico, encontramos aquella que lo hace a partir de parámetros de influencia/interés de esos actores. Esta categorización queda dada por:

- El grado de influencia se establece a partir de su nivel de injerencia en temas hídricos, es decir, su grado de **poder** en este tema
- El grado de interés, acorde a CNR (2016) tiene que ver con la necesidad y/o beneficios, respecto de las determinaciones de inversión, en proyectos, estudios o programas, etc.

De este modo, la conformación de los actores como 'grupos de interés' o stakeholders, de esta cuenca, pensados como agentes que permiten la buena administración de este recurso, quedaría como se muestra en la Figura 2.14.



Fuente: elaboración propia.

Figura 2.14 Grupos de interés o Stakeholders PEGH de la cuenca del río Lluta

Identificación de principales problemáticas

En este punto se describen algunos de los problemas que los diversos actores identificaron en el proceso de PAC. La estructura vincula los problemas manifestados por los distintos actores con los ejes y objetivos que son parte del Plan de Gestión de la Cuenca. Los ejes de trabajo en el Plan Estratégico de Gestión Hídrica, son los siguientes:

- EJE 1: uso estratégico del recurso hídrico: brechas entre oferta y demanda, riesgos hídricos
- EJE 2: información y monitoreo del recurso hídrico
- EJE 3: Gestión y gobernanza del agua
- EJE 4: Conservación y protección del recurso y del ecosistema hídrico

En relación al Eje 1, es posible observar que la disminución del recurso hídrico es un tema preocupante ante eventos como las sequías y el mal manejo del recurso en época de crecidas. Esta situación se complejiza debido a la mala calidad de la infraestructura de canales y riberas.

Con respecto al eje 2, de información y monitoreo del recurso hídrico, uno de los problemas más recurrentes es la necesidad de mejorar la información que las comunidades reciben por parte de instancias técnicas; otra temática relevante es el mejoramiento de los sistemas de fiscalización del recurso hídrico. Sin embargo, las capacidades que deben instalarse en la comunidad para manejar y gestionar el recurso hídrico es el centro de este eje. Asimismo, algunas de las alternativas de solución no siempre son vistas como efectivas por los actores de la cuenca, como el uso de las aguas servidas o el reúso del recurso, probablemente por un tema más bien sociocultural, que debe ser abordado.

Bajo el Eje 3, de gestión y gobernanza del agua, se observa la necesidad de generar una buena coordinación entre los diversos actores y sectores a los que representan permitirá una buena gestión de un Plan Hídrico con posibilidad de generar gobernanza en la cuenca. Para esto se requiere una acción coordinada e integral de los actores y sus diversos intereses en la cuenca.

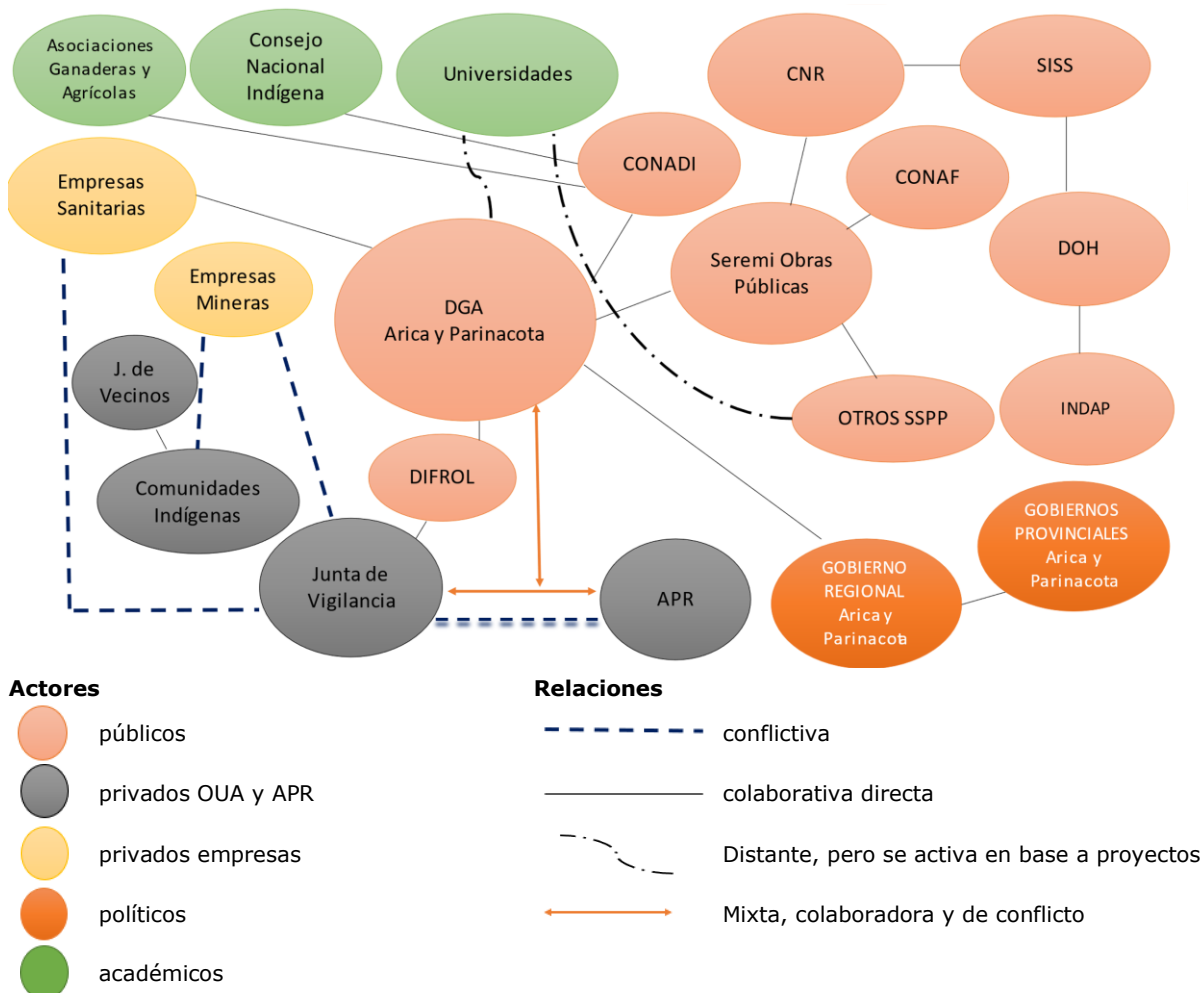
Por último, con respecto al Eje 4, de conservación y protección del recurso y del ecosistema hídrico, se observa la necesidad de generar nueva información afincada en la ciencia, para entregar soluciones a lo que se entiende como una preocupante y sistemática disminución de los caudales en la cuenca.

Sociograma de redes de actores relevantes

El sociograma es una forma de poder visualizar las relaciones entre los distintos actores y poder representar la estructura a través de lo que se puede llamar una radiografía grupal a través de la observación y contextualización de las distintas relaciones entre sujetos que conforman un grupo.

Si bien es cierto, la situación de pandemia generó una modificación de la metodología PAC, que impidió una relación directa con los actores relevantes de la cuenca. De igual forma se propone un esquema que resume los vínculos de forma general en este territorio.

Este sociograma (Figura 2.15) muestra que la DGA debe ser la instancia que aglutine los esfuerzos por generar gobernanza en la cuenca de Lluta. De este modo, es posible afrontar los conflictos que se observan en la cuenca, principalmente desde los actores comunitarios (en negrilla) con los actores privados (en amarillo), en vista de que los primeros consideran que los segundos son responsables de la escasez y mala calidad del recurso con el que cuentan hoy. No es menor la desconfianza de la comunidad hacia los servicios públicos.



Fuente: elaboración propia.

Figura 2.15 Sociograma de redes de actores.

Brechas de coordinación

- Hay diferencias en las capacidades técnicas y organizacionales entre OUAs, en particular de APR y comunidades de agua, que deben ser niveladas para mejorar la gestión del recurso.
- No existen instancias de participación y coordinación entre miembros de las OUAs y/o entre las organizaciones de usuarios, de forma macro-organizacional.

Esto puede deberse a los conflictos que se presentan a la hora de distribuir el recurso en la cuenca.

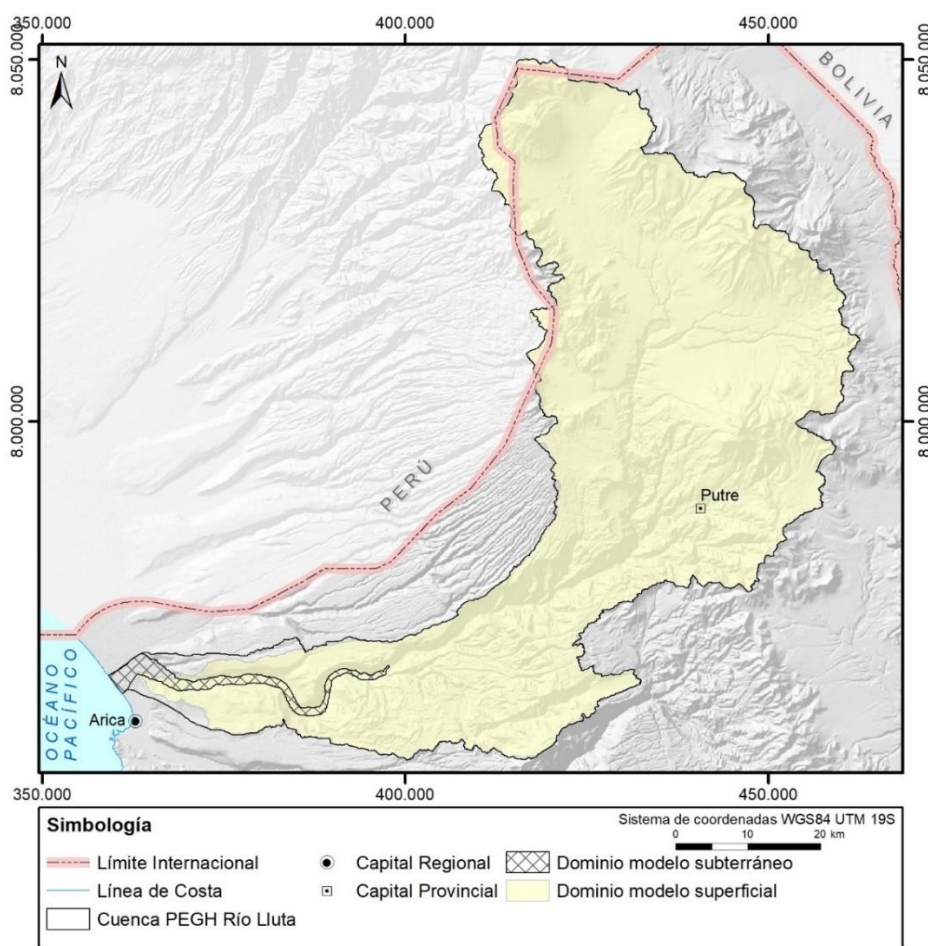
- Existe solo una Junta de Vigilancia en la cuenca, que no representa a los usuarios de la parte alta de la misma, específicamente el sector de Putre.
- APR y OUA ven complejizadas sus relaciones y coordinaciones con los distintos organismos públicos y privados con los que deben vincularse en vista de distintas capacidades de gestión.
- APR muestran vínculos con, por ejemplo, la DOH, que son poco efectivos y muchas veces, conflictivos

Brechas de información

- Respecto a la calidad de las aguas y al cumplimiento de la norma de calidad de agua para consumo humano y para la producción agrícola.
- La información pública disponible sobre las transacciones de DAA es insuficiente y los registros para esto tienen diversos objetivos y formas de registrar dicha información.
- Desconocimiento de información manejada por la DGA y procesos de fiscalización y denuncia de DGA.
- No se cuenta con capacidades homogéneas en toda la cuenca respecto al manejo de información por parte de las OUA, así como su tipo y sus fuentes.
- Se requiere un sistema de información integrado y validado que permita la toma de decisiones, que pueda ser comprendido y operado por todos los actores de la cuenca, en el mismo nivel de capacidades. Esto es relevante de cara a la administración del Embalse Chironta, lo que preocupa a los miembros de la Junta de Vigilancia del río Lluta.
- La situación de pandemia influyó en la falta de información de primera mano de los propios actores, en vista de la dificultad de contacto con varios de éstos, debido a números de teléfonos corporativos no operativos a causa de su trabajo fuera de oficina o que algunos de éstos estaban desactualizados.
- Esta situación impactó, además, en la falta de contacto estrecho con los actores comunitarios de la parte alta de la cuenca, con los que debe realizarse un trabajo posterior, de difusión de este PEGH.
- Otra situación influyente en las brechas de información es la desconfianza que muchos actores presentan ante la acción de la DGA y demás servicios públicos, que suponemos se debe a la falta de información adecuada a estas OUA.

3. BALANCE DE AGUA EN LA CUENCA

En el presente capítulo se presentan los resultados del balance hídrico de la cuenca del río Lluta en base a los modelos elaborados para el PEGH del Lluta. La modelación de la cuenca del Río Lluta se ha implementado a través de un modelo integrado WEAP-MODFLOW (Figura 3.1), que permite combinar el análisis de los recursos a nivel superficial y subterráneo. A nivel superficial, el modelo WEAP se ha implementado para toda la cuenca, considerando los altos valores de precipitación en la parte alta de la cuenca y las demandas asociadas a riego en la zona del valle, mientras que a nivel subterráneo se ha implementado un modelo MODFLOW en la zona del acuífero detrítico en el valle del Río Lluta, e incorpora las distintas fuentes de recarga y extracciones.



Fuente: elaboración propia.

Figura 3.1 Dominios de modelación WEAP-MODFLOW.

A continuación se detallan las principales características del modelo desarrollado:

- Nombre: Modelo integrado WEAP-MODFLOW para la Cuenca del Río Lluta.
- Área de modelación: 3.415 km².

- Ubicación representativa: 18,11° S, 69,71° O. Región de Arica y Parinacota, Chile.
- Área del modelo subterráneo: 58,6 km².
- Escala temporal de modelación: Mensual.
- Periodo de modelación: 1979 – 2019.
- Motor de modelación superficial: WEAP (Yates et al., 2005).
- Motor de modelación subterránea: MODFLOW-NWT (Niswonger et al., 2011).

En general, todas las estaciones implementadas en el modelo muestran un buen ajuste a nivel de caudales medios mensuales. En relación a los índices de calibración obtenidos, se obtienen valores de KGE y NSE aceptables a buenos para todas las estaciones, lo que se mantiene al considerar por separado los periodos de calibración y verificación, lo que entrega buenas señales sobre la capacidad predictiva del modelo a nivel superficial.

El modelo subterráneo estacionario fue calibrado considerando la información de niveles en 33 pozos. El resultado gráfico de la comparación entre niveles observados y simulados muestra un buen ajuste y un índice RMS normalizado de 0,5%. Los resultados muestran un buen ajuste a los pozos J-A y J-B, y algo menores para el pozo J-2, pero con índices RMSE menores a 2, por lo que se consideran aceptables.

3.1 Oferta

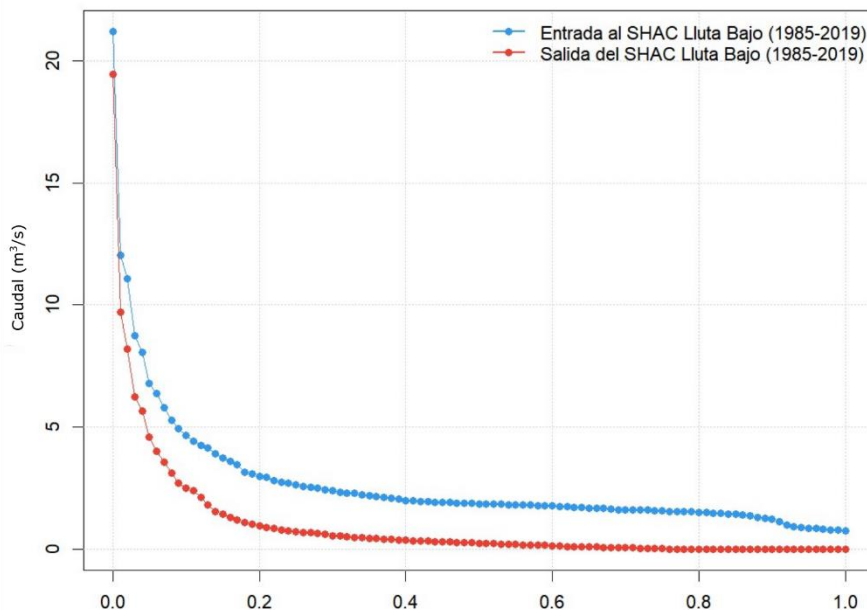
La oferta de agua en la cuenca corresponde, en calidad y cantidad, tanto a los recursos superficiales como subterráneos.

Agua superficial

La oferta de agua superficial hace referencia tanto a la cantidad como a la calidad del recurso hídrico superficial, obtenido a escala de fuente en puntos específicos de la cuenca, y a escala de cuenca.

Oferta en la fuente

La oferta en la fuente se ha estimado para el Río Lluta a la entrada del SHAC río Lluta Bajo, considerando que la mayor parte de las extracciones superficiales se realizan aguas abajo de este punto, y por tanto representa un buen indicativo de la oferta. En la Figura 3.2 se muestran las curvas de variación de caudales para la entrada y salida del SHAC Lluta Bajo, obtenidas en la modelación del periodo histórico. El caudal medio anual a la entrada del SHAC es de 2,74 m³/s, mientras que los caudales asociados a un 50% y 85% de probabilidad de excedencia corresponden a 1,87 m³/s y 1,44 m³/s respectivamente. La disminución en los caudales de salida es consecuencia directa de las extracciones superficiales y la infiltración neta del río.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.2 Curvas de duración de caudales en la entrada y salida del SHAC de Lluta Bajo (Río Lluta) para el escenario histórico.

Oferta de agua superficial

La oferta de agua superficial se basa principalmente en la precipitación que cae en las partes altas de la cuenca. Para obtener una estimación de oferta de agua superficial se incluyen igualmente las pérdidas relacionadas a la evapotranspiración natural y la recarga desde el río hacia el acuífero.

- La precipitación media en la cuenca, obtenida a partir del producto CR2MET v2 es 22.260 l/s para el área total de la cuenca.
- La evapotranspiración natural en la cuenca alcanza un valor medio anual de 18.960 l/s
- El flujo neto de recarga desde el río hacia el acuífero corresponde a 1.000 l/s, para el acuífero ubicado en la subcuenca del río Lluta Bajo.

Finalmente, la oferta media de agua superficial de la cuenca del río Lluta sería de unos 3.015 l/s, considerando la diferencia entre las precipitaciones y las salidas por evapotranspiración y recarga al acuífero.

Calidad del agua superficial

El río Lluta se forma por la confluencia en Humapalca de los ríos Caracarani y Azufre, siendo el primero el más caudaloso. El río Azufre se forma por la confluencia de varias vertientes, de las cuales la quebrada Tacora es la principal y se caracteriza por el afloramiento de una vertiente hidrotermal, correspondiente a la vertiente de Aguas

Calientes. Según se puede observar la clasificación de las aguas superficiales en la Tabla 3.1, existe una evolución tanto de los afluentes como del mismo río Lluta.

Tabla 3.1 Clasificación química de las aguas superficiales de la cuenca del Río Lluta por sectores.

Sector	Tipo Agua
Río Azufre en cabecera de cuenca	Sulfatadas sódico-cálcicas
Río Azufre aguas abajo de mina Azufre	Sulfatadas sódicas
Vertientes en origen río Caracarani	Bicarbonatadas cálcicas
Río Caracarani	Cloruradas-sulfatadas cálcicas
Río Caracarani antes de confluencia con río Azufre	Sulfatadas cálcicas
Río Lluta en confluencia río Azufre y Caracarani	Sulfatadas sódicas
Río Lluta en desembocadura	Cloruradas cálcicas

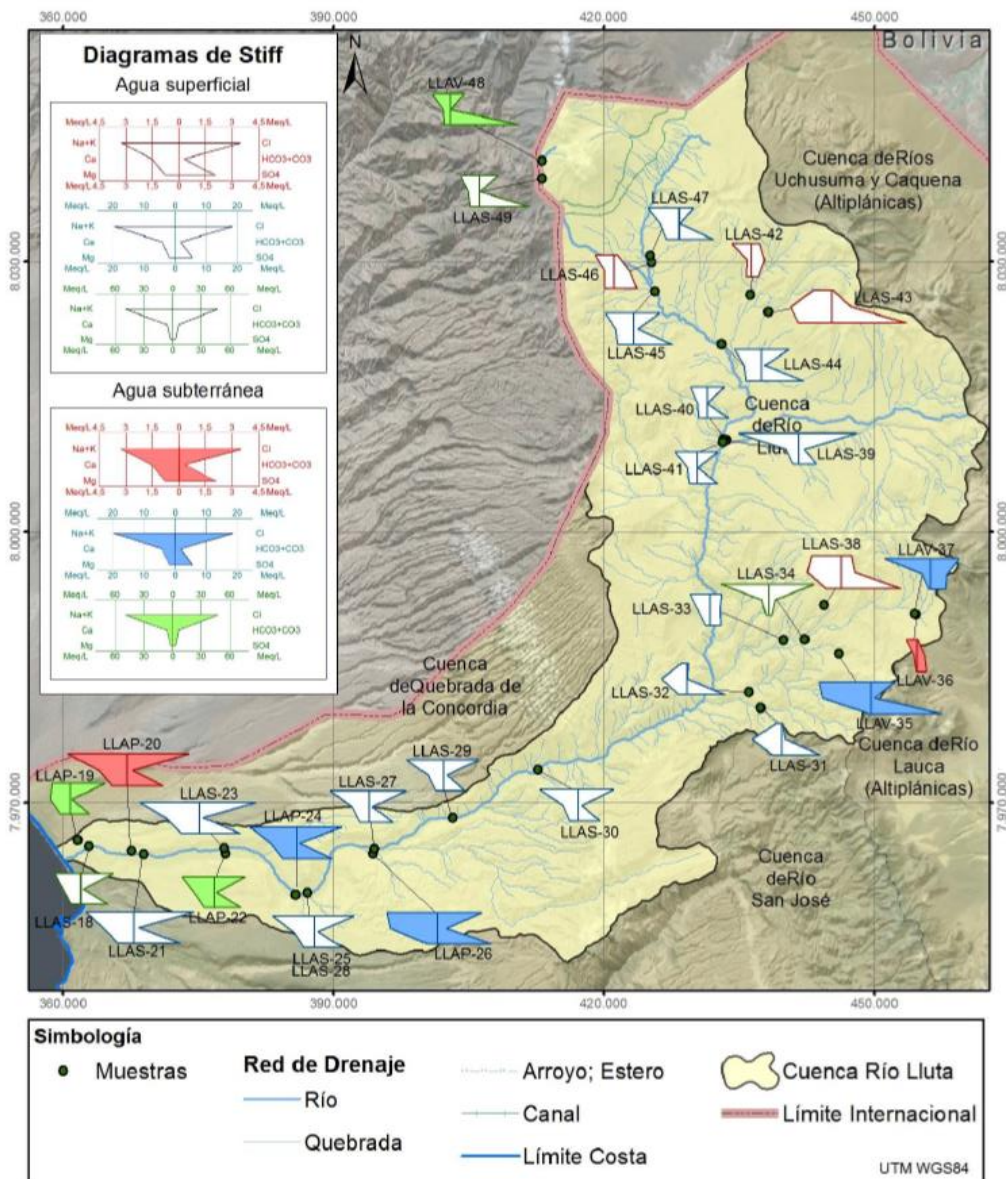
Fuente: elaboración propia, basada en DGA (2016).

En la Figura 3.3 se presenta los tipos de aguas en la cuenca mediante un mapa de diagramas de Stiff, elaborado con la información de los análisis químicos de noviembre del año 2015 (DGA, 2016). Esta es la información más actualizada en la cuenca que permite realizar esta clasificación, debido a que, en los registros de las estaciones de calidad de agua de la DGA, aproximadamente a partir de los años 2006-2009, no se realizan mediciones de los parámetros bicarbonato y carbonato.

En este mapa se observa que la mayor parte de las aguas superficiales son sódicas en cuanto al catión principal, eventualmente cálcicas, y presentan al sulfato y cloro como aniones mayoritarios.

La calidad del agua superficial de la cuenca del río Lluta está regulada principalmente por procesos naturales y antropogénicos (DGA, 2008b; Baeza, 2010). El río Lluta recibe contaminantes provenientes de dos fuentes, por un lado, el río Azufre aporta aguas ácidas y ricas en arsénico, boro, azufre y metales como hierro, manganeso y zinc y, aguas abajo, el río Colpitas suministra aguas alcalinas y con alto contenido de boro.

DGA (2016), concluye que ninguna de las muestras de aguas superficiales de la cuenca analizadas en su estudio es apta para el consumo humano, según la norma de Agua Potable NCh. 409, ya que estas aguas superan el límite de arsénico, cadmio, cloruro, fluoruros, hierro, magnesio, manganeso, mercurio, plomo, sulfatos, sólidos totales disueltos, zinc y pH. Por otra parte, las aguas suelen superar los límites de aluminio y boro que determina la norma de riego NCh 1.333.



Fuente: DGA (2016).

Figura 3.3 Diagrama Stiff de las muestras analizadas de la cuenca del Lluta por ICASS, en campaña noviembre 2015.

Agua subterránea

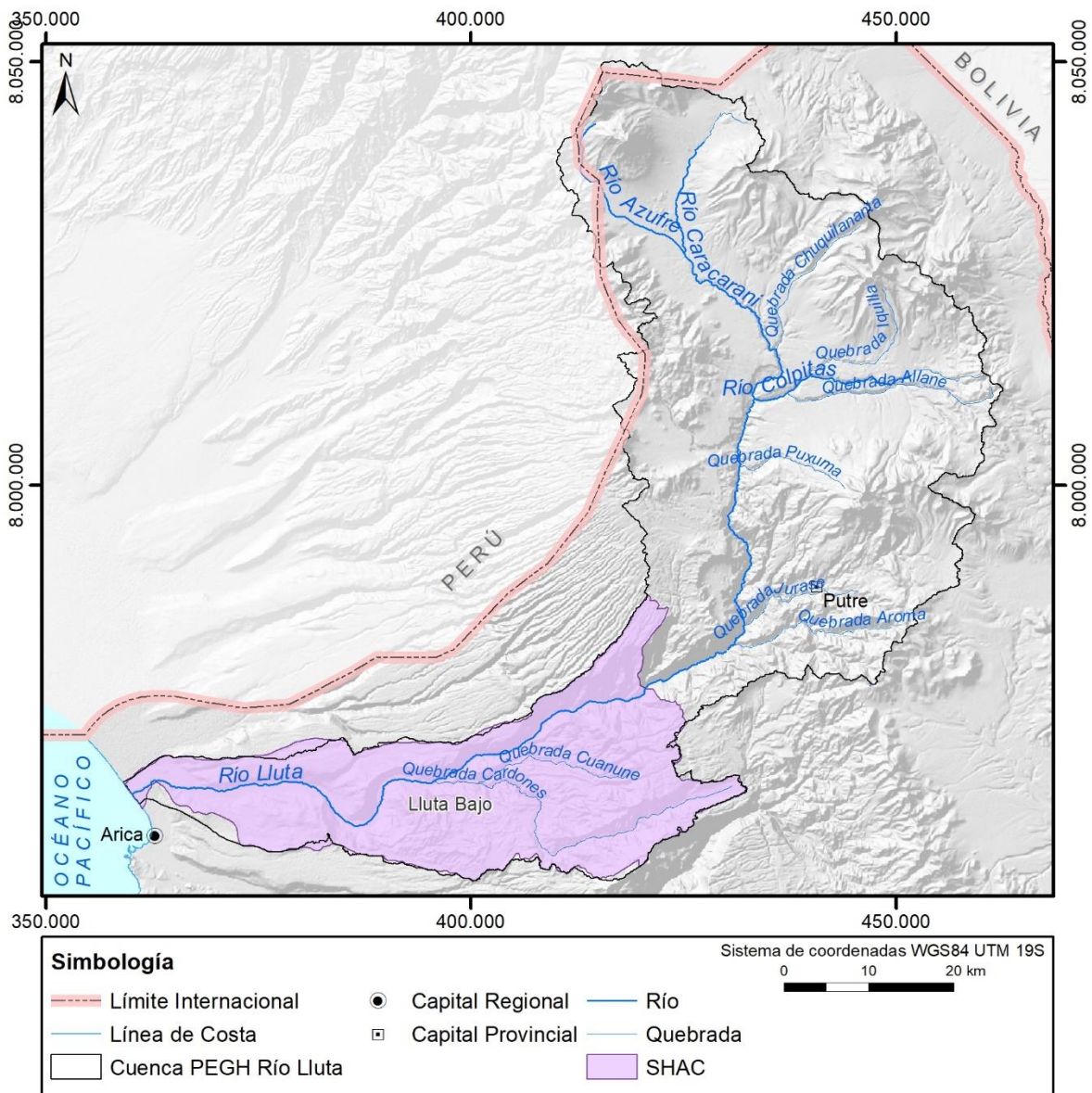
En la cuenca del río Lluta se ha definido un solo sector hidrogeológico de aprovechamiento común (SHAC), el SHAC Lluta Bajo, que corresponde al acuífero principal de la subcuenca del Río Lluta Bajo y que se muestra en la Figura 3.4. Este abarca un área de 974 km², y se extiende aproximadamente entre la localidad de Chironta por el este hasta la desembocadura. El año 2012 fue declarado como Área de Restricción para nuevas extracciones de aguas subterráneas, resolución basada en el

Informe Técnico DARH N°147 de la DGA. Además, en la subcuenca del Río Lluta Alto, hay tres sectores definidos como "Acuíferos Protegidos que alimentan vegas y bofedales de la XV región", asociados a las vegas de Iscajoco, Japocota y Paucarani.

Oferta de agua subterránea

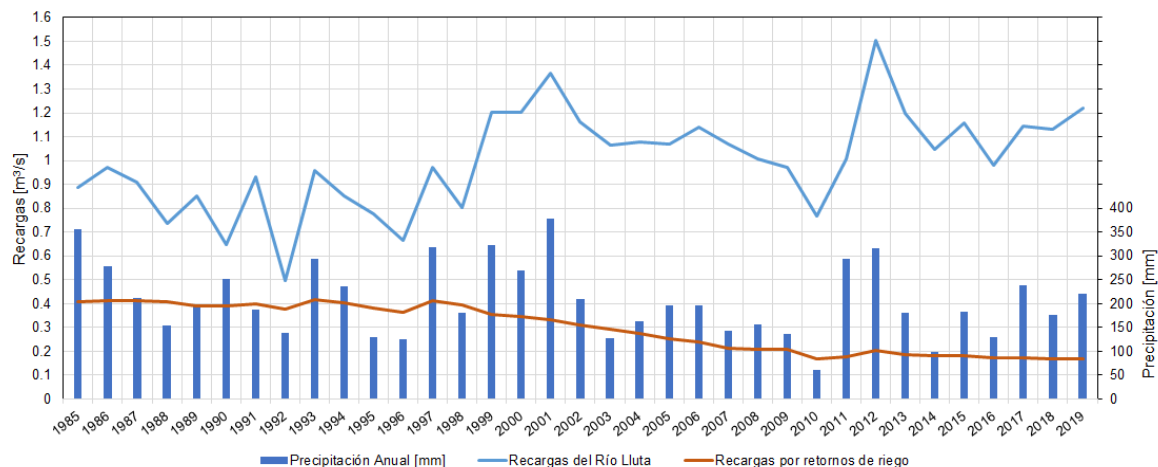
La oferta de agua subterránea está dada por la recarga al acuífero. La recarga en la subcuenca del Lluta Alto se produce por la infiltración de las precipitaciones, mientras que en la subcuenca del río Lluta Bajo el acuífero se recarga por el aporte del río Lluta, principalmente por las crecidas del cauce durante el invierno altiplánico y, en menor proporción por el agua que se infiltra del retorno del regadío en los campos de cultivo.

Respecto a los valores promedio de recargas hacia el modelo subterráneo, la infiltración del río aporta un caudal de $1 \text{ m}^3/\text{s}$, y los retornos de riego un caudal de $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$, cuya evolución temporal se muestra en la Figura 3.5. Por lo tanto, la oferta media de agua subterránea del acuífero del Lluta Bajo sería de unos $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$, que corresponde a la suma de la recarga del río y de retornos por riego.



Fuente: elaboración propia a partir de Mapoteca DGA.

Figura 3.4 Sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común en la cuenca del río Lluta.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.5 Evolución histórica de las recargas en el Acuífero de Lluta Bajo, desglose por infiltración del río y retornos de riego.

Calidad del agua subterránea

En relación a la calidad de las aguas subterráneas, su composición química en el valle del río Lluta es de tipo clorurada sódica, clorurada sódico-cálcica o clorurada cálcico sódica, la cual se mantiene constante en el tiempo, sin presentar una evolución espacial clara en el contenido de elementos mayores. Las aguas subterráneas tienen elevado contenido de cloruro, sulfatos y boro, y la calidad de estas ha ido empeorando desde la década de los años 60 a la actualidad, como consecuencia del riego de nuevos terrenos que contienen sales (DGA, 2016).

De acuerdo a las características fisicoquímicas, las aguas subterráneas en el SHAC del Lluta Bajo no son aptas para el consumo humano. De los análisis químicos realizados por DGA (2016) y los registros de las estaciones de calidad de los Pozos Jica-B y Gallinazo, se ha determinado que las aguas subterráneas superan los límites permitidos por las normas de calidad NCh 409 y NCh 1333 en gran cantidad de parámetros. Las muestras de los pozos en la desembocadura tienden a tener mayor cantidad de elementos sobre la norma que los pozos del valle, como aluminio y arsénico, entre otros.

3.2 Demanda

En el presente capítulo se cuantifica la demanda de agua por los diferentes sectores productivos y otros usos del recurso, tanto actual como su proyección futura, para uso humano, necesidades mínimas ambientales, demandas agrícola, minera, industrial u otras.

Las demandas actuales de la cuenca del río Lluta han sido descritas en el estudio "Análisis Integral de Soluciones a la Escasez Hídrica, Región De Arica y Parinacota,

parte 1, SIT N° 410" realizado por ICASS (DGA, 2016). Las demandas por actividad agrícola representan más del 90% del total del consumo del recurso hídrico, con lo que el resto de actividades juegan un rol menor. En la Tabla 3.2 se presenta una síntesis de la demanda hídrica de la cuenca del río Lluta actual, tanto por subcuenca como por tipos de uso.

Tabla 3.2 Síntesis de demanda actual (2015) de la cuenca del río Lluta.

Cód. subc	Nombre Subcuenca	Demanda hídrica consuntiva 2015 (l/s)						
		Agua Potable Urbana	Agua Potable Rural	Agrícola	Pecuaría	Minera	Industrial	TOTAL
120	Río Lluta Alto	0	3,7	1.285	0,3	0	0	1.289
121	Río Lluta Bajo	180	5,3	851	5,4	15,1	0	1.057
TOTAL CUENCA								
12	Río Lluta	180	9,0	2.136	5,7	15,1	0	2.346

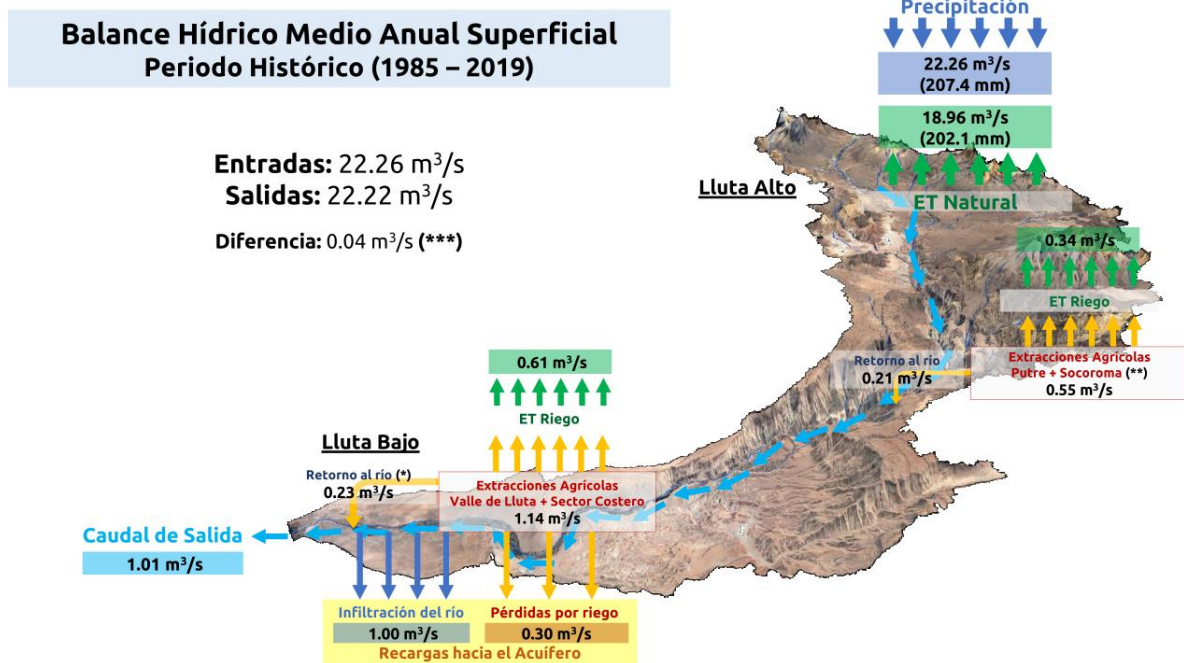
Fuente: DGA (2016).

3.3 Balance

A partir de los resultados del modelo hidrológico, se construye un balance promedio para la situación histórica (1985-2019) y proyectada (2020-2050), considerando un escenario de cambio climático y los escenarios de gestión.

Situación histórica (1985 – 2019)

El balance hídrico medio anual en el periodo histórico modelado se presenta en la Figura 3.6, desglosando las componentes de entrada y salida de agua a nivel superficial. Se destaca que la evapotranspiración natural (ET no asociada a riego) corresponde a 202,1 mm a escala de cuenca, lo cual representa más del 95% de la entrada por precipitación (207,4 mm).



Notas: (*) Retornos devueltos al río, considerados en las zonas de riego no acopladas al modelo subterráneo. (**) Para simplificar la figura, se muestra la demanda de los sectores Putre y Socoroma en conjunto. (***) La diferencia se explica por los remanentes de humedad del suelo y acumulación de nieve, entre la condición inicial y final de la modelación, además de las imprecisiones derivadas del redondeo de datos.

Fuente: elaboración propia.

Figura 3.6 Balance hídrico medio anual superficial en periodo histórico.

El balance del sistema subterráneo del SHAC Lluta Bajo se muestra en la Figura 3.7. Las entradas, corresponden básicamente a la infiltración del río (1,0 m³/s) y las recargas por retornos de riego (0,3 m³/s), las que junta al flujo entrante aguas arriba (0,06 m³/s) suman un total de 1,36 m³/s. Las salidas corresponden en mayor parte al flujo saliente del acuífero hacia el mar y hacia el Norte (1,10 m³/s), y en menor medida a la evaporación desde el humedal de la desembocadura del Río Lluta (0,12 m³/s) y las extracciones desde los pozos (0,14 m³/s). En la Figura 3.8 se presenta la variación de dichos flujos a través del tiempo, donde los valores positivos constituyen ingresos al acuífero y los negativos a las salidas.

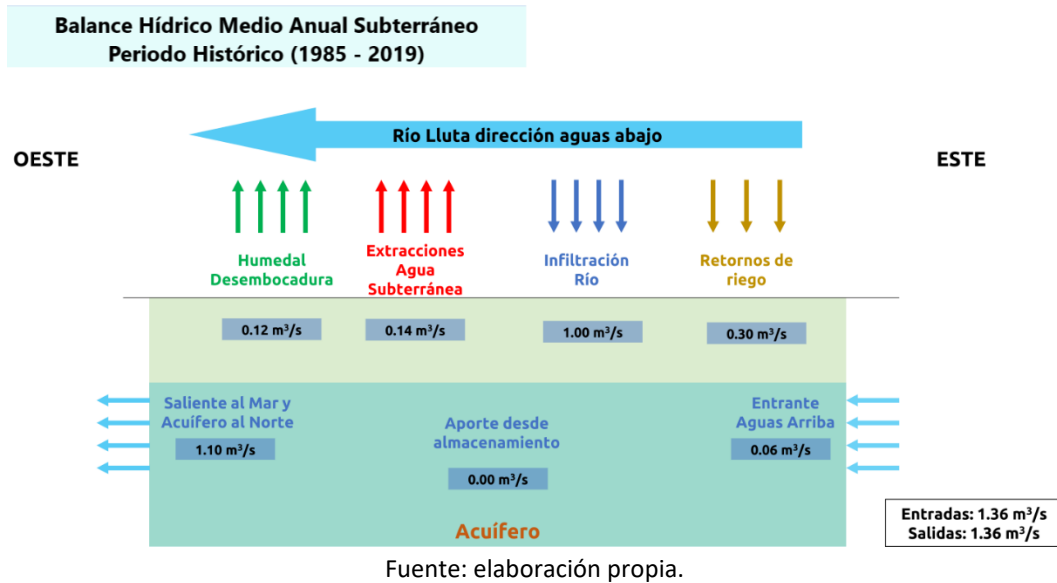


Figura 3.7 Componentes del balance hídrico del Acuífero de Lluta Bajo.

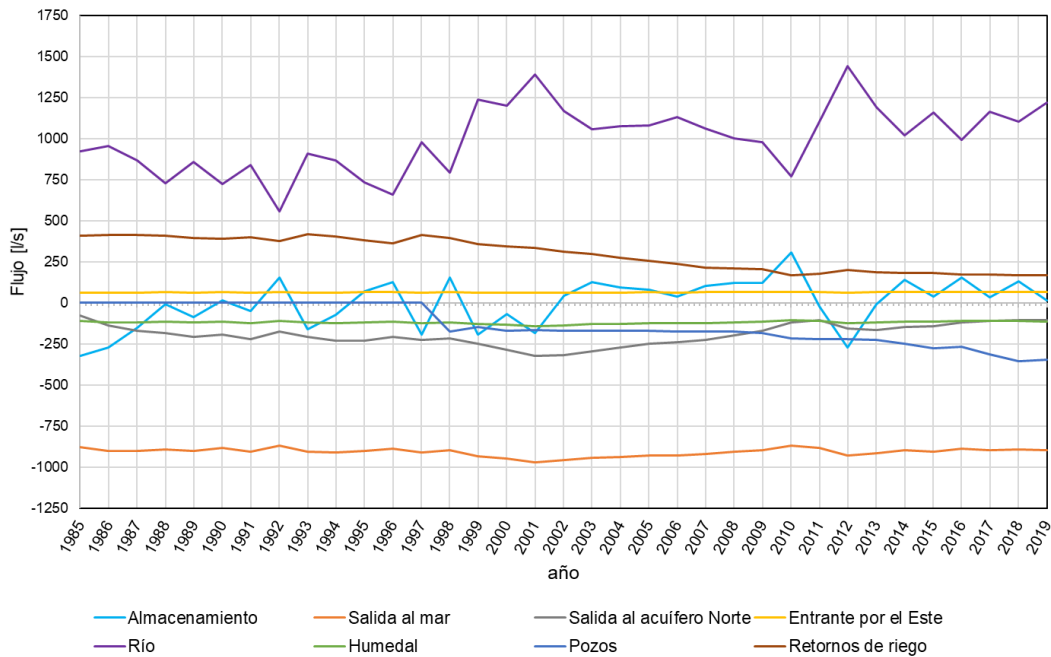


Figura 3.8 Balance subterráneo anual para el Acuífero de Lluta Bajo. Periodo Histórico.

Para estimar las brechas sobre el recurso hídrico a nivel de cuenca, en la Tabla 3.3 se presenta el balance hídrico, cuyo balance entrega un resultado negativo de -320 l/s para el periodo histórico 1985-2019.

Para definir el balance legal de la cuenca, se consideran los derechos otorgados, en reemplazo de las extracciones reales. Si bien estos derechos no son utilizados completamente, este ejercicio permite evidenciar el posible sobreotorgamiento con respecto a la oferta real en la cuenca, cuyo resultado muestra que el desbalance aumentaría considerablemente a -7.729 l/s.

Tabla 3.3 Balance hídrico en la cuenca del Río Lluta (cuenca y acuífero), en el periodo 1985 – 2019.

Componente del balance	Balance (sistema real) (l/s)	Balance (sistema legal) (l/s)
Entradas		
Precipitación	22.260	22.260
Retorno por riego	440	440
Salidas		
Evapotranspiración Natural	18.960	18.960
Evapotranspiración Humedal desembocadura	120	120
Extracciones superficiales	1.690	-
Extracciones subterráneas	140	-
Derechos permanentes otorgados	-	9.239
Caudal superficial saliente	1.010	1.010
Caudal subterráneo saliente al Mar y Acuífero de La Concordia	1.100	1.100
Σ Entradas	22.700	22.700
Σ Salidas	23.020	30.429
Balance	-320	-7.729

Fuente: elaboración propia.

Situación futura (2020-2050)

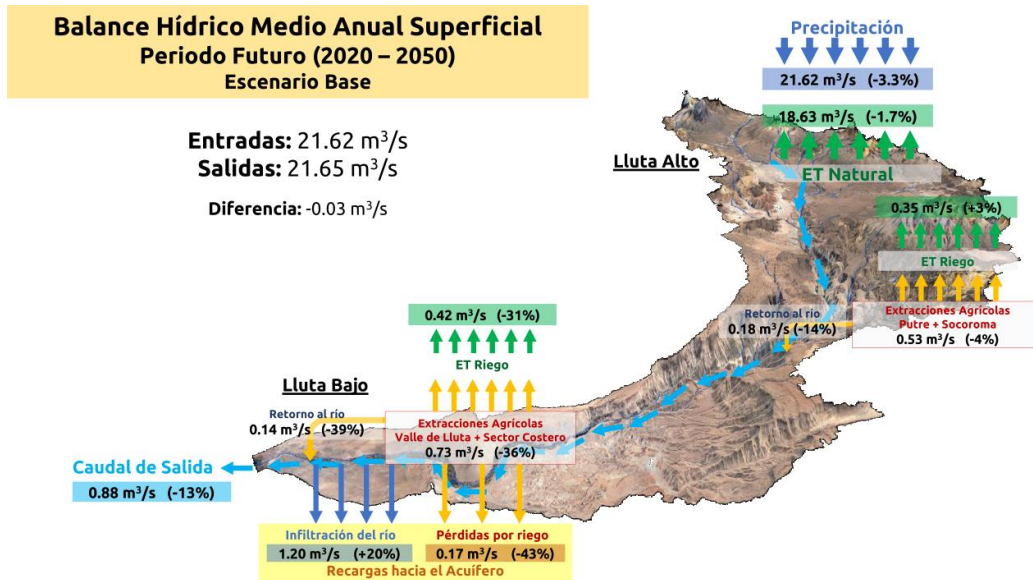
La situación proyectada se realiza bajo condiciones climáticas futuras, pero manteniendo las demandas existentes (Modelo BAU: Business as usual). Para esto se utiliza un área cultivada total de 1.006 (ha), cuya demanda es alimentada completamente por el río Lluta, a través de la serie de canales existentes. Los bombes de las empresas sanitarias destinados a satisfacer el consumo de agua potable de la población y otros bombes (uso industrial y otros) se mantienen constantes, considerando el promedio del bombeo entre 2015 y 2019.

Para caracterizar los efectos del cambio climático en la modelación se consideró la variación de precipitación y temperatura para el periodo 2020 – 2050, según los antecedentes generados por el estudio de Actualización del Balance hídrico Nacional (ABHN) (DGA, 2018a, 2017a).

En la Figura 3.9 se muestra el balance medio anual para la situación proyectada, mientras que la Figura 3.10 presenta el balance a nivel subterráneo. En primer lugar, se destaca que el balance muestra que la evapotranspiración natural (ET no asociada a riego), no tiene un descenso proporcional a la baja de precipitación, ya que esta baja es de solo un 1,7%, lo cual se explica por el aumento de las temperaturas. Bajo esta proyección se observa una disminución en la disponibilidad hídrica, específicamente en

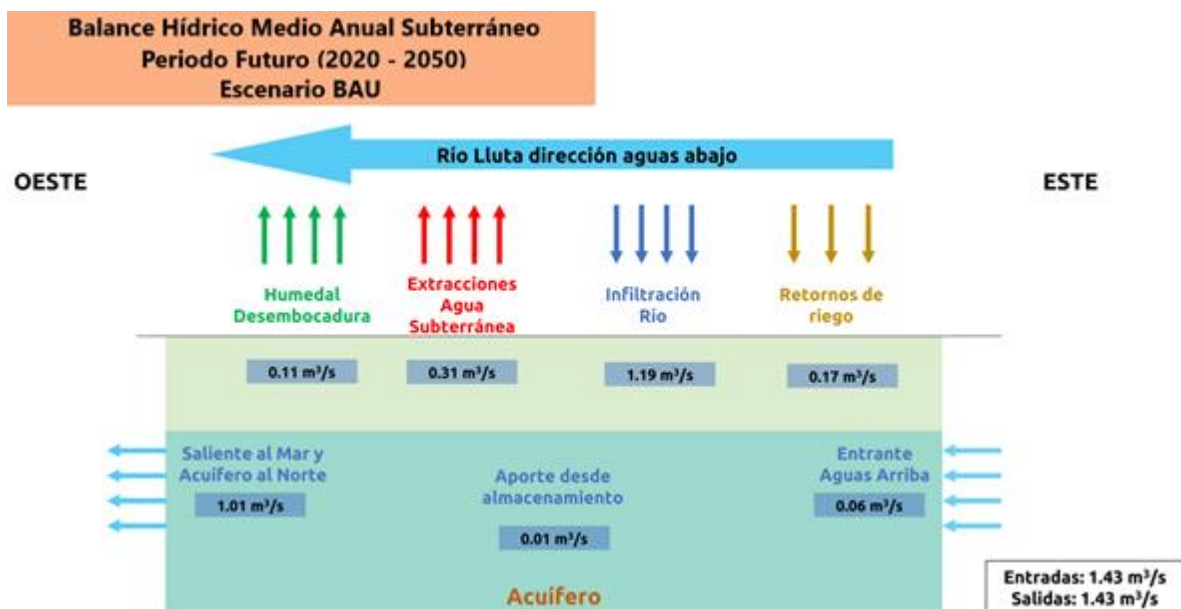
el sector Lluta Bajo. A nivel de SHAC, al considerar como proyección de áreas de riego la superficie de los años 2018-2019 (siendo estos últimos valores menores al promedio del periodo histórico) se genera una disminución en las proyecciones de demanda agrícola (-36%), y por ende una baja en la ET asociada a riego en el SHAC (-31%), y los retornos de riego hacia el acuífero (-43%).

La proyección de infiltración del río hacia al acuífero marca un gran aumento (+20% respecto al histórico), respondiendo a un mayor flujo de caudales por el cauce (producto de las menores extracciones). Por último, el valor medio del caudal de salida proyectado marca un descenso de un 13%. A nivel subterráneo se observa un aporte del almacenamiento de 0,01 m³/s.



Fuente: elaboración propia.

Figura 3.9 Balance hídrico superficial medio anual en periodo futuro: Escenario Base. Las variaciones son respecto al periodo histórico.



Fuente: elaboración propia.

Figura 3.10 Balance hídrico subterráneo medio anual en periodo futuro: Escenario Base.

Sustentabilidad

En la Tabla 3.4 se presenta un resumen de los resultados obtenidos para los 4 criterios de sustentabilidad evaluados. Se destaca que dos de estos criterios no estarían siendo cumplidos, de acuerdo a los resultados de la modelación, los cuales corresponden a la afectación al río, que supera el 20% del caudal anual de 85% de probabilidad de excedencia, medido en el punto de salida del SHAC, y el criterio de pozos secos, que entrega un valor superior al 5%. Todos estos resultados son estimados a partir de las demandas efectivas, y no de los derechos otorgados, motivo por el cual no deben compararse directamente con los criterios definidos por el DARH.

Tabla 3.4 Resumen criterios de sustentabilidad.

Criterio	Valor Límite	Estado	Observaciones
Descensos sustentables	$4,1\% < 5\%$ aceptado	Cumple	Corresponde a la diferencia de volumen estimada entre los años 1998 y 2050
Afectación al río	$0,3 \text{ m}^3/\text{s} > 0,156 \text{ m}^3/\text{s}$ $\Delta Q > 10\% Q_{\text{anual}85\%}$	No cumple	El caudal a la salida del SHAC es bastante bajo debido al importante número de extracciones existentes
Satisfacción de la demanda	$100\% > 95\%$ requerido	Cumple	Los bombeos forzados como extracción hacia el modelo subterráneo son siempre extraídos desde el acuífero
Pozos secos	$30\% > 5\%$ aceptado	No cumple	Alto grado de incertidumbre asociado a las cotas en el sector de la desembocadura

Fuente: elaboración propia.

Escenarios de gestión

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para los 3 escenarios de gestión, implementados utilizando el modelo integrado.

Escenario de Gestión N°1

Este escenario considera la puesta en marcha del Embalse Chironta, hoy en construcción, con una capacidad de 17 Millones de m³. Se estableció incluir el embalse a partir del año 2023, con una vida útil de 50 años y un área cultivada de 2.800 ha, según lo presentado en el EIA del proyecto (DOH, 2012). Las otras demandas (agua potable, mineras y otras) se consideran constantes e iguales al promedio de los últimos 5 años.

En el Escenario de Gestión 1, los cambios más importantes en las componentes del balance hídrico, en relación al Escenario BAU, se muestran en la Tabla 3.5. Este escenario proyecta un aumento del orden del 107% de las extracciones superficiales, que responde al aumento de hectáreas regadas proyectadas, producto de la entrada en operación del embalse. Esto se relaciona a su vez con los aumentos de ET real y retornos de riego, en las mismas proporciones (mayor número de ha cultivadas). Las extracciones superficiales traen como consecuencia una disminución del caudal en el río, provocando a la vez una disminución en la infiltración del río al acuífero (-28%), y una disminución del caudal de salida (-41%), todo con respecto al escenario BAU. Además, se observa un aumento del aporte desde el almacenamiento.

Tabla 3.5 Variación de las componentes del balance en la cuenca en el sector Lluta Bajo. Escenario de Gestión 1.

Componente	Escenario BAU (referencia) (m ³ /s)	Escenario de Gestión 1 (m ³ /s)	Variación respecto a BAU
Extracciones superficiales	0,73	1,51	107%
ET real	0,42	0,88	110%
Retornos de riego al acuífero	0,17	0,35	106%
Retornos de riego al río	0,14	0,28	100%
Infiltración neta del río	1,2	0,87	-28%
Caudal de salida	0,88	0,52	-41%
Aporte almacenamiento	0,01	0,03	200%
Extracciones subterráneas	0,31	0,31	0%

Fuente: Elaboración propia.

Escenario de Gestión N°2

Este escenario se genera a partir del Escenario de Gestión 1 y considera además un aumento de la demanda de agua potable urbana de acuerdo a la Actualización de Planes de Desarrollo Arica (SISS, 2018), lo cual apunta específicamente a la extracción de agua desde los pozos.

Según se muestran en la Tabla 3.6, los resultados obtenidos a nivel superficial son similares a aquellos obtenidos en el Escenario 1, observando que si bien la infiltración neta del río es menor a la del escenario BAU, aumenta con respecto al Escenario 1, influenciado por el aumento en las extracciones subterráneas. Adicionalmente, se observa un aumento del aporte del almacenamiento.

Tabla 3.6 Variación de las componentes del balance en el SHAC de Lluta Bajo. Escenario de Gestión 2.

Componente	Escenario BAU (referencia) (m ³ /s)	Escenario de Gestión 1 (m ³ /s)	Variación respecto a BAU
Extracciones	0,73	1,47	101%
ET real	0,42	0,87	107%
Retornos de riego al acuífero	0,17	0,34	100%
Retornos de riego al río	0,14	0,28	100%
Infiltración del río	1,2	0,92	-23%
Caudal de salida	0,88	0,5	-43%
Aporte almacenamiento	0,01	0,06	500%
Extracciones subterráneas	0,31	0,44	42%

Fuente: elaboración propia.

Escenario de Gestión N°3

Este escenario es idéntico al Escenario de Gestión 2, salvo por la consideración de que la cuenca del río Caracarani se desvía directamente hacia el sector bajo de la cuenca a través de un canal/tubería para uso agrícola. La motivación de este escenario es obtener agua de mejor calidad, siendo la subcuenca del río Caracarani una de las que presenta esta condición en la cuenca del río Lluta. Esta extracción queda simulada como una demanda, pero no se asigna a un área de riego específica.

En el Escenario de Gestión 3, los cambios más importantes en las componentes del balance hídrico, se muestran en la Tabla 3.7. En este escenario se proyecta un aumento del orden del 84% de la demanda agrícola del Escenario Base, lo cual es menor que en Esc-G-1, debido a limitantes de disponibilidad hídrica para abastecer las superficies cultivadas (las mismas consideradas para Esc-G-1). Las extracciones provocan una disminución del caudal en el río y una disminución en la infiltración río-acuífero (-28%), lo cual deja un caudal de salida que baja un 59% respecto al Escenario Base.

Tabla 3.7 Variación de las componentes del balance en el SHAC de Lluta Bajo. Escenario de Gestión 3.

Componente	Escenario BAU (referencia) (m ³ /s)	Escenario de Gestión 1 (m ³ /s)	Variación respecto a BAU
Extracciones	0,73	1,34	84%
ET real	0,42	0,79	88%
Retornos de riego al acuífero	0,17	0,29	71%
Retornos de riego al río	0,14	0,26	86%
Infiltración del río	1,2	0,87	-28%
Caudal de salida	0,88	0,36	-59%
Aporte almacenamiento	0,01	0,06	500%
Extracciones subterráneas	0,31	0,44	42%
Extracción Río Caracarani	0	0,33	-

Fuente: elaboración propia.

Niveles simulados en los pozos de observación

En cada uno de los pozos de observación se realizó una comparación de los niveles piezométricos según cada escenario, cuyos resultados se muestran en la Tabla 3.8. En ésta se observa un descenso generalizado de los niveles subterráneos, los que partiendo del Escenario BAU marcan un descenso de 3,8 m en promedio para los cuatro pozos. Los descensos se ven acrecentados en el resto de los escenarios, siendo el Escenario de Gestión N°3 el más severo, con un descenso promedio de 10,8 m en los cuatro pozos, respecto al periodo histórico. Es importante comparar los descensos en los Escenarios de Gestión N°1 y N°2, donde la sola diferencia de considerar el aumento de bombes por parte de la sanitaria, hace que los descensos pasen de 5,6 m a 8,6 m.

Tabla 3.8 Resumen de descensos proyectados (m) en cada escenario respecto al periodo histórico.

Pozo	Escenario BAU Descenso (m)	Escenario de Gestión N°1 Descenso (m)	Escenario de Gestión N°2 Descenso (m)	Escenario de Gestión N°3 Descenso (m)
J-1	6,2	7,9	12,7	15,1
J-A	5,0	7,2	11,5	14,5
J-2	2,8	4,7	6,7	9,0
J-B	1,2	2,5	3,3	4,4
Promedio	3,8	5,6	8,6	10,8

Fuente: elaboración propia.

4. PLAN DE ACCIÓN

A continuación se presentan los ejes y objetivos del plan, así como un levantamiento de acciones e iniciativas a considerar en el PEGH para la cuenca.

4.1 Ejes y Objetivos para el PEGH

Los ejes y objetivos para la definición de acciones en el marco del PEGH del Lluta fueron propuestos a partir de los objetivos del estudio y de la revisión de los principales antecedentes. En la Tabla 4.1 presenta los ejes y objetivos planteados para el plan.

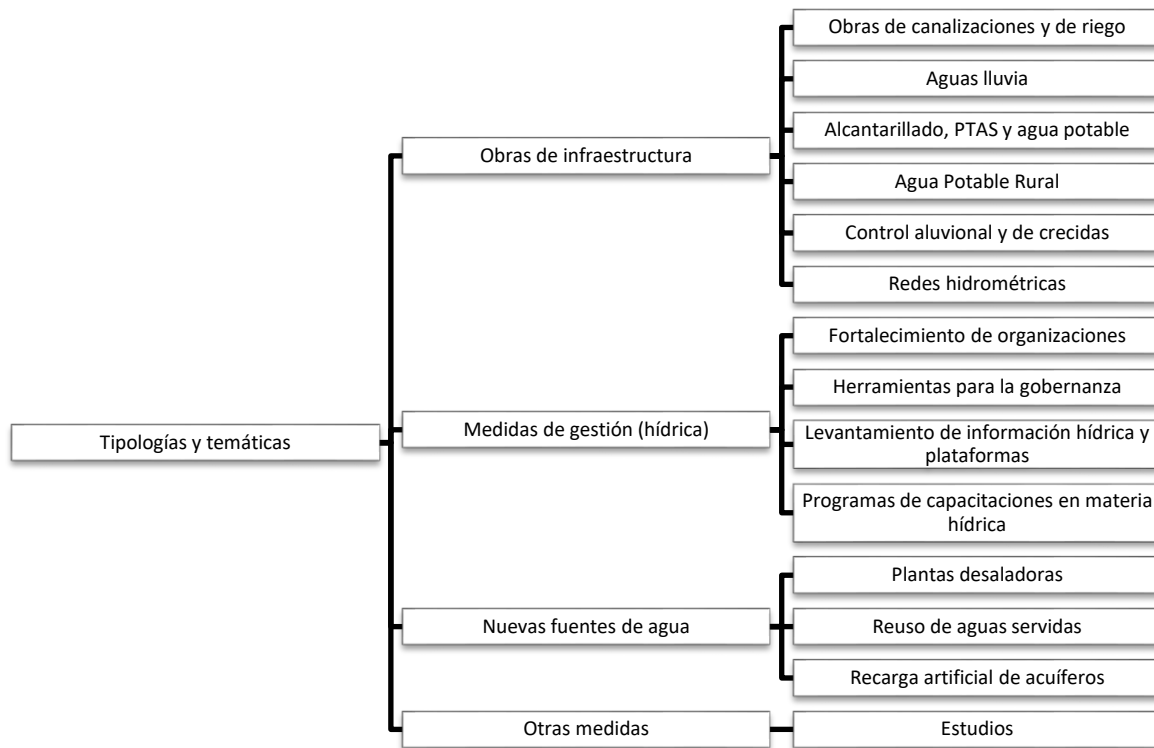
Tabla 4.1 Ejes y Objetivos propuestos para PEGH Cuenca del río Lluta.

Eje	Nombre de eje	Nº	Objetivos para definición de Acciones del Plan
1	Uso estratégico del recurso hídrico: brechas entre oferta y demanda, riesgos hídricos	1	Reducir las brechas entre oferta y demanda de agua considerando cambio climático, sequía e inundaciones.
		2	Restaurar condiciones de abastecimiento y calidad de las fuentes de agua potable urbana, tanto para fuentes superficiales como subterráneas.
		3	Restaurar condiciones de abastecimiento y calidad de las fuentes de agua potable rural, tanto para fuentes superficiales como subterráneas.
		4	Conservar y/o mejorar el estado de la infraestructura hidráulica actual.
		5	Gestión de riesgos
2	Información y monitoreo del recurso hídrico	1	Mejorar el monitoreo de las aguas de la cuenca (superficial, subterráneo, de montaña y glaciares).
		2	Gestión de información
3	Gestión y gobernanza del agua	1	Promover y revitalizar la alianza público - privada en materia hídrica.
4	Conservación y protección del recurso y del ecosistema hídrico	1	Conservar y/o mejorar el estado de la calidad de aguas de las fuentes superficiales y subterráneas.
		2	Proteger funciones ecosistémicas críticas relacionadas con los cuerpos de agua en el tiempo.

Fuente: elaboración propia.

4.2 Cartera de iniciativas de inversión vigentes

Para el análisis de objetivos, ejes e iniciativas, se levantó un total de 22 iniciativas de inversión vigentes para la cuenca del río Lluta, las que se clasificaron según las tipologías que se grafican en la Figura 4.1. Esta información fue extraída desde el Banco Integrado de Proyectos del Ministerio de Desarrollo Social y Familia.



Fuente: elaboración propia.

Figura 4.1 Clasificación de las Iniciativas Hídricas Recopiladas.

4.3 Cartera de iniciativas propuestas

Para generar una cartera de iniciativas propuestas, se estableció una priorización de las acciones abordadas en las actividades de PAC, las que se muestran en la Tabla 4.2 y que presenta las 10 acciones priorizadas durante las reuniones PAC.

Tabla 4.2 Acciones priorizadas en la cuenca de Lluta según criterio de corte.

Id	Tipo	Id2	Id Acc	Acciones
1	Obras de Infraestructura	1.2	2	Obras de control o manejo de la calidad de las aguas del río Azufre en la cuenca alta del Lluta
		1.4	4	Obras de desvío Río Azufre
		1.7	7	Tratamiento predial de las aguas del río Colpitas
		1.9	9	Mejoramiento en la infraestructura hidráulica existente
		1.11	11	Toma y conducción de las aguas del río Caracarani
2	Medidas de gestión hídrica	2.3	15	Transferencia tecnológica para riego en la subcuenca Lluta Bajo
		2.4	16	Diseño y apoyo comunicacional, y capacitación en herramientas de gestión territorial
		2.5	17	Transferencia tecnológica para riego en zona Putre Socoroma
3	Nuevas fuentes de agua	3.5	22	Trasvase de agua de cuenca de río Caquena a la cuenca del río Lluta
4	Otras medidas	4.1	23	Apoyo en la generación y planificación de nuevos mercados, de generación y seguimiento de proyectos, e identificación de impacto en el territorio

Fuente: elaboración propia.

Como se presenta en el esquema de la Figura 4.2, esta priorización se complementó con acciones adicionales levantadas desde la PAC y con valor estratégico, para finalmente hacer un cruce con la cartera de iniciativas vigentes y las propuestas de iniciativa de planes previos. A partir de esto, fue necesario agregar 3 nuevas acciones a la priorización.

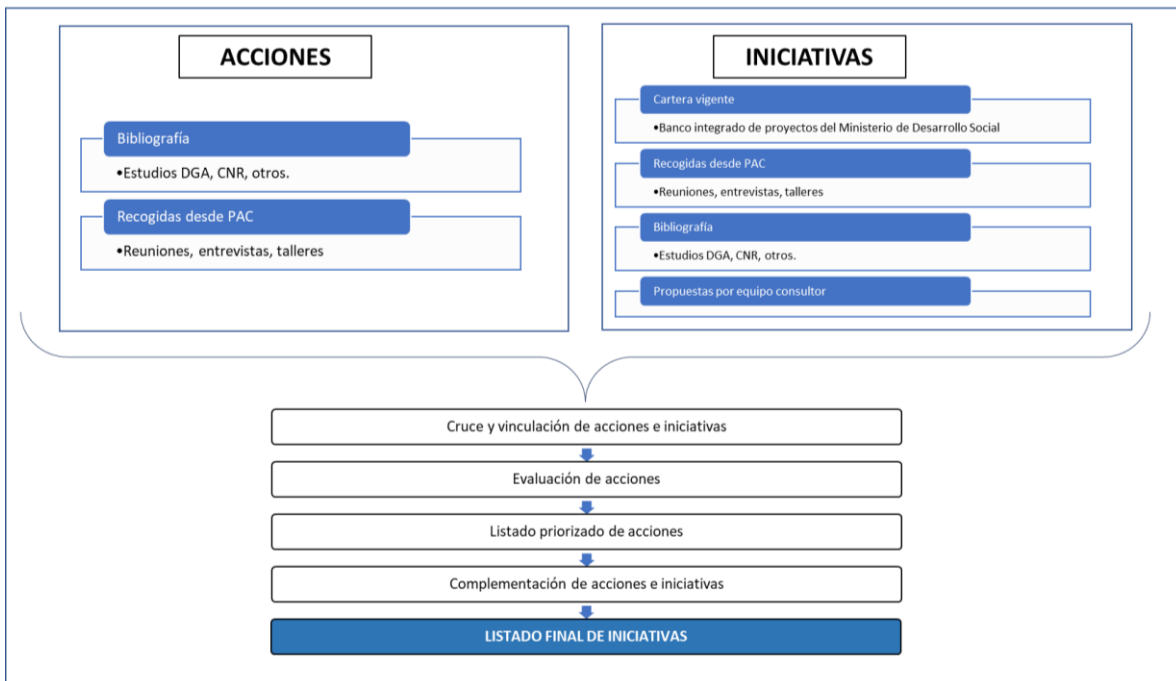


Figura 4.2 Esquema general para elaboración de Plan de acción.

A partir de lo anterior se definieron iniciativas asociadas a cada una de las acciones antes indicadas, donde en la Tabla 4.3 se presenta el listado de las acciones e iniciativas finalmente priorizadas. Dicho listado incluye tanto iniciativas previas, iniciativas de la cartera vigente, así como las de valor estratégico recogidas en PAC y en coordinación con la Insp. Fiscal.

Tabla 4.3 Iniciativas priorizadas PEGH cuenca del Lluta.

Id	Tipo	Acción	N°	Iniciativas del Plan de acción
1	Obras de infraestructura	Obras de control o manejo de la calidad de las aguas del río Azufre en la cuenca alta del Lluta	1	Obras de control o manejo de la calidad de las aguas del río Azufre en la cuenca alta del Lluta
		Obras de desvío río Azufre	2	Obras de desvío río Azufre
		Tratamiento predial de las aguas del río Colpitas	3	Tratamiento predial de las aguas del río Colpitas
		Mejoramiento en la infraestructura hidráulica existente	4	Mejoramiento en la infraestructura hidráulica existente
			5	Conservación de riberas de cauces naturales XV región
			6	Conservación canal Llussuma, comuna de Putre
		Toma y conducción de las aguas del río Caracarani	7	Toma y conducción de las aguas del río Caracarani
		Ampliación y mejoramiento de redes hidrométricas	8	Instalación de estaciones fluviométricas en sector río Azufre
			9	Monitoreo de calidad de agua río Azufre
2	Medidas de gestión hídrica	Transferencia tecnológica para riego en la subcuenca Lluta bajo	10	Transferencia tecnológica para riego en la subcuenca Lluta bajo
		Diseño y apoyo comunicacional, y capacitación en herramientas de gestión territorial	11	Diseño y apoyo comunicacional y capacitación en herramientas de gestión territorial
		Transferencia tecnológica para riego en zona Putre Socoroma	12	Transferencia tecnológica para riego en zona Putre Socoroma
		Gobernanza	13	Diseño de una nueva gobernanza y acompañamiento técnico para su implementación en la cuenca
3	Nuevas fuentes de agua	Trasvase de agua de cuenca de río Uchusuma a la cuenca del río Lluta	14	Trasvase de agua de cuenca de río Caquena a la cuenca del río Lluta
4	Otras medidas	Apoyo en la generación y planificación de nuevos mercados, de generación y seguimiento de proyectos, e identificación de impacto en el territorio	15	Apoyo en la generación y planificación de nuevos mercados, de generación y seguimiento de proyectos, e identificación de impacto en el territorio
		Estudios para mejorar el conocimiento hídrico	16	Modelación conceptual y numérica hidrogeoquímica de la cuenca del río Lluta
			17	Modelamiento hidráulico embalse Chironta
			18	Estudio acerca de la conexión hidrogeológica entre Chile-Perú
			19	Estudio análisis del efecto de las azufreras en la calidad de las aguas del río Azufre

Fuente: elaboración propia.

4.4 Valorización económica del plan

Las medidas contempladas en el presente Plan ascienden a un valor actual de costos de 35.718 millones de pesos de los cuales 750 millones corresponden a iniciativas propuestas y 34.968 millones de pesos a iniciativas previas. El financiamiento del PEGH se basa principalmente en la coordinación de las entidades públicas, reasignación de presupuesto público, y la gestión de los fondos y/o programas en forma consistente a los objetivos y medidas del Plan. La Tabla 4.4 presenta el listado de iniciativas priorizadas junto con su presupuesto, costo, responsable financiero propuesto y horizonte de tiempo.

Tabla 4.4 Iniciativas del Plan con costos y plazos.

Nº	Iniciativas del Plan de acción	Origen de iniciativa	Costo total (miles \$)	Plazo (meses)	Responsable financiero	Plazo
1	Obras de control o manejo de la calidad de las aguas del río Azufre en la cuenca alta del Lluta	Planes previos (DGA, 2010).	18.694.000	48*	DOH/ Gore Arica	Largo
2	Obras de desvío río Azufre	Planes previos (DGA-ICASS, 2017d).	7.604.728	36	DOH/ Gore Arica	Mediano
3	Tratamiento predial de las aguas del río Colpitas	Planes previos (DGA-ICASS, 2017d).	215.064	48	DOH/ Gore Arica	Largo
4	Mejoramiento en la infraestructura hidráulica existente	Planes previos (DGA-ICASS, 2017d).	410.466	60	CNR	Largo
5	Conservación de riberas de cauces naturales XV región	Cartera potencial de iniciativas (MOP, 2021).	2.304.340	60*	DOH/ Gore Arica	Largo
6	Conservación canal Llussuma, comuna de Putre	Cartera potencial de iniciativas (MOP, 2021).	60.000	12	CNR	Largo
7	Toma y conducción de las aguas del río Caracarani	PEGH Lluta.	5.000.000	36	DOH	Mediano
8	Instalación de estaciones fluviométricas en sector río Azufre	DIFROL.	120.000	12	DGA	Corto
9	Monitoreo de calidad de agua en río Azufre	DIFROL.	25.000	12	DGA	Mediano
10	Transferencia tecnológica para riego en la subcuenca Lluta Bajo	Planes previos (CNR, 2016).	80.000	24*	CNR	Corto
11	Diseño y apoyo comunicacional, y capacitación en herramientas de gestión territorial	Planes previos (CNR, 2016).	60.000	6	CNR	Corto
12	Transferencia tecnológica para riego en zona Putre Socoroma	Planes previos (CNR, 2016).	80.000	24*	CNR	Corto
13	Diseño de una nueva gobernanza y acompañamiento técnico a todos los actores para su implementación en la cuenca	Trabajo de PAC, PEGH Lluta.	350.000	60	Gore Arica	Mediano
14	Trasvase de agua de cuenca de río Caquena a la cuenca del río Lluta	Planes previos (DGA-ICASS, 2017d).	94.801	12	DOH	Mediano
15	Apoyo en la generación y planificación de nuevos mercados, de generación y seguimiento de proyectos, e identificación de impacto en el territorio	Planes previos (CNR, 2016).	100.000	12	CORFO	Mediano
16	Modelación conceptual y numérica hidrogeoquímica de la cuenca del Lluta	Trabajo de PAC, PEGH Lluta.	250.000	18	CORFO	Mediano
17	Modelamiento hidráulico embalse Chironta	Trabajo de PAC, PEGH Lluta.	150.000	12	DOH	Corto
18	Estudio de conexión hidrogeológica entre Chile Perú	DIFROL	80.000	8	DIFROL	Corto
19	Estudio de análisis del efecto de las azufreras en la calidad de las aguas del río Azufre.	DIFROL	40.000	6	DIFROL	Corto

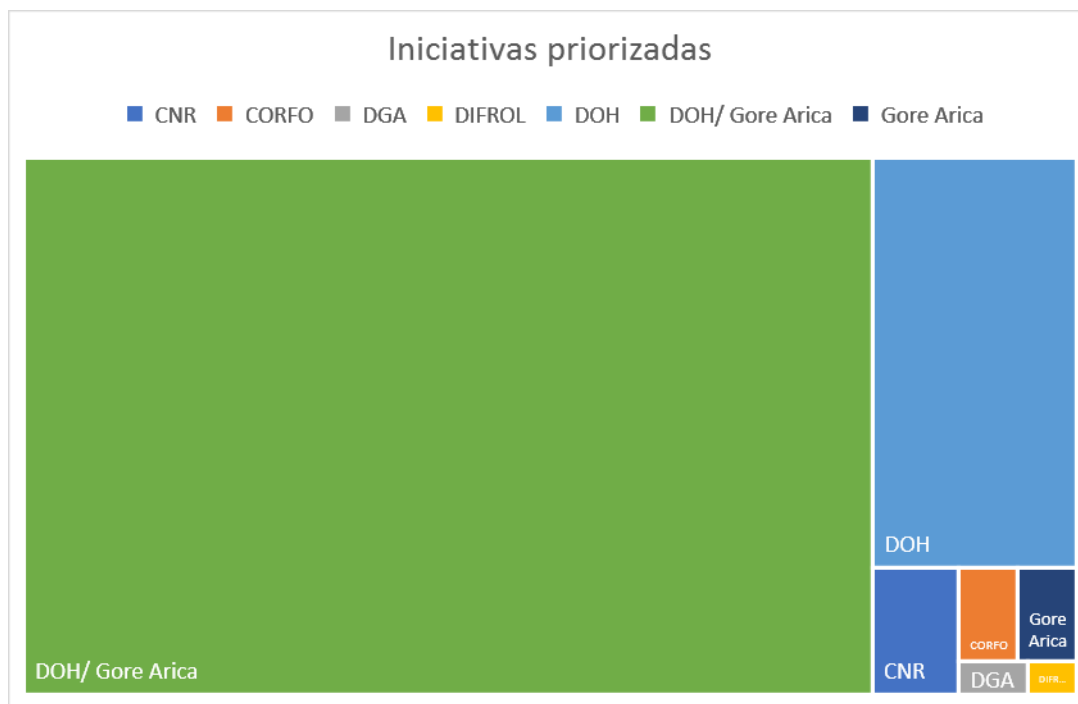
Fuente: elaboración propia.

En función de los resultados de la evaluación económica, y la responsabilidad en la ejecución de las iniciativas, se resume a continuación el VAC y CAE total por institución responsable en Tabla 4.5 y Figura 4.3.

Tabla 4.5 Distribución de costos según ejecutor: VAC y CAE [\$ Millones de Pesos] Iniciativas Propuestas.

Instituciones	CAE (\$Millones)	VAC (\$Millones)
CNR	282,48	690,47
CORFO	225,23	350,00
DGA	145,12	145,00
DIFROL	120,10	120,00
DOH	1.914,33	5.244,80
DOH/ Gore Arica	7.737,67	28.818,13
Gore Arica	70,17	350,00
Total general	10.495,09	35.718,40

Fuente: elaboración propia.



Fuente: elaboración propia.

Figura 4.3 Distribución de VAC [\$ Millones de pesos] según ejecutor: Iniciativas Priorizadas.

5. IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE ACCIÓN

En el presente capítulo se presentan las características necesarias para la correcta implementación del PEGH. Se incluye también un resumen con la identificación de las fuentes de financiación previstas.

5.1 Estructura del Plan de Gestión

La estructura del PEGH se ha establecido de acuerdo con 4 ejes, alineados según los objetivos del presente estudio:

- **EJE 1:** Uso estratégico del Recurso Hídrico: Brechas entre oferta y demanda, riesgos hídricos
- **EJE 2:** Información y Monitoreo del Recurso Hídrico
- **EJE 3:** Gestión y Gobernanza del Agua
- **EJE 4:** Conservación y Protección del Recurso y del Ecosistema Hídrico.

A su vez, en cuanto a su tipología, las iniciativas se clasifican en 4 tipos según:

- Obras de infraestructura (OI)
- Medidas de Gestión (MG)
- Nuevas Fuentes (NF)
- Otras Medidas (OM)

5.2 Plazos de implementación

Los plazos de implementación se muestran en la Tabla 7.7 del informe principal y los detalles de las iniciativas en el Apéndice I del Anexo F.

5.3 Estrategia de Implementación

Para la lograr implementar las iniciativas del PEGH es necesario conocer los diferentes aspectos que puedan influir en la implementación de las acciones del plan, dentro de lo cual se pueden identificar aspectos institucionales, culturales, normativos, económicos, teniendo en consideración el rol de las mujeres y aspectos relacionados con el ciclo político. Este último aspecto guarda relación con el compromiso de las autoridades de los Servicios Públicos clave, ya que son estas autoridades las que validarán y priorizarán las iniciativas de inversión asociadas al Plan, destinarán personal para el seguimiento del PEGH y apoyarán en la convocatoria a reuniones futuras y tendrán un rol activo en el PEGH.

Proceso de implementación

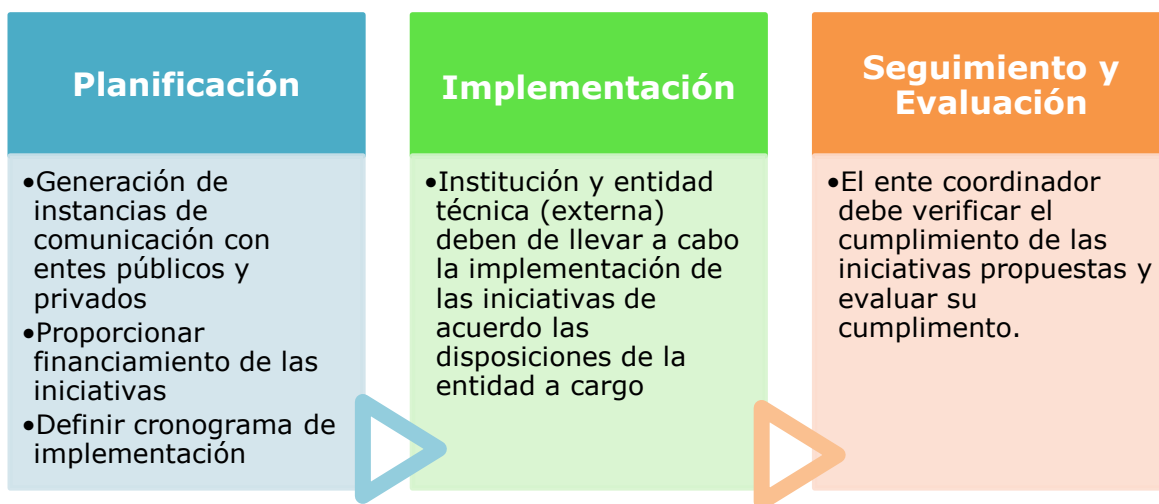
El Plan Estratégico es parte de un proceso de mejoramiento continuo en donde, es necesario ir incorporando constantemente a nuevos actores e iniciativas que puedan ir

surgiendo. Como ya se ha mencionado previamente existentes factores que influyen en la implementación del PEGH, y para el éxito de su implementación es necesario considerar al menos:

- Identificación y comunicación con instituciones responsables
- Generar una buena acogida las iniciativas por parte de los beneficiarios
- Disponer de financiamiento
- Identificar externalidades positivas y negativas de cada medida. En este caso, entre las externalidades positivas se cuentan la solución de problemas de APR, un mayor caudal ecológico y la recarga de acuíferos.
- de acuíferos.

Debido a que los PEGH han sido impulsados por DGA, se considera que sea esta entidad la responsable de estar a cargo de esta herramienta a partir de la coordinación y articulación desde la Dirección Regional de Aguas. Esto, debido a que se considera a ésta como una entidad conocedora de la realidad territorial de una forma más próxima (que por ejemplo la DGA Nivel Central) y que mantiene vínculos con los actores territoriales, tanto públicos de otros servicios (DOH, CNR u otros) como actores.

En la Figura 5.1 se presenta un esquema básico de los pasos propuestos a seguir en la implementación de las iniciativas del PEGH.



Fuente: elaboración propia.

Figura 5.1 Esquema de la ejecución de iniciativas del PEGH.

5.4 Gobernanza del Plan Estratégico

De acuerdo al informe de la Mesa de Agua, del Comité Científico COP25 (2019), se comprende por gobernanza del agua como el proceso a través del cual se deben adoptar las decisiones sobre la protección y gestión de un bien que tiene valor ambiental, social y económico, resguardando en todo el proceso que las decisiones sean tomadas de manera informada, coordinada y participativa entre los actores relevantes, y de este modo, asegurar que las generaciones presentes y futuras puedan acceder al disfrute de todos los servicios ecosistémicos asociados al agua. Es decir, la gobernanza se orienta a responder las interrogantes: ¿quiénes toman las decisiones?, ¿cómo?, ¿sobre qué?, y ¿quién asegura el cumplimiento de los objetivos buscados?

En este marco, se plantea que el objetivo central de la gobernanza debe ser lograr la seguridad hídrica en el país, existiendo consenso en la necesidad de integrar criterios de sostenibilidad en la toma de decisiones ante el cambio climático, con el fin de ayudar a reducir y/o mitigar la incertidumbre que genera este. Al respecto, la Mesa del Agua ha considerado cinco aspectos o enfoques relevantes en materia de gobernanza, a saber:

1. **Gobernanza resiliente y ambientalizada:** dados los cambios observados y proyectados en las precipitaciones, se requiere una gobernanza (derecho y gestión) resiliente y ambientalizada, es decir, proteger el agua.
2. **Cambios al régimen legal de acceso al agua, usos prioritarios y medio ambiente:** toda vez que la realidad hídrica y climática es muy diferente a la pasada, se requieren cambios para lograr sostenibilidad y equidad social.
3. **Gestión integrada de cuencas y participación:** se debe avanzar hacia la gestión integrada de los recursos hídricos de la cuenca, en la que el agua es un valor ambiental, social y productivo, que incluya la gestión integrada del agua (superficial y subterránea) y entre ella y los usos del territorio. Gestión integrada que debe ser hecha por el Estado y todos los interesados, que incluye a los ecosistemas y las generaciones futuras, incentivando la constitución de organizaciones de usuarios.
4. **Autoridad de jerarquía superior:** se hace necesario contar con una autoridad política de jerarquía superior y que sea capaz de coordinar las múltiples instituciones con competencia en agua en Chile, recomendando crear una comisión nacional, altamente representativa de las instituciones y sectores públicos y privados interesados en el agua, la ciencia y la sociedad civil.
5. **Disminuir brechas en información y fortalecer la interfaz ciencia-política:** se debe generar mayor articulación y colaboración para la generación y difusión de la información que permita tomar decisiones.

Por su parte, el Plan Estratégico para la gestión de la cuenca es parte de un proceso de mejoramiento continuo, definido en tres etapas: Formulación, Implementación, y Seguimiento y Evaluación, en las cuales se propone integrar la dimensión de la gobernanza para su desarrollo.

De esta forma, en la etapa de formulación del plan se requiere la creación de una instancia que permita la participación de los distintos actores relacionados con la gestión de los recursos hídricos, usuarios directos e indirectos, considerando las problemáticas de desplazamiento y comunicación de algunos sectores de la cuenca, la diversidad de territorios y diversidad de actores vinculadas a ésta, que denominaremos Mesa del PEGH. En este sentido, la Mesa del PEGH podría evolucionar en su rol, adquiriendo una orgánica que le permita conducir en el tiempo los procesos estratégicos del plan, en este caso, su formulación y actualización. Además, podría ser la instancia que dirima los vacíos o superposiciones que existen entre las funciones de los distintos servicios públicos y actores presentes en el territorio. Sin embargo, esta posibilidad requiere que las decisiones de la mesa sean vinculantes, al menos en alguna medida, por lo que se debe avanzar hacia niveles deliberativos en la gobernanza del agua, teniendo en cuenta los límites y reglamentación vigente para ello.

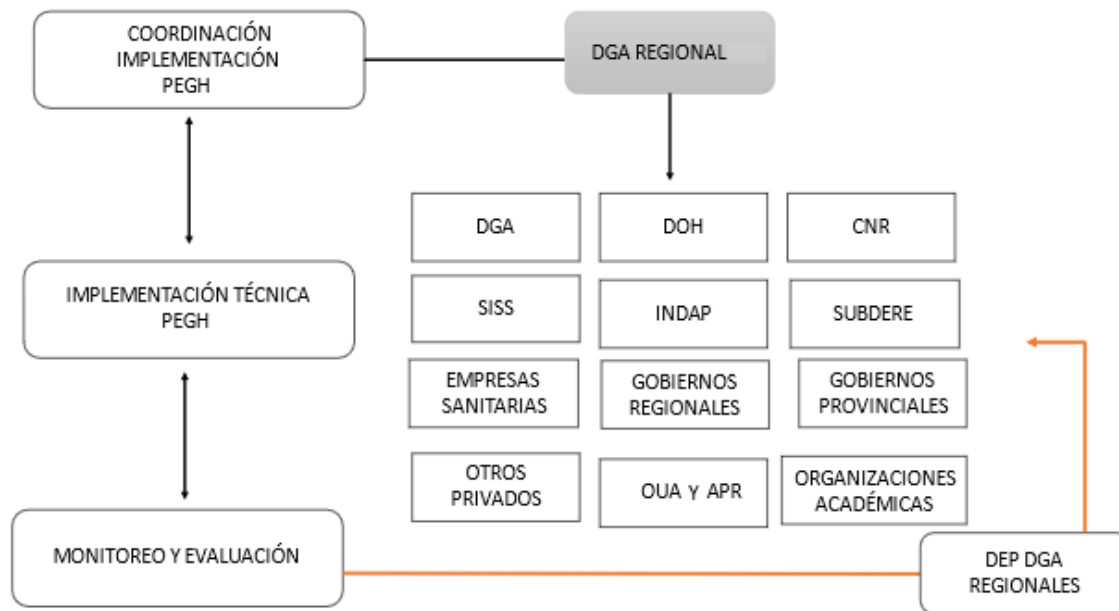
Para la implementación del PEGH se requiere atender a diversos factores que incidirán o afectarán su buen desarrollo, tales como la precisión de las responsabilidades institucionales, el interés y confianza de los actores involucrados en el plan, los recursos financieros disponibles, y los imponderables u otras externalidades positivas o negativas particulares de la o las iniciativas del plan.

Asimismo, la etapa de implementación del plan requiere contar con una instancia de coordinación, ausente actualmente en la cuenca, y que facilite el trabajo conjunto de las distintas entidades responsables de llevar a cabo las iniciativas ya identificadas. También, se hace necesaria dicha instancia de coordinación para las etapas de seguimiento y evaluación, que se haga cargo de llevar un registro permanente de los indicadores, y facilite las revisiones periódicas del Plan Estratégico formulado, permitiendo su actualización.

En particular, en la cuenca, los actores clave en la gobernanza de la misma son sin duda las organizaciones públicas vinculadas directamente a la gestión del recurso hídrico y las OUA y APR del territorio, las que, a pesar de presentar diversos grados de organización y desarrollo, son entidades de relevancia que se enlazan con la acción de las instituciones públicas. De este modo, no es posible una buena gestión del recurso sin el fomento de las relaciones entre organismos públicos y privados en este tema.

Considerando los diversos grados de organización y desarrollo de las distintas secciones de la cuenca, se requiere generar acciones para el fortalecimiento organizacional en el sector más bajo de esta, pues los niveles de acceso a tecnología y/o capacidades técnico-profesionales distan bastante de las ubicadas arriba de la cuenca.

En la Figura 5.2, se propone un modelo de gobernanza, consistente en una mesa técnica coordinada por DGA y Mesa del PEGH, cuyos miembros son los distintos grupos de actores que fueron mapeados y analizados en el estudio.



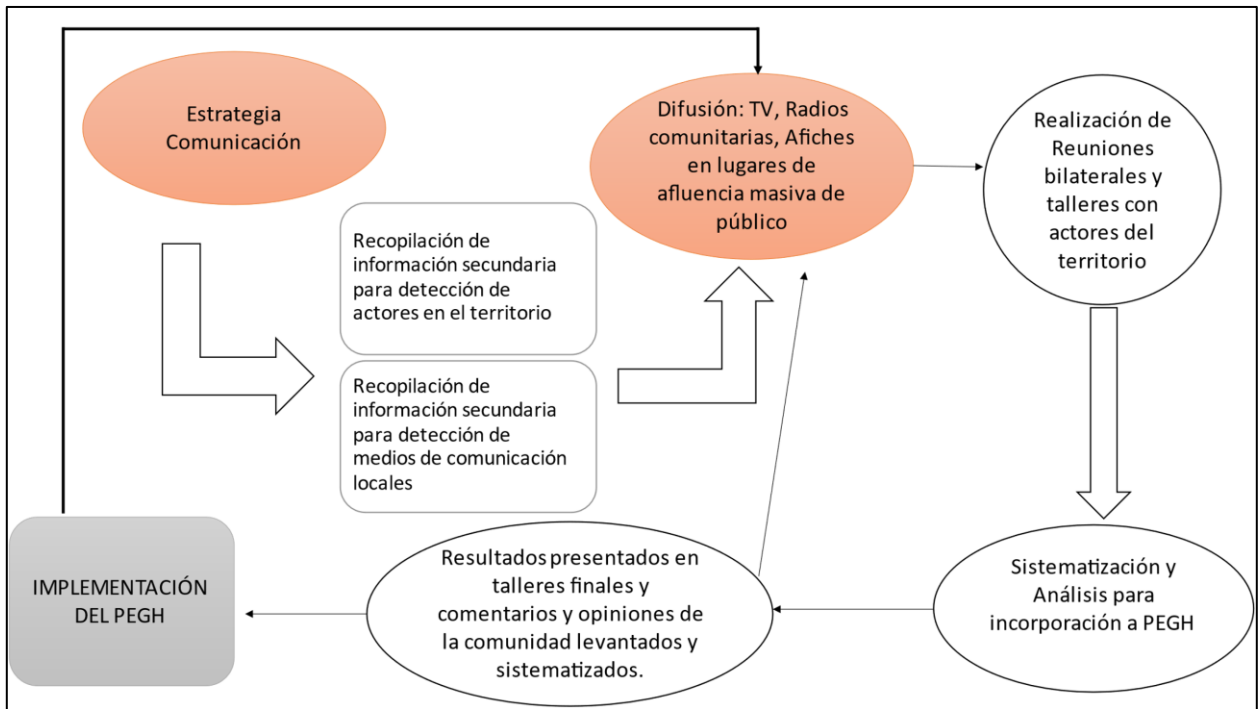
Fuente: elaboración propia.

Figura 5.2 Esquema de Gobernanza para el PEGH.

5.5 Estrategia de comunicación

La estrategia comunicacional del PEGH considerará a los actores que participaron de este proceso, en vista de que se vinculan con la necesidad de implementar una estrategia de Gobernanza pertinente a la Cuenca.

Para establecer esta estrategia, se presentan las actividades llevadas a cabo durante la consultoría, seguido de las propuestas futuras. El resumen las actividades de comunicación y difusión durante el proyecto en la Figura 5.3.



Fuente: elaboración propia.

Figura 5.3 Estrategia comunicacional PEGH.

Comunicación y difusión del PEGH en fases posteriores

En una propuesta de estrategia comunicacional a considerar para la adecuada implementación del PEGH en la cuenca, la estrategia deberá estar desarrollada en función de tres objetivos:

- Difundir el alcance y los contenidos del PEGH propuesto.
- Informar a los actores relevantes y otros actores del territorio acerca de los avances en la implementación del PEGH.
- Corroborar la aceptación de las iniciativas del PEGH por parte de los potenciales beneficiarios directos.

6. MONITOREO Y EVALUACIÓN DEL PLAN

En este capítulo se detalla el Plan de Monitoreo del PEGH de Lluta, así como los mecanismos para análisis y toma de decisiones asociados, con el objetivo de evaluar la eficacia de la implementación del PEGH, estableciendo para ello indicadores que permitan seguir el grado de cumplimiento de las iniciativas y de los objetivos definidos para el PEGH.

6.1 Plan de Monitoreo

El Plan de Monitoreo del PEGH busca establecer el grado de cumplimiento en el tiempo de las iniciativas del PEGH, y así, evaluar el grado de avance para alcanzar los objetivos formulados por el plan a través de un modelo de seguimiento. Este programa de Monitoreo se basa en experiencias anteriores en materia de planes hídricos de cuenca.

La cartera de acciones del PEGH considera iniciativas vigentes e iniciativas nuevas. El Plan de Monitoreo se centrará como índice de cumplimiento, tanto las iniciativas propuestas como de otros planes; si bien estas últimas poseen sus propios tiempos de implementación establecidos y el plan de monitoreo no tiene injerencia directa sobre ellas, se considera importante, dada la coherencia que debe tener del plan en su totalidad, al aplicar el Monitoreo correspondiente.

La Tabla 6.1 muestra la distribución de las iniciativas contenidas en el PEGH, considerando el tipo de acción y los porcentajes en cada caso según su periodo de implementación.

Tabla 6.1 Cantidad de iniciativas del PEGH según plazo de implementación.

N° iniciativas vigentes	Porcentaje de iniciativas vigentes (%)	N° iniciativas propuestas	Porcentaje de iniciativas propuestas (%)	Plazo de implementación
6	37,5	1	33,3	Corto plazo
6	37,5	2	66,6	Mediano plazo
4	25	0	0	Largo plazo

Fuente: elaboración propia.

El PEGH centrará sus esfuerzos en dar seguimiento anualmente a los indicadores establecidos para los primeros 5 años. Para el periodo posterior (mediano y largo plazo) el Plan de monitoreo deberá ser evaluado, actualizado y rediseñado.

Entre los indicadores propuestos, se cuentan los indicados a continuación:

Indicadores Generales. Cuantifican el grado de avance del plan a nivel global, considerando la relación existente entre iniciativas comenzadas y/o finalizadas versus la programación planificada según la carta Gantt. Considera 4 indicadores:

- *Porcentaje de iniciativas comenzadas (PIC)*. Se calcula como el cociente entre el número de iniciativas comenzadas en el año i y el número de iniciativas planificadas en el año i .
- *Porcentaje de iniciativas comenzadas acumulada (PICa)*. Se calcula como el cociente entre el número de iniciativas comenzadas hasta año i y el número de iniciativas planificadas hasta el año i .
- *Porcentaje de iniciativas finalizadas (PIF)*. Se calcula como el cociente entre el número de iniciativas finalizadas en el año i y el número de iniciativas planificadas en el año i .
- *Porcentaje de iniciativas finalizadas acumulada (PIFa)*. Se calcula como el cociente entre el número de iniciativas finalizadas hasta año i y el número de iniciativas planificadas hasta el año i .

Indicadores Específicos. Dan cuenta del porcentaje de avance de la implementación de las iniciativas clave del PEGH.

- *Porcentaje de avance iniciativa*. El porcentaje de cualquier iniciativa analizada se calcula como el cociente entre el avance real y lo planificado. Este cálculo se obtiene a partir de la carta Gantt específica de la iniciativa, cronograma que debe confeccionarse al momento de comenzar el proyecto en particular. Adicionalmente este indicador tiene definido un tiempo máximo para su implementación.

Indicadores de metas. Este indicador busca analizar el porcentaje de avance de los objetivos y acciones propuestas en este PEGH.

- *Porcentaje de avance de objetivos (PO)*: El porcentaje de avance de los objetivos del plan se calcula como la ponderación del porcentaje de avance de las iniciativas (Indicador Especifico) vinculadas al objetivo (ver Tabla 4.3).
- *Porcentaje de avance de acciones (PA)*. El porcentaje de avance de las acciones del plan se calcula como la ponderación del porcentaje de avance de las iniciativas (Indicador Especifico) vinculadas a la acción (ver Tabla 4.3).

Parámetro de referencia. Para los indicadores generales representa el número de iniciativas totales por año que deben ser comenzadas o finalizadas para dar cumplimiento en un 100% a la planificación del PEGH. Para los indicadores específicos representa el tiempo al cual la iniciativa debe estar 100% implementada. Este parámetro es sólo referencial y ayudan a la determinación de los umbrales del Plan de Monitoreo.

Umbrales. Los umbrales corresponden a los valores de avance mínimos aceptados para cada tipo de indicador presentados en la Tabla 6.2.

Frecuencia de revisión: El plan de monitoreo considera el seguimiento de la implementación de las iniciativas durante los primeros cuatro años (2022-2025), a

través de los indicadores descritos anteriormente. Y se contempla una evaluación y rediseño del plan en su conjunto durante el quinto año, donde una de las variables a evaluar y rediseñar es el PEGH.

Plan de Acción. Si la evaluación realizada a través del Plan de monitoreo indica que no se ha cumplido con los umbrales definidos, es decir, existen desviaciones importantes respecto de lo planificado, se ejecutará un plan de acción, que tiene por objetivo replanificar el PEGH de modo de cumplir con los objetivos propuestos en los tiempos propuestos.

El Plan de Monitoreo del PEGH se muestra en la Tabla 6.2, detallando los indicadores generales y específicos, los parámetros de referencia en cada caso y el umbral establecido por indicador de seguimiento.

Tabla 6.2 Plan de Monitoreo de PEGH.

Tipo de indicador	Indicador de seguimiento	Umbral
General	PIC N° de iniciativas comenzadas/N° iniciativas planificadas al año	Umbral PIC 80% de las iniciativas propuestas proyectadas a comenzar al año i hasta i+4
	PICa N° de iniciativas comenzadas acumuladas/N° iniciativas acumuladas planificadas al año	Umbral PICa 1) 80% de las iniciativas propuestas proyectadas a comenzar al año i hasta i+3 (valor acumulado) 2) 100% de las iniciativas propuestas proyectadas a comenzar su implementación hasta el año i+4 (valor acumulado)
	PIF N° de iniciativas finalizadas/N° iniciativas planificadas al año	Umbral PIF 80% de las iniciativas propuestas proyectadas a finalizar al año i hasta i+4
	PIFa N° de iniciativas finalizadas acumuladas/N° iniciativas finalizadas acumuladas planificadas al año	Umbral PIFa 1) 80% de las iniciativas propuestas proyectadas a finalizar su implementación el año i hasta i+3 (valor acumulado) 2) 100% de las iniciativas propuestas proyectadas a finalizar su implementación hasta el año i+4 (valor acumulado)
Específico	Porcentaje de avance de cada iniciativa	Soluciones definitivas para APR (0%)
Metas	PO Porcentaje de avance de las iniciativas vinculadas al objetivo/ N° de iniciativas vinculadas al objetivo	Umbral PO 80% de las iniciativas propuestas proyectadas a comenzar al año i hasta i+4 (valor acumulado)
	PA Porcentaje de avance de las iniciativas vinculadas la acción/ N° de iniciativas vinculadas la acción	Umbral PA 80% de las iniciativas propuestas proyectadas a comenzar su implementación hasta el año i+4 (valor acumulado)

Fuente: elaboración propia.

Según lo indicado anteriormente, el Plan de Monitoreo, en caso de incumplimiento de los indicadores requerirá un plan de acción, dependiendo del periodo de tiempo considerado:

- **Para los primeros 4 años (año i hasta i+4):** El objetivo del Plan de Acción sería reprogramar o replanificar las iniciativas atrasadas para el año siguiente al originalmente programado. Sí el valor de los indicadores PIC y/o PIF es menor al valor del umbral definido, entonces el PS activa el plan de acción, el cual determina el número total de iniciativas que deben reprogramarse para el año siguiente. Su valor corresponderá al número de iniciativas mínimas programadas para un determinado año (PIC, 80% anual) más las iniciativas retrasadas acumuladas.
- **Año 5 (año i+5):** El objetivo del Plan de Acción en este periodo es analizar si el PEGH ha cumplido en un 100% con su planificación. En caso que no se haya cumplido con la planificación, el PS entregará el número de iniciativas que no fueron ejecutadas, información que será una variable de entrada en la evaluación, actualización y rediseño del PEGH, a través de los mecanismos para el análisis, toma de decisiones y rediseño del plan de acción.

6.2 Mecanismos de evaluación, actualización y toma de decisiones

La planificación tiene una componente dinámica, más aun considerando iniciativas relativas a los recursos hídricos, los cuales van de la mano con la evolución del contexto climático, incidiendo sobre la oferta hídrica en la cuenca, y los cambios inherentes en la demanda de agua del territorio, así como las relaciones entre los actores (fortalecimiento, conflictos), y finalmente, en un contexto político donde la propiedad sobre el agua y el rol de las comunidades en la cuenca podría tornarse en un tema conflictivo. Lo anterior hace necesario que el PEGH sea evaluado para determinar si el diseño original sigue vigente al cabo de su primer ciclo de 5 años, así como en ciclos consecutivos del mismo periodo.

En el presente mecanismo de análisis y toma de decisiones se expone, la metodología a considerar, y luego cómo debe ejecutarse la etapa de reformulación del PEGH.

En relación al análisis del PEGH para su reformulación, se recomienda considerar los siguientes aspectos:

1. Actualización del diagnóstico en la cuenca en materia de recursos hídricos, con especial atención a las brechas entre oferta y demanda, el estado de la infraestructura, la situación de gobernanza en el territorio y el estado ambiental de los cuerpos de agua de la cuenca, solución de brechas de información identificadas en el desarrollo del PEGH. Considera recopilar, revisar y analizar los nuevos antecedentes generados durante los 5 años de implementación del PEGH.
2. Actualización de las problemáticas, brechas y cartera actual de acciones generadas en la cuenca a nivel público como privado.

3. Actualización del modelo hidrológico superficial-subterráneo con la nueva data disponible, resolviendo brechas de modelización que hubieron quedado no resueltas durante el diseño del PEGH original.
4. Evaluación de nuevos escenarios de gestión a través de la herramienta de modelación disponible
5. Evaluación de las condiciones habilitantes de las iniciativas no ejecutadas.
6. Evaluación del resultado del Plan de Monitoreo el año i+4, mediante la cuantificación de las iniciativas no comenzadas/finalizadas del PEGH.

En base a lo anterior, la DGA deberá definir cómo abordar la reformulación del PEGH, ya sea a través de medios propios o con apoyo externo al servicio, estableciendo:

- Revisión y/o actualización de los ejes y objetivos específicos del PEGH.
- Revisión y/o actualización de las iniciativas ya iniciadas, e incorporación de nuevas acciones, a corto/mediano/largo plazo.
- Si corresponde, actualización del Plan de Monitoreo asociado al PEGH.