

# 56

Fecha de presentación: marzo, 2021

Fecha de aceptación: mayo, 2021

Fecha de publicación: julio, 2021

## PROPUESTA DE PROGRAMA

PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN ZONAS ARIDAS DE TACNA, PERÚ

### PROGRAM PROPOSAL FOR THE OPTIMIZATION OF WATER RESOURCES IN ARID ZONES OF TACNA, PERU

Elmer Limache Sandoval<sup>1</sup>

E-mail: [proconsu@hotmail.com](mailto:proconsu@hotmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4852-1916>

Vidal Choque Apaza<sup>2</sup>

E-mail: [clevichl@gmail.com](mailto:clevichl@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2700-1375>

Miguel Alexis Piaggio Canivillo<sup>2</sup>

E-mail: [mpiaggoc@unjbg.edu.pe](mailto:mpiaggoc@unjbg.edu.pe)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2310-7487>

<sup>1</sup> Universidad Privada de Tacna. Perú.

<sup>2</sup> Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Perú.

#### Cita sugerida (APA, séptima edición)

Limache Sandoval, E., Choque Apaza, V., & Piaggio Canivillo, M. A. (2021). Propuesta de programa para la optimización de los recursos hídricos en zonas áridas de Tacna, Perú. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(4), 521-535.

#### RESUMEN

Tacna es una región de clima árido en el extremo sur de Perú con tres cuencas de ríos que corresponden al Caplina, Sama y Locumba que configuran una zona particularmente escasa en disponibilidad de agua, de lo cual nace la necesidad de proponer la optimización del recurso hídrico. La investigación realiza un diagnóstico de la problemática del recurso agua de la zona utilizando variadas técnicas como la revisión documental proveniente de los documentos e informes públicos y privados relacionados al problema hídrico en la región y observación participante mediante la realización de un trabajo de campo. El trabajo detecta las principales problemáticas en el uso racional del recurso y se propone 11 programas de optimización del recurso hídrico en Tacna con proyectos que deben ejecutarse en el corto, mediano y largo plazo.

**Palabras clave:** Balances hídricos, Uso racional del agua, zonas áridas de Tacna.

#### ABSTRACT

Tacna is a region with an arid climate in the extreme south of Peru with three river basins corresponding to the Caplina, Sama and Locumba that make up an area that is particularly scarce in water availability, from which arises the need to propose the optimization of the water resource. The research makes a diagnosis of the water resource problem in the area using various techniques such as documentary review from public and private documents and reports related to the water problem in the region and participant observation through field work. The work detects the main problems in the rational use of the resource and proposes 11 water resource optimization programs in Tacna with projects that will must be executed in the short, medium and long term.

**Keywords:** Water balances, Rational use of water, arid areas of Tacna.

## INTRODUCCIÓN

Los recursos hídricos son todas las aguas que existen en la Tierra y están disponibles para todos los seres vivos y sin ellos no sería posible la vida. Se encuentran repartidos en forma desigual en ríos, lagos y mares; utilizándose de dos maneras: mediante uso consuntivo y no consuntivo. Mediante el uso consuntivo (para el consumo) se destina para uso agropecuario, doméstico e industrial y, para uso no consuntivo (que no implica consumo del recurso), se lo utiliza como transporte, para la generación de energía eléctrica, en la diversión y como hábitat de animales acuáticos. Es un elemento fundamental para la vida en la Tierra, pues se encuentran en todos los organismos siendo parte de sus procesos fisiológicos y sostiene el medioambiente. La industria, la agricultura y el transporte requieren este vital elemento y conocer su disponibilidad ayuda a maximizar su uso. Se hace necesario el uso racional de la misma y su energía asociada evitando la sobre explotación de los mismos y haciendo programas de mejoras que garanticen un desarrollo sostenible de los ecosistemas. Entre ellas se encuentran: evitar su uso o reducir su consumo desde la fuente, recirculación y reutilización, reciclaje hacia procesos menos exigentes y tratamiento a un nivel aceptable para su disposición final (Urbaniec, et al., 2017; Valdés López, et al., 2021).

El manejo de los recursos hídricos en zonas áridas y semiáridas es importante, dado su escasez, haciendo vulnerable la economía de muchas regiones siendo necesario darle especial atención a estas regiones con una serie de políticas de optimización dependiendo de las condicionantes de cada país (Parga, et al., 2006; Parra, et al., 2020).

Guevara Pérez (2016), plantea que en Perú el marco legal del agua está regulado por la Ley de recursos hídricos 29228 del 2009 y tiene los siguientes principios: valoración del agua y de gestión integrada; prioridad de acceso al agua, participación de la población y cultura, seguridad jurídica, respeto del agua de las comunidades; principio sostenible de carácter precautorio y eficiencia, en la de gestión de cuencas

Las cuencas hidrográficas del departamento de Tacna, se ubican en el desierto de Atacama, el más árido de la tierra, con recursos hídricos con tendencia a disminuir, incrementándose la demanda de uso poblacional y el incremento del uso agrícola configurándose una situación de cuencas agotadas. El déficit del agua se agrava con la mala calidad de las fuentes de origen volcánicas, resultando aguas contaminadas con altas concentraciones de boro, arsénico y azufre

Limache & Choque (2018), concluyen que en Tacna, el uso racional del agua es de vital importancia, dado el aumento paulatino de la población y que el 10% del agua potable se pierde por la deficiente red de abastecimiento.

Un estudio de esta zona realizado por Haro & Vallejos (2012), sostiene que hay uso inadecuado del agua de riego, poca predisposición al pago por el servicio de agua de riego e identificación del pasivo ambiental precisando la necesidad del incremento de las tarifas por el servicio del agua. El déficit del agua se agrava con la mala calidad de las fuentes de origen volcánicas, resultando aguas contaminadas con altas concentraciones de boro, arsénico y azufre

En este artículo pretendemos a partir de un diagnóstico inicial realizado proponer un programa para la mejora de la gestión de los recursos hídricos en zonas áridas de Tacna, que ayude al desarrollo sostenible de la región

## MATERIALES Y METODOS

Para la recolección de información se usó el análisis documental, la observación participante, la revisión bibliográfica, las entrevistas personales y las sesiones de grupo. La población está referida a los documentos de análisis referenciados como informes técnicos, documentos oficiales y privados. Se utilizaron como instrumentos de recolección de datos la guía de observación y el diario de campo. Asimismo, se utilizó la ficha documental para acopio de información de las instituciones públicas y privadas y la ficha bibliográfica. Las declaraciones de los líderes de la población y funcionarios fueron grabadas. En el proceso se utilizó técnicas de la estadística descriptiva como tablas de frecuencia y gráficos estadísticos y fotografía

El ámbito de estudio lo conforman las cuencas de los ríos Caplina, Sama, Uchusuma, Caño y la cuenca del río Locumba; las cuatro primeras están dentro de la región Tacna, y la cuenca del río Locumba es compartida con Moquegua. El área total del ámbito es de 16,389.18 Km<sup>2</sup>. (Perú, Autoridad Nacional del Agua, 2015a), y, el esquema hidráulico de Tacna se resume en la Figura 1, basada en Autoridad Nacional del Agua de Perú (2015b).

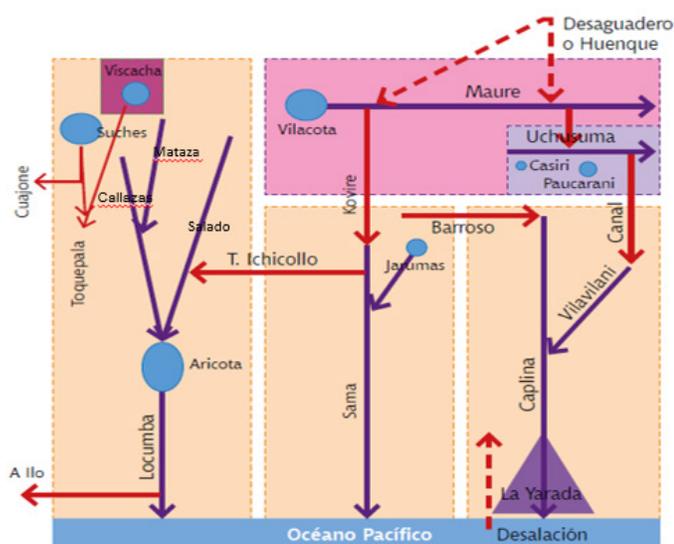


Figura 1. Sistema hidráulico de las cuencas de Tacna.

Una breve descripción de las cuencas analizadas se muestra a continuación:

- Cuenca del río Caplina. Constituida por el río Caplina y sus tributarios, las Quebradas de Toquela-Challaviento, Ancoma, Ataspaca y Causuri. También la Quebrada de Vilavilani o Yungane y otras Quebradas menores como Hospicio y Concordia que limitan con Chile. Tiene dos trasvases aportantes en las nacientes del río Talabaya (de la cuenca del Sama) a través del Canal Barroso y del río Uchusuma (perteneciente a la vertiente del Titicaca) a través del Canal Uchusuma Alto que vierte en la Quebrada de Vilavilani. La cuenca Caplina no cuenta con regulación propia. La oferta propia de la cuenca es escasa y proviene de trasvases ya indicados, en las aguas subterráneas del acuífero del Ayro (de la vertiente del Titicaca) y del acuífero del Caplina (en la parte baja de la cuenca).
- Cuencas de los ríos Uchusuma y Caño. Ambos ríos corresponden a la cuenca del Titicaca y comparten aguas con Bolivia. La cuenca del Uchusuma está regulada mediante los embalses de Paucarani y Condorpico, operados por la Junta de Usuarios del Valle de Tacna. Hay un trasvase hacia las cuencas del Pacífico mediante el canal Vilavilani.
- Cuenca del río Sama. Esta cuenca tiene dos zonas: Cuenca Alta, formada por los ríos Salado y Tala. El río Tala está formado por la unión de los ríos Ticalaco, Pistala y Estique-Tarucachi-Talabaya. Cuencas Media y Baja, formada por el río Sama formado por la unión de los ríos Salado y Tala hacia abajo en el de Chucatomani. La cuenca Sama trasvasa mediante el Barroso hacia la cuenca del Caplina, por el túnel Kovire trasvasa aguas del Maure; y, el trasvase del Dique Cano-Salado hacia la cuenca del río Locumba.

El trasvase de Kovire lleva aguas del Maure hacia la laguna Aricota en la cuenca del Locumba pero también beneficia a la cuenca del Sama. La cuenca alta del río Ticalaco se regula mediante la presa Jarumas, operada por la Junta de Usuarios de Riego Tarata.

- Cuenca del río Locumba. Tiene tres zonas: Cuenca Alta, desde la laguna Suches hasta la laguna Aricota y comprende los ríos Callazas, Matanzas, Salado y el Tacalaya; Cuenca Media, en el valle de Locumba, y comprende los ríos Curibaya, Ilabaya y el Cinto hasta las proximidades del centro poblado Camiara; Cuenca Baja, cerca de Ite, incluyendo los humedales de Ite. Cuenta con los trasvases desde las cuencas del Maure y del Sama hacia la laguna Aricota mediante los túneles Kovire e Ichicollo, de la explotación de recurso subterráneo y superficial de las lagunas Suches, Vizcachas y acuíferos en la cuenca alta utilizadas por las minas de Toquepala y Cuajone y, finalmente en la cuenca baja hay un trasvase de recurso hacia la población de Ilo en las inmediaciones de la bocatoma del Canal de Ite. La Laguna Aricota corta el curso de los ríos Callazas y Salado

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En lo que compete a Tacna, la vertiente del Titicaca tiene un caudal de 317.1 m<sup>3</sup>/s que representa el 0.5% del total, de los cuales solo el 1.4% tiene un aprovechamiento factible, existiendo una posibilidad de su aprovechamiento. Pero, hay mayor posibilidad en la cuenca del Atlántico del cual solo se usa el 0.1% (Oblitas, 2004).

El mayor uso de volumen de agua consumido corresponde al sector productivo primario correspondiente a actividades agropecuarias. Les sigue el uso minero y poblacional y el uso industrial restringido a actividades productivas privadas localizadas fuera del área urbana (industrias de alimentación y canteras) (Tabla 1).

Tabla 1. Usos del agua en Tacna.

Usos	Porcentaje
Agropecuaria	89,2
Minero	7,0
Poblacional	3,7
Industrial	0,1
Total	100,0

Fuente: Perú. Autoridad Nacional del Agua (2015b).

La estructura de la producción no refleja la distribución del uso del agua, pues los sectores que generan mayor riqueza económica consumen menor cantidad de recurso hídrico, como los servicios, la minería, el comercio o el

transporte. El peso del sector agropecuario (6.9%) es bajo respecto al poblacional (45,8%) e industrial (29,5%) (Tabla 2).

Tabla 2 Distribución porcentual de la producción en Tacna.

Sector productivo	Porcentaje
Agropecuario	6.9
Minero	17.8
Poblacional (Comercio y otros servicios)	45,8
Industrial (Manufactura, pesca, construcción, transportes)	29,5
Total	100,0

Fuente: Perú. Autoridad Nacional del Agua (2015b).

Un balance hídrico de las cuentas estudiadas se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Balance Hídrico de las Cuencas de Tacna.

CUENCA	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	TOTAL
Caplina	-8,26	-7,53	-6,96	-5,55	-1,80	-1,32	
Sama	-2,74	-2,10	-3,15	-3,70	-2,39	-1,17	
Locumba	1,66	2,24	-0,71	-6,02	-5,35	-3,94	
	Jul	Agos	Sep	Oct	Nov	Dic	
Caplina	-1,42	-1,21	-2,11	-3,98	-5,89	-6,90	-4,41
Sama	-1,25	-1,06	-1,59	-2,25	-3,35	-3,64	-2,37
Locumba	-3,66	-0,85	-0,66	-0,95	-1,99	-1,99	-1,85

Fuente: Perú. Gobierno Regional de Tacna Perú (2013).

**Cuenca del Caplina**, el balance hídrico de esta cuenca es deficitario durante todo el año, con un déficit medio de -4,412 m<sup>3</sup>/s, que equivalen a más de 139,1 Hm<sup>3</sup>/año. Este desbalance es mayormente resultado del déficit hídrico en el uso del acuífero Caplina utilizado en el riego de la zona agrícola de La Yarada, que en la actualidad se encuentra en veda por sobreexplotación del acuífero.

**Cuenca del río Sama**, refleja la variabilidad climática en las oscilaciones de la oferta. Se aprecia tres meses al año con el balance equilibrado (meses de junio, julio y agosto), que coincide con el invierno y el periodo de latencia de las plantas, por lo cual el uso del recurso es bajo en la agricultura. El déficit medio de la cuenca es de -2,367 m<sup>3</sup>/s, equivalentes a aproximadamente 74,7 Hm<sup>3</sup>/año.

**Cuenca del río Locumba**, cuyo balance hídrico es -1,85 m<sup>3</sup>/s que equivalen a 58,4 Hm<sup>3</sup>/año y existen excedentes de recurso en los meses de enero y febrero.

En los estudios consultados de calidad del agua, se aprecia que menos del 50% de las aguas de los ríos cumplen con los estándares de calidad ambiental (ECA) Cat. 3, para riego agrícola, y el 95% de las aguas en las plantas de tratamiento de agua potable (PTAP) Calana, Alto de Lima y Pachía superan el 0.01 mg/l de Arsénico y 75 vertimientos de aguas residuales urbanas no tienen análisis de calidad de las aguas. Hay 23 depósitos de residuos sólidos sin datos sobre su calidad y 22 pasivos ambientales sin datos de contenidos en contaminantes, lo que se traduce en una deficiente calidad del agua que se utiliza en la agricultura y la que consume la población regional (Pino, et al., 2016; y Perú. Autoridad Nacional del Agua, 2015a).

La escasa cultura del agua se traduce en una eficiencia de riego entre el 35% y el 65% siendo el riego mayoritario por inundación, con predominancia de cultivos de alfalfa, maíz. Asimismo, el promedio de consumo poblacional de 270 l/hab\*día es alto en una zona con escasez de agua, el promedio de consumo por cultivo de 22,000 m<sup>3</sup>/ha\*año y el uso

promedio en la minería 1.4m<sup>3</sup>/Tn procesada, son elevados para los estándares mundiales, lo que evidencia pérdida de agua por deficientes prácticas culturales y desperdicios industriales (Perú. Autoridad Nacional del Agua, 2015a).

Los estudios de delimitación de zonas inundables son incompletos, así como los planes de contingencias, por lo que se aprecia deficiente prevención sobre eventos extremos relacionados al clima.

El costo medio para uso poblacional se estima en 0.01352 Soles/m<sup>3</sup>, la de uso agrario en 0.001825 Soles/m<sup>3</sup> y la de uso industrial es 0.05780 Soles/m<sup>3</sup>. Asimismo, la tarifa media para uso poblacional es 0.38 a 1.47 Soles/m<sup>3</sup>, la de uso agrario es 0.001 a 0.018 Soles/m<sup>3</sup> y la de uso industrial, de 2.62 a 5.29 Soles/m<sup>3</sup> (ANA, 2015) por lo cual estos pagos por el servicio de agua son bajos y no permiten la recuperación de los costos.

Los conflictos identificados relacionados con el recurso hídrico están referidos a límites de cuenca con las regiones de Moquegua y Puno, cuyos límites políticos no coinciden con los límites hidrográficos. Es el caso de Maure que se encuentra hidrográficamente en la cuenca del Titicaca. Asimismo, se constatan conflictos con la minería y la agricultura, con énfasis en los que producen trasvases de agua de una cuenca a otra. Los conflictos relevantes en las cuencas de Tacna es el que enfrenta a la empresa minera Southern con la población de Candarave por el uso de las aguas dulces subterráneas y el que enfrenta a las poblaciones de Maure con el PET por la represa Villachauillani. Por otro lado, están vigentes los conflictos por contaminación del agua, por el incremento de vertimientos con efluentes de aguas no tratadas, como es el caso de la contaminación del río Uchusuma por la empresa minera MINSUR (Entrevistas con Funcionarios de la Región de T 2019).

Las aguas subterráneas de Tacna se ubican en el acuífero de La Yarada y la cantidad de pozos inventariados en el año 2019 fue de 891 pozos de los que 661 (74.19%) están en uso, 146 (16.39%) son utilizables, 83 (9.32%) no utilizables 01 (0.11%) en perforación.

El volumen extraído total corresponde a 197,2 Hm<sup>3</sup>y el mayor porcentaje al distrito La Yarada-los Palos (90,10%) que, coincidentemente tiene el mayor número de pozos utilizados (605), como se aprecia en la tabla 4.

Tabla 4. Pozos y volumen extraído por distritos del Acuífero del Valle del Río Caplina.

Distrito	Pozos utilizados	Volumen extraído (m <sup>3</sup> )	total volumen extraído (Hm <sup>3</sup> )	%
Pachía	1	0.00	0.0000	0.00
Calana	1	0.00	0.0000	0.00
Pocollay	2	1608336.00	1.6083	0.82
Tacna	57	5664970.08	5.6650	2.87
Crnl. G.A.L.	17	12165674.40	12.1657	6.17
La Yarada-Los Palos	605	177700568.90	177.7006	90.10
Sama	5	75682.80	0.0757	0.04
Ciudad Nueva	0	0.00	0.0000	0.00
TOTAL	688	197215232.18	197.2152	100.00

Fuente: Perú. Autoridad Nacional del Agua (2017).

El número de pozos perforados en el acuífero se ha incrementado de 31 veces en el año 1967 hasta 891 en el año 2019, de los cuales se utilizan plenamente 661 y cuya explotación produce 197,09 MMC/año o 6.25 m<sup>3</sup>/s

Asimismo, solo 90 pozos tienen licencia de agua otorgado por la autoridad del agua. (Junta de Usuarios del Valle de Tacna, 2021) y, de las 35 000 ha irrigadas, 5 355 corresponden a pozos con licencia y el resto son informales.

Se ha determinado en base a la demanda de agua de los cultivos y el volumen explotado en el acuífero la existencia de un déficit de 34,68 Hm<sup>3</sup> lo que evidencia el peligro de la continuidad de la perforación de pozos (Tabla 5).

Tabla 5. Demanda de Agua y déficit en el valle del Río Caplina.

Cultivos	Demanda (Hm <sup>3</sup> )	Explotado (Hm <sup>3</sup> )	Déficit (Hm <sup>3</sup> )
Demanda total cultivos	343.77	197.09	
Descontando Frutales por Implantarse	331.34	197.09	
Descontando Áreas en Descanso	306.01	197.09	
Considerando Rango Edades Olivo	231.78	197.09	34.68

Fuente: Perú. Autoridad Nacional del Agua (2017).

La sobreexplotación del acuífero se valora con indicadores críticos como la velocidad de descenso de la capa freática por año calculado en 1 m por año. Asimismo, se toma en cuenta la mineralización de las aguas en el tiempo y diversos estudios demuestran que el agua está salinizada. Otro indicador es el porcentaje de pozos secos (83 no utilizables) lo cual ocurre cuando la capa freática ha descendido y se tiene que volver a perforar al presentarse reducción de la producción del pozo. Actualmente los pozos están sobredimensionados al utilizarse electrobombas más potentes para extraer agua a mayor profundidad.

Otro indicador crítico es el nivel de intrusión marina expresado en un porcentaje importante de agua salada en la napa demostrado por ANA a través de estudios geofísicos y que se establece en 8 a 10 km de intrusión. Adicionalmente, según la Junta de Usuarios del Valle de Tacna las 35 000 ha irrigadas consumen 245 Hm<sup>3</sup>/año de los cuales 37 Hm<sup>3</sup>/año corresponden a aguas con licencia, resultando una sobreexplotación oficial de 208 Hm<sup>3</sup>/año y, un nivel de recarga del acuífero de 54 Hm<sup>3</sup>/año (Perú. Gobierno Regional de Tacna 2020)

Tomando en consideración el desarrollo tecnológico, la innovación, la gestión de la información y el conocimiento que debe ser asimilado y adaptado por los directivos regionales contribuyen directamente al crecimiento económico y el desarrollo de la región de Tacna y, paralelamente, el crecimiento poblacional va correlacionado al necesario incremento de la producción hídrica para satisfacer los nuevos requerimientos de la demanda en sus diferentes usos consuntivos y no consuntivos, se configuraron 4 escenarios posibles que se pueden ver en la Figura 2.

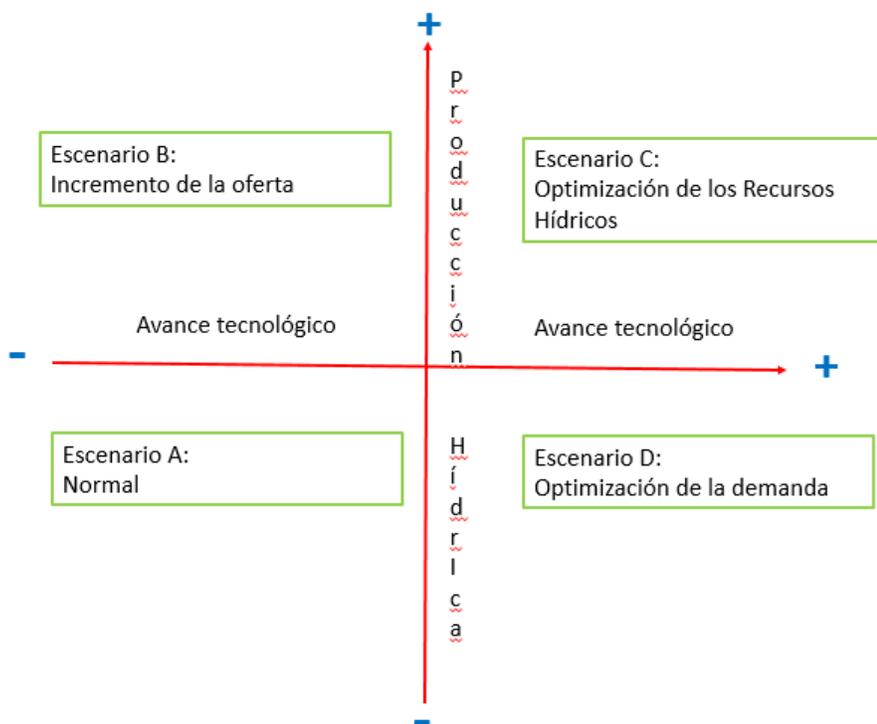


Figura 2. Escenarios posibles propuestos.

Fuente: Perú. Autoridad Nacional del Agua (2015b).

La producción hídrica, basado en la mejora de la oferta hídrica para satisfacer las nuevas exigencias de la demanda, a partir de la eficiente distribución y uso; y/o el trasvase de nuevos recursos hídricos de cuencas vecinas y el Avance Tecnológico, basado en las mejoras técnicas que elevan la eficiencia en la operación y uso del recurso hídrico, generan el escenario A, normal, producto del desarrollo tecnológico natural, sin mayor aplicación ni intervención de los actores y la producción hídrica que responde mayormente a las demandas poblacionales crecientes y que utilizan los recursos disponibles que ofertan los operadores del agua se constituye en el peor escenario que conducirá inevitablemente a un déficit hídrico, insatisfacción de los usuarios y conflictos.

El escenario B que responde a un incremento de la oferta debido al trasvase de cuencas vecinas o a la desalación del agua de mar, sin utilización eficiente de las herramientas que provee la tecnología y, sin correspondencia entre la oferta y la demanda del recurso generando ineficiencias y desperdicios y altos costos de inversión, operación y mantenimiento, conduciendo finalmente, también a ineficiencias en el uso del recurso.

El escenario D es el resultado de la eficiente en la utilización de tecnologías y no considera el incremento de la oferta utilizando la existente y manteniendo latente una situación altamente peligrosa para todas las cuencas y que solamente es viable en el corto plazo.

El escenario C que responde tanto a la utilización de la ingeniería tecnológica para la óptima y eficiente utilización del recurso, así como al incremento en la oferta resultado de trasvase de otras cuencas vecinas tomando en cuenta el real incremento de la demanda hídrica.

Las propuestas de los actores regionales en los últimos años han permitido establecer dos posibilidades de desarrollo en la región: Incrementar la producción agropecuaria; y cambiar la matriz productiva.

El incremento de la producción agropecuaria, coherente con el Plan Basadre y el Plan Regional Agrario pretende ampliar la frontera agrícola en 30,000 ha repartidas en las Lomas de Sama y Locumba con un Programa de Tecnificación de Riego (PROTER) y la ampliación de la zona de La Yarada, mejorando la oferta con nuevos trasvases para atender las nuevas demandas poblacionales y sobre todo agrícolas y; mejorar la gestión de la demanda con avances tecnológicos que mejoren la eficiencia del riego así como las redes de conducción y distribución.

Esta posibilidad haría de Tacna una zona agropecuaria orientada a la agroexportación. La segunda posibilidad es cambiar la matriz productiva promoviendo actividades

económicas distintas a la agricultura con bajos requerimientos hídricos tanto en la industria, el comercio, los servicios, la minería y el turismo.

Esta posibilidad plantea no aumentar la frontera agrícola en el corto plazo y utilizar eficientemente las existentes; gestionando la oferta con mejoras en la regulación del recurso hídrico para lograr una distribución eficiente, con tarifas razonables y; gestionar la demanda con avances tecnológicos en el consumo doméstico y la aplicación general del riego tecnificado, mejorando la eficiencia de las redes de conducción y distribución. Ambas alternativas pretenden bajar el consumo promedio de riego 10,000 m<sup>3</sup>/ha/año, el consumo medio poblacional a 150 l/hab/día y el promedio de uso minero a 0.8 m<sup>3</sup>/TM de material procesado.

Ninguna de estas alternativas permiten el desarrollo integral de Tacna, por lo que se justifica un nuevo escenario de desarrollo, el C, que es una combinación de ambas y resultado de la consulta a un panel de expertos que definen las siguientes acciones: Obras de regulación, obras de conducción, uso de Innovación tecnológica, Uso de Financiamiento público y privado, Tarifas por suministro, afianzamiento hídrico y obras de trasvase de cuencas vecinas, ordenamiento de la explotación del recurso hídrico subterráneo y plantas de desalación de agua marina, así como la mejora de la cultura del agua por parte de la población y la resolución de los conflictos sociales. Se fijaron para el programa planes a corto, mediano y plazo

**Corto plazo**, es el período entre 2021 y 2025. En este período el PET, operador de infraestructura mayor tiene a su cargo el trasvase, regulación y derivación de los recursos hídricos de las fuentes naturales de las cuencas Uchusuma, Maure, Locumba, Sama y Caplina; garantiza el suministro de agua en la cantidad suficiente y en el momento oportuno a los usuarios sectoriales constituidos por la EPS Tacna, los municipios provinciales, EGESUR y las Juntas de Usuarios de Tacna. La Dirección Regional Agraria de Tacna implementa el órgano encargado de la supervisión del agua de riego del sector agrario, en correspondencia con la normativa vigente. En el corto plazo se da inicio al uso óptimo de las aguas.

**Mediano plazo**, fijado al 2030, consolida el aprovechamiento sostenible de la producción hídrica y se logra prevenir el deterioro de la calidad del agua en las fuentes naturales, implementando medidas que reduzcan la contaminación y degradación. En este período, se mejora la eficiencia en la regulación, derivación, conducción y distribución de los recursos hídricos, con reglas de

operación que garanticen el suministro a los usuarios con tarifas justas que permiten la recuperación de inversiones, la operación y mantenimiento de la infraestructura hidráulica.

El aprovechamiento conjunto de las aguas superficiales y subterráneas para conservar y mantener en equilibrio el sistema acuífero se condice con la optimización del uso del recurso. Se aprovecha mejor la oferta hídrica y se reducen los promedios de consumo de los usuarios; el promedio de uso minero se modifica de 1,15 m<sup>3</sup>/TM a 0,80 m<sup>3</sup>/TM de material procesado, reciclando y utilizando eficientemente el agua utilizada; en la agricultura, se disminuye el promedio de uso de riego de 22 000 m<sup>3</sup>/Ha/año a 15 000 m<sup>3</sup>/Ha/año disminuyendo el uso ineficiente y tecnificando el riego; y en el caso poblacional, el consumo *per cápita* se reduce de 272 l/día a 180 l/día mejorando la cultura del agua y tecnologías de uso eficiente. En el mediano plazo se utilizan óptimamente los recursos hídricos existentes.

**Largo plazo**, es el periodo entre 2021 y 2035 y está enfocado en atender la demanda de una población en crecimiento, que alcanza los 366 031 habitantes concentrados fundamentalmente en la ciudad de Tacna. Se invierte en infraestructura de trasvase (conducción de agua desde el río Desaguadero u otras fuentes alternativas), regulación, derivación, conducción y distribución y suministro de agua de calidad, suficiente y oportuna, con tarifas que recuperan las inversiones y realizan la operación y mantenimiento de la infraestructura.

Se promueve la inversión privada en proyectos y servicios para proveer agua, mediante concesiones a personas naturales o jurídicas en la instalación de plantas desalinizadoras para atender la demanda de agua con estructura de costos reales. La reducción de los promedios de consumo es evidente y; en el caso minero, se pasa de 1,15 m<sup>3</sup>/TM a 0,80 m<sup>3</sup>/TM de material procesado, en la agricultura, el promedio de riego baja a 10 000 m<sup>3</sup>/Ha/año; y el promedio de uso poblacional, el consumo *per cápita* de 272 l/día pasa a 180 l/día. El indicador relevante de largo plazo es el equilibrio del balance hídrico en las cuencas de Tacna, con porcentajes de suministro altos del 80% en la agricultura y 90% para el consumo poblacional e industrial. La calidad del agua será tal que cumple con los estándares nacionales y se mejora la oferta de agua en forma sostenible.

Considerando que el consumo de agua se reduce a 180 l/hab/día y el uso industrial se refiere mayormente al agropecuario, con proyecciones de población proyectadas por la técnica de ecuaciones polinomiales, se tiene una demanda total de 478,94 Hm<sup>3</sup>/año al 2025 incrementándose a 526,38 Hm<sup>3</sup>/año al 2035, horizonte de largo plazo para la propuesta (Tabla 6).

Tabla 6. Demandas hídricas proyectadas en las cuencas de Tacna.

Uso	Indicadores	Periodicidad			Demanda (Hm <sup>3</sup> /año)		
		2025	2030	2035	2025	2030	2035
Poblacional	180 l/hab./día	347154 h	357867	366031	22,81	23,51	24,05
Agropecuario	10000 m <sup>3</sup> /Ha/año	36700 ha	38000 ha	40000 ha	367,00	380,00	400,0
Minero	0,800 m <sup>3</sup> /Tn proceso	s.c.	s.c.	s.c.	51,72	51,72	51,72
Energético	78,58 GWh anuales por cada 1 m <sup>3</sup> /s	s.c.	s.c.	s.c.	47,30	47,30	47,30
Industrial	Agroindustria	Diversa	Diversa	Diversa	3,31	3,31	3,31
Total					478,94	505,84	526,38

Los principales programas a ejecutar en el corto, mediano y largo plazo que se consideran factibles se muestran en la Tabla 7 (Perú. Autoridad Nacional del Agua, 2015a).

Tabla 7. Programas de Optimización y periodicidad de implementación.

Programas	Corto Plazo 2022-2025	Mediano Plazo 2026-2030	Largo Plazo 2031-2035
Programa de Cultura del Agua	X	X	
Programa de ordenamiento y explotación de aguas subterráneas	X	X	
Programa de servicios de saneamiento en Tacna, Locumba y Pachía	X	X	
Programa de saneamiento y reúso de aguas	X	X	
Programa de optimización de riego en ámbitos de Junta de Usuarios	X	X	

Programa de optimización de uso por usuarios no agrarios	X		
Programa de afianzamiento hídrico de la cuenca del Caplina	X	X	X
Programa de afianzamiento hídrico de las cuencas Sama y Locumba	X	X	X
Programa de importación de recursos hídricos		X	X
Programa de mejoramiento de la calidad del agua	X	X	
Programa de resolución de conflictos en el uso del agua	X		

Respecto al *Programa de Cultura del Agua* se deben considerar convenios entre instituciones públicas y privadas con contenidos de cultura del agua insertados en los planes de estudio y en las actividades de los centros educativos, diseñar contenidos y estrategias para la difusión por los diferentes medios de la utilización de tecnologías de bajo consumo de agua tanto en la agricultura como en el uso domiciliario; asimismo, realizarse concursos de buenas prácticas de consumo e innovación en los centros educativos y en la población.

También proyectos de difusión de la cultura del agua en zonas áridas por medio de internet, televisión y programas radiales. Un proyecto adicional es la creación de un Instituto del agua en las universidades con la finalidad de crear tecnologías y difundir la cultura del agua en zonas áridas, el cual ya fue creado en la Universidad Privada de Tacna en 2020.

En cuanto al *Programa de Ordenamiento de Explotación de Aguas Subterráneas* busca asegurar el uso racional y sostenible de las aguas subterráneas, principalmente del acuífero del Caplina, en el sector de riego La Yarada, donde se evidencia la sobreexplotación del recurso.

Las acciones específicas están orientadas a concientizar a la población sobre las consecuencias negativas de la sobreexplotación del acuífero, mejorar la información técnica acerca del acuífero; realizar el Estudio Hidrogeológico del acuífero, el cual está ya iniciándose; y gestionar su explotación con todos los usuarios para el uso sostenible, eficiente y racional tecnificando el riego y formalizando a todos los usuarios de aguas subterráneas en La Yarada, según los resultados del Estudio Hidrogeológico que permitirá la posible disponibilidad del recurso, y pronunciarse sobre la veda del recurso. Asimismo, dada la importancia del recurso hídrico que provee agua dulce, debe propenderse a atender la demanda poblacional doméstica y agropecuaria, buscando fuentes alternativas para la actividad industrial minera.

En el *Programa de servicios de saneamiento en Tacna, Locumba y Pachía*, la EPS en las ciudades en las que tiene responsabilidad técnica y como operador del servicio

desarrolla proyectos para la mejora de la red de conducción, suministro del servicio, potabilización de las aguas y tratamiento de las aguas residuales.

Los principales proyectos en Tacna están orientados a la ejecución de infraestructura como: Mejora del tratamiento de aguas para consumo poblacional, mejora de captaciones subterráneas para garantizar el suministro de agua a la población, ampliación de reservas de suministro de agua para la población, entubado de transporte del recurso hídrico para el suministro de la ciudad; mejora de las redes de distribución, el cual se está realizando pero debe concluirse; ampliación de la planta de tratamiento de aguas residuales de Magollo; y en el caso de Locumba los proyectos a desarrollarse son Mejoramiento del servicio de agua potable; y Construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales (EPS, 2013, 2016 y 2018). En las tres ciudades se deben realizar proyectos de plantas de tratamiento de aguas servidas con técnicas adecuadas para cumplimiento de LMP (para consumo humano) orientadas a la reutilización de aguas para riego en la agricultura, riego de jardines y limpieza urbana en correspondencia con la optimización del recurso.

En relación al *Programa de saneamiento y reúso de aguas* los proyectos de los servicios de agua y alcantarillado de las capitales provinciales, excepto Tacna y Locumba a cargo de la EPS Tacna, y capitales distritales son operados por las municipalidades, comités de aguas, juntas administradoras de servicios de saneamiento o comunidades campesinas y deben realizar la gestión de las infraestructuras; los tratamientos para potabilización del recurso hídrico, depuración de las aguas y medidas que conlleven a la optimización del recurso, el reúso de aguas debidamente tratadas, la concientización de la población sobre su escasez, así como la prevención ante eventos climáticos.

Los proyectos están orientados a la mejora de redes de distribución, reservorios y depuración de aguas residuales en Sama Las Yaras, Sama Inclán, Calientes y Palca, mejora de los sistemas de conducción en la provincia de Candarave; y para la provincia Jorge Basadre se orientan a la mejora de redes de distribución, reservorios y

depuración de aguas residuales (excepto Locumba) a la ampliación de los servicios de agua potable y alcantarillado, al almacenamiento y regulación de agua potable. Para la provincia de Tarata se consideran los proyectos de potabilización de aguas para suministro poblacional, mejora de redes de distribución, reservorios y depuración de aguas residuales. En general, 80% de los proyectos se están ejecutando.

En Tacna, en el *Programa de optimización de riego en ámbitos de Junta de Usuarios* la agricultura de la cuenca alta utiliza cultivos tradicionales altoandinos y en zonas de cuenca media y baja, la producción agrícola es intensiva para la exportación. En el largo plazo se debe propender a la uniformización de las técnicas de explotación y a la optimización del uso del recurso hídrico. El operador sectorial administra las infraestructuras hídricas para optimizar la distribución del recurso, la medición de consumos y su mejor utilización y los usuarios se agrupan en Comisiones de Regantes y coordinan entre sí mediante las Juntas de Usuarios de Riego que se encargan del servicio de suministro.

Tres proyectos en la Junta de Usuarios de Riego de Candarave son necesarios: Mejoramiento del canal Chiquitoma Calleraco en el CP Totorá está en ejecución; Mejoramiento del servicio de agua para riego en Calacala que se encuentra en evaluación por ALA Tacna; y Construcción del sistema de almacenamiento y regulación a través del embalse Calientes Santa Cruz en etapa de expediente técnico.

En el ámbito de la Junta de Usuarios del Valle de Tacna se consideran los proyectos: Construcción de reservorios de regulación en Calientes; Entubado de canal de riego COPARE ; Mejoramiento del canal Caplina, tramo Challata-Para; Mejoramiento de la infraestructura de captación de las comunidades de Vilavilani e Higuerani; Construcción de reservorios de regulación en Cerro Blanco R6 y R7; Entubado de laterales y riego tecnificado en Uchusuma y Magollo ; Minirepresa en la Zona de Humalante sector Ancoma; Irrigación de las Pampas de Alto de la Alianza con derechos de agua; Mejoramiento del río Caplina; Apertura de ventanas para el mantenimiento del Río Caplina sector Avenida Bolognesi.

En el ámbito de la Junta de Usuarios de Riego de Locumba se considera el proyecto Mejoramiento del servicio de agua para riego en Chipe, Sagollo, Chaucalana, Piñapa y Aurora (Junta de Usuarios de Riego Locumba, 2021).

En el ámbito de la Junta de Usuarios de Riego Sama se consideran los proyectos: Proyecto de rehabilitación de canales principales en laderas La Julia, Flores, acequia Pinos tramo I, y descolmatación de laterales de 1er. 2do

y 3er orden de la CR Tomasiri; proyecto de mejoramiento del sistema de infraestructura de agua en los sectores de riego Inclán, Tomasiri, Proter Sama; Proyectos de control de los consumos, mejoras de la infraestructura y eficiencia de riego, proyectos que se encuentran pendientes y relacionados al proyecto mayor Mejoramiento del servicio de provisión de agua para riego en la cuenca del Río Sama (Junta de Usuarios Sama, 2021). Y, en la Junta de Usuarios de Riego Tarata se considera el proyecto Mejoramiento del servicio de agua para riego en el CR Susapaya.

El *Programa de optimización de uso por usuarios no agrarios* busca la optimización del uso por usuarios privados no agrarios que manejan infraestructuras propias y disponen de licencias otorgadas. Estos operadores no agrarios están constituidos por la Empresa Generadora de Electricidad del Sur EGESUR, Southern Peru Copper Corporation, MINSUR, EXSA y Agroalimentaria del Perú S.A.C quienes implementarán proyectos como: Proyecto de optimización del consumo del recurso hídrico mediante la reducción de los promedios de uso de agua en la minería y la industria; Proyecto de promoción de reutilización de aguas en los procesos industriales orientado a optimizar el recurso hídrico; Proyecto de promoción del logro de metas de explotación industrial y uso de recursos sostenibles con el medio ambiente; Proyecto de análisis de costos ambientales sobre el impacto de las actividades industriales sobre las cuencas; cuyos costos serán asumidos mayormente por el sector privado.

El *Proyecto afianzamiento hídrico de la cuenca del Caplina*, considerado como programa por estar conformado por varios proyectos relacionados, su cuenca ha sufrido los efectos de las sequías y el déficit hídrico. La informalidad del uso del acuífero Caplina para riego de La Yarada es la causa mayor del déficit detectado aparejado a la alta concentración poblacional en la ciudad de Tacna que hace compleja la gestión y optimización del recurso hídrico. Las proyecciones del INEI consideran el crecimiento absoluto de la población y la concentración de nuevas actividades productivas relacionadas con el comercio y el turismo como variables que continúan en ascenso e incrementan el requerimiento hídrico.

Así, el Proyecto Especial Tacna, ha definido medidas de tipo infraestructural y ambiental en lo referidas a conservación y mejora del manejo del agua en esta cuenca entre las cuales está el Proyecto de mejoramiento de la provisión de agua para desarrollo agrícola en el valle de Tacna-Vilavilani II-Fase I, (se encuentra en ejecución); proyecto de mejoramiento entubado del canal Patapujo II (se encuentra aprobado) y, entubado del canal Barroso Chico.

En el caso de proyectos ambientales se consideran los siguientes: programa forestal sostenible de las cuencas de Tacna ONG; Proyectos de cosecha de agua para adaptación al cambio climático; y proyecto de tecnologías ecológicas para la conservación del agua de riego.

Similarmente el *Proyecto de afianzamiento hídrico de las cuencas Sama y Locumba*, tiene en su ámbito la laguna Aricota, en la cuenca Locumba, que tuvo una disminución de nivel, hasta 50 m según Moreno (1996), por la sobreexplotación de sus aguas por usuarios energéticos y agropecuarios. EGESUR, creada sobre la base de las centrales Aricota I y Aricota II, bombeó agua para generación de energía eléctrica desde 1967, provocando el descenso de la laguna casi colapsándola. Se logró una lenta recuperación del nivel modificando la licencia de uso del agua a partir del año 2004 aparejado a los trasvases promovidos por el Proyecto Especial Tacna, llegando a un nivel de 280 metros en la actualidad (EGESUR, 2016). EGESUR, el PET y ANA y se indica que en 2019 se llegó a un volumen de almacenamiento de 237 Hm<sup>3</sup> y se prevé 400 Hm<sup>3</sup> en el largo plazo como volumen óptimo.

Los proyectos de afianzamiento de la laguna Aricota están constituidos por acciones infraestructurales y ambientales para la optimización del recurso en esta cuenca, a través de:

Proyectos de infraestructura: Construcción de la represa Jarumas II (aprobado y transferido a Agrorural del Ministerio de Agricultura), Proyecto de represamiento Yarascay (proyecto emblemático de la provincia de Sama), se encuentra detenido y pendiente de un laudo arbitral reformulándose como Mejoramiento del servicio de provisión de agua para riego en la cuenca del Río Sama con un costo de 557 millones de soles (Junta de Usuarios de Sama, 2021); Construcción del sistema de almacenamiento y regulación de los recursos hídricos mediante el embalse Calientes-Santa Cruz (Candarave) aprobado y a nivel de expediente técnico.

Estos proyectos van en conjunto con proyectos ambientales como el Programa Forestal Sostenible de las cuencas de Tacna; los proyectos de cosecha de agua; y, proyectos de tecnologías ecológicas para la conservación del agua de riego. En Perú, el Fondo Sierra Azul del Ministerio de Agricultura y Riego ejecuta proyectos de Siembra y cosecha de agua con fines de recarga hídrica en zonas de cabeceras de cuenca (Ministerio de Agricultura y Riego, 2016). El proyecto conceptualmente, permite interceptar, retener, almacenar y regular las aguas de lluvia que precipitan en un determinado territorio con la finalidad de crear una mayor reserva de agua o descargas menos abruptas y regulares; con actividades de siembra como la creación

de cochas, zanjas de infiltración, reforestación con especies nativas, protección de praderas, recuperación de bofedales y mejoramiento de amunas; y cosecha de agua mediante reservorios de riego y riego presurizado (ANA, 2020), que en la región Tacna se realiza con éxito en las provincias altoandinas.

Asimismo, deben ejecutarse otros programas medioambientales como Mejoramiento de los servicios para conservación del Carzo (*Haplorhus peruviana*) en el distrito de Locumba; Proyecto de forestación en Pampa Sitana; y, Proyecto de conservación de la cobertura vegetal del valle de Cinto, en el distrito de Locumba.

De otro lado el *Programa de importación de recursos hídricos* cuyo horizonte de largo plazo considera grave el déficit de las cuencas de Tacna; y el desarrollo de nuevas actividades y el crecimiento poblacional, obligarán a incrementar los recursos hídricos disponibles y buscar fuentes externas alternativas. Se deben emprender acciones que solucionen los problemas del déficit hídrico en las cuencas de esta región por medio de proyectos que mejoren la oferta importando recursos de cuencas vecinas o por la generación de nueva oferta.

Estos proyectos son: Derivación del río Desaguadero a la ciudad de Tacna por gravedad. Sin embargo, esta alternativa genera controversias con la población de Puno; alternativamente se propone la captación de aguas del río Inambari en Sandía, Puno, para abastecimiento a la región Tacna o la captación de aguas del río Madre de Dios, las que por la distancia se verían con menos posibilidad y demasiado costosos. Otra alternativa es la captación de excedentes del río Ocoña en Arequipa, por entubación y menos costosa, pero que, al igual que las del río Desaguadero pueden generar controversias con las respectivas regiones.

Adicionalmente, se considera el proyecto desalación de agua de mar para consumo humano que se realiza por dos grandes métodos: los que usan calor evaporando el agua y condensarlo, método antiquísimo; y los métodos que se basan en membranas y permiten separar el agua de las sales, entre los cuales se encuentra el denominado método de "ósmosis inversa" que retiene hasta un 99,5% de las sales. Ambos métodos utilizan energía en sus procesos lo que los hace costosos, aun cuando el avance tecnológico permite utilizar alternativas de uso de energía más baratas (Martins, 2017). Este método produce agua apta para el consumo humano, industrial y riego agrícola y es una buena alternativa en zonas costeras como Boca del Río, Ite e inclusive Tacna aun cuando el costo es dos o tres veces mayor que un agua de buena calidad natural y, como referencia, Chile desala 300 000 m<sup>3</sup>/día

y Antofagasta, ciudad costera produce 120 000 m<sup>3</sup>/día de agua para una población de 607 534 habitantes (INE Chile, 2018), casi el doble de Tacna.

El *Programa de mejoramiento de la calidad del agua*, requiere proyectos que garanticen y mejoren la calidad del agua en forma permanente, como la creación de un instituto de tecnología aplicada orientado a realizar investigación en tratamiento del agua, cuya responsabilidad debe estar a cargo del Gobierno Regional de Tacna y las universidades de la región; la implementación de un laboratorio de investigación en nuevas tecnologías de optimización del uso del agua en zonas áridas también a cargo de estas dos instituciones.

También, realizar investigación para construcción de indicadores, bioindicadores e índices de calidad de agua en las cuencas de Tacna a cargo de las universidades de la región, modelización de la calidad del agua e implementación de un *software* de calidad de agua para procesar los resultados obtenidos en los monitoreos de calidad; fomentar la creación de una red de innovaciones tecnológicas en recursos hídricos y calidad del agua; implementación de proyectos de tratamiento de aguas residuales para recargas de acuíferos.

En el *Programa de resolución de conflictos relacionados al uso del agua* y con la finalidad de promover el diálogo conducente a solucionar los problemas que mantienen a las partes enfrentadas se debe promover la resolución de los conflictos siguientes:

Conflicto con la empresa Southern por el uso del agua subterránea y que la enfrenta a la población de Candarave, y que aparentemente la empresa utiliza mayor cantidad de agua que la otorgada en las licencias de 1950 l/s que equivale a 61,5 MMC (Consorcio Río Locumba, 2017; p.153) aun cuando el agua destinada para uso minero representa el 7% del total de agua disponible en la región Tacna, mucho menor que el agropecuario y poblacional.

El nivel de enfrentamiento ha conllevado a la conformación de una mesa de diálogo en la cual la población cuestiona la apertura de pozos en zona de cabecera de cuenca. Se debe reconocer la validez de los compromisos contraídos por el Estado peruano mediante el otorgamiento de las licencias respectivas y cuyo respeto y cumplimiento debe ser irrestricto, pero, es recomendable que la empresa minera, en forma similar a lugares con recurso hídrico escaso, estudie la posibilidad de utilizar agua de mar desalada para sus operaciones, a pesar de los altos costos que ello implica, destinando el agua dulce a la utilización para el consumo poblacional doméstico o agrícola.

El conflicto del Proyecto Especial Tacna con la población asentada en la zona de Maure por la represa Villachauhani, en la que se encuentran involucradas partes de la población de Puno circundante a la zona. La cuenca del Maure pertenece a la cuenca del Titicaca, pero administrativamente depende de ALA Tacna, y el motivo de enfrentamiento es el efecto que tendría la utilización de los excedentes de lluvias planteados por el proyecto, en la desecación de los bofedales de la zona de importante utilidad para la población altoandina por proveer pasturas para sus animales y para el mantenimiento de la ecología de la zona.

Por otro lado, el conflicto con los agricultores informales de La Yarada por la perforación de pozos que generan la sobreexplotación del recurso hídrico subterráneo de la zona y cuya formalización es necesaria propiciando una veda por un lapso prudencial de 15 años hasta lograr la recuperación del acuífero. La formalización de los agricultores informales se realizará según los requisitos técnicos planteados por la autoridad del agua, luego de realizarse el Estudio Hidrogeológico del acuífero Caplina que determinará la real disponibilidad del recurso subterráneo.

La efectividad de las acciones propuestas o medición del impacto se realizará a través de un conjunto de indicadores, expresiones cualitativas o cuantitativas observables, que describen características de la realidad a través de la evolución de una variable o relación entre variables, y que, comparado con periodos anteriores, permiten evaluar el desempeño y su evolución en el tiempo. Tales indicadores son medibles, simples, prácticos, fiables, pertinentes y válidos. Estos indicadores planteados por ANA (2015) y corroborados por el estudio son determinados según objetivos, programas y proyectos:

En cuanto a los *indicadores de desarrollo*, en el objetivo de medir la efectividad de las acciones propuestas mediante una gestión eficiente, eficaz y sostenible de los recursos hídricos el indicador relevante es el Índice de Desarrollo Humano Departamental (IDH) que en la situación inicial fue de 0,6474 (según PNUD, 2013) y el óptimo solo se cubriría en el largo plazo al alcanzar un valor de 0,900 planteado en el Plan Basadre.

Para garantizar suficiente *disponibilidad y mejora de la calidad del agua* el indicador adecuado es la eliminación del déficit del balance hídrico que en la situación inicial registra -8,6 m<sup>3</sup>/s según PET, indicador que debe ser actualizado, alcanzando el equilibrio en el mediano plazo manteniéndolo sostenible en el largo plazo, logrado en base a la óptima combinación de utilización del avance tecnológico y la importación de caudales de cuencas vecinas. El indicador pertinente de suficiente disponibilidad

y mejora de la calidad del agua son las garantías de suministro a los usuarios y la meta es alcanzar el 90% en el caso del uso poblacional y el 80% en el caso del uso agrícola.

Para mejorar la *eficiencia en el uso del agua* el indicador es el aprovechamiento y uso eficiente del agua disponible en las cuencas de la región Tacna que es de 70% en la actualidad, planteándose que se lograría una eficiencia del 90% en el mediano y largo plazo. Respecto a la adecuación de la calidad del agua conlleva al cumplimiento de ECA para la agricultura y cumplimiento de LMP para consumo humano y vertimientos y que actualmente el tratamiento se realiza solo en la ciudad de Tacna y en forma incompleta; planteándose que en el corto plazo todos los servicios poblacionales deben cumplir los ECA y los LMP y en el mediano plazo los vertimientos.

En lo que concierne a la promoción de *una cultura del agua y desarrollo de capacidades* el indicador pertinente es la eficiencia del usuario y que actualmente se establece en 270 l/hab./día en el caso poblacional planteándose una disminución a 250 en el corto plazo, 200 en el mediano plazo y 180 l/hab./día en el largo plazo; para el caso del usuario agrícola se ha establecido en 22000 m<sup>3</sup>/Ha/año la situación inicial proponiéndose una disminución a 18000 en el corto plazo, a 13000 en el mediano plazo y a 10000 m<sup>3</sup>/Ha/año en el largo plazo; y, en el caso del usuario minero actualmente se establece 1,14 m<sup>3</sup>/Tn procesada proponiéndose una disminución acorde a los estándares mundiales de 0,800 m<sup>3</sup>/Tn procesada a alcanzarse en el corto plazo para adelante.

Finalmente, para promover el suficiente y adecuado financiamiento de los recursos hídricos, el indicador pertinente está relacionado a tarifas que cubren los gastos de operación y mantenimiento y permiten recuperar las inversiones, por lo que se ha establecido que éstas no cubren la operación y mantenimiento de los servicios proporcionados por el uso de los servicios ni se recuperan las inversiones, proponiéndose que en el corto plazo se lograría que cubran los costos de operación y mantenimiento, en el mediano plazo los costos de inversión y, en el largo plazo se recuperen totalmente las inversiones con tarifas reales.

Respecto a los *proyectos de importación de recursos y afianzamiento*, el impacto del proyecto se medirá a través del indicador Volumen anual incorporado al sector hidráulico mayor de las cuencas Caplina, Sama y Locumba del sistema hidráulico común (Hm<sup>3</sup>) y que solo en el largo plazo logrará incorporar 208 Hm<sup>3</sup>.

En el proyecto Afianzamiento hídrico de la Cuenca Caplina el indicador está referido al aprovechamiento eficiente de

los recursos hídricos disponibles en la cuenca que en la actualidad se aprovecha el 60%, con una proyección del 75% en el corto plazo, 85% en el mediano plazo y 100% en el largo plazo; y el proyecto de Afianzamiento Hídrico de la Laguna Aricota el impacto será medido a través de dos indicadores.

El primero relacionado al indicador Recuperación de la laguna Aricota en volumen que en la situación inicial se ha determinado en 225 Hm<sup>3</sup> para proyectarse a 250 Hm<sup>3</sup>, 350 Hm<sup>3</sup> y 400 Hm<sup>3</sup> en el corto, mediano y largo plazo, respectivamente, aun cuando Pino, Collas (2016), advierte que la proyección en los próximos 30 años el volumen será de 237,5 Hm<sup>3</sup> si no se efectuara ninguna intervención; y el segundo indicador está relacionado al Aprovechamiento eficiente de los recursos hídricos disponibles que, al igual que en la cuenca Caplina aprovecha solo el 60% de los recursos con una proyección de 75%, 85% y 100% en el corto, mediano y largo plazo, respectivamente.

Respecto a los *programas de saneamiento por provincias*, para medir la efectividad de los programas de saneamiento se tienen los indicadores que miden la Cobertura de servicios de saneamiento (en porcentaje de viviendas con servicio) en las provincias de Candarave, Jorge Basadre (excepto Locumba), Tarata y el Programa de Saneamiento de los distritos de Sama Las Yaras, Sama Inclán, Calientes, Palca el diagnóstico en la situación inicial no se dispone de datos pero se propone alcanzar en el corto plazo una cobertura del 100%.

Con respecto al Plan Maestro Optimizado de la EPS Tacna (que incluye a las ciudades de Tacna, Locumba y Pachía) se plantean dos indicadores: el primero respecto a la Cobertura horaria de los servicios de saneamiento (medido en % de viviendas atendidas) y que en la actualidad se considera un 70% de cobertura y se propone alcanzar el 100% en el corto plazo. En segundo lugar, el indicador Agua suministrada cumple los requisitos de la OMS con respecto a contenido de elementos contaminantes, se ha detectado que el 100% cumple con los requerimientos aptos excepto en el contenido de Arsénico, y se propone que en el corto plazo el 100% de las aguas suministradas cumplan los requerimientos.

En lo relacionado a *programas de mejoramiento de riego*, la efectividad se medirá mediante dos (02) indicadores: primero, la Eficiencia de riego (en %) y, segundo, el Valor de la tarifa de agua en S/xm<sup>3</sup>.

En la Junta de Usuarios de Candarave y de Tarata actualmente alcanzan el 40% de eficiencia estableciéndose que gradualmente se eleve al 50%, 60% y 70% en el corto, mediano y largo plazo, respectivamente, dada

la similitud de desarrollo relativo de ambas zonas; en la Junta de Usuarios de Locumba la eficiencia de riego también alcanza el 40% y se propone una elevación de 50%, 70% y 85% en el corto, mediano y largo plazo, respectivamente y, en el caso de la Junta de Usuarios de Sama la eficiencia es del 60% actualmente, proponiéndose elevarla a 70%, 80% y 85% en el corto, mediano y largo plazo, respectivamente.

En la Junta de Usuarios de Tacna la eficiencia de riego alcanza el 60% y se propone reducir la brecha proponiéndose el 70%, 80% y 85% en el corto, mediano y largo plazo, respectivamente.

En lo concerniente al indicador *Valor de la tarifa de agua*, en las Juntas de usuarios de Candarave y Tarata, no se ha determinado dicho valor y, se espera que en el corto plazo se cubran los costos de operación y mantenimiento y en el mediano plazo se cubran los costos de inversión; en la Junta de Usuarios Locumba se ha determinado una tarifa de 0,0053 S/m<sup>3</sup>, esperándose que en el corto plazo se cubran los costos de operación y mantenimiento y en el mediano plazo los costos de inversión; y, en la Junta de Usuarios Sama el indicador Valor de la tarifa de agua no ha logrado determinarse, esperándose se cubran los costos de operación y mantenimiento en el corto plazo y los costos de inversión en el mediano plazo.

En la Junta de Usuarios Tacna, el valor de la tarifa de agua ha sido determinado en 0,018 S/m<sup>3</sup> para la situación inicial, proponiéndose para el corto plazo cubrir los costos de operación y mantenimiento y en el mediano plazo los costos de inversión.

En el programa de *Uso y Reúso de los Usuarios no Agrarios* el indicador de efectividad diseñado es el Módulo de procesamiento de producto que el diagnóstico establece en 1,14 m<sup>3</sup>/Tn el cual se espera reducir a 1,0 y 0,8 m<sup>3</sup>/Tn de producto procesado en el corto y mediano plazo, respectivamente; y en el Programa de *Ordenamiento y Explotación de Aguas Subterráneas de La Yarada* utilizarán dos (02) indicadores, el primero, el Volumen explotado anualmente y, el segundo, el Estudio Hidrogeológico del Acuífero Caplina que permitirá determinar el volumen total de recurso disponible. Con respecto al Volumen explotado anualmente, el diagnóstico establece un total de 120 Hm<sup>3</sup> el cual se pretende reducir a 54 Hm<sup>3</sup> en el corto plazo correspondiente al total de pozos que tienen licencias otorgadas; y la realización del Estudio hidrogeológico que se espera disponerse en el corto plazo, estando ya realizándose las acciones iniciales administrativas.

En el programa de *Cultura del Agua y Desarrollo de Capacidades* se diseñaron tres (03) indicadores: el Índice de morosos en el pago de tarifas, el Módulo de riego

agrícola y la Dotación de agua poblacional por habitante. En lo que respecta al Índice de morosos, el diagnóstico ha determinado una tasa alta de 7,38% el cual se espera reducir gradualmente a 5%, 2% y 1% en el corto, mediano y largo plazo, respectivamente; en cuanto al Módulo de riego agrícola el diagnóstico establece 22 000 m<sup>3</sup>/Ha/año el cual se pretende reducir a 18,000, 13 000 y 10 000 m<sup>3</sup>/Ha/año, respectivamente; y en la dotación poblacional se establece una dotación inicial de 270 l/hab/año el cual se espera reducir progresivamente a 250, 200 y, finalmente a 180 l/hab/año en el largo plazo.

En cuanto al Programa de Gestión de la Calidad del Agua y Desarrollo de Capacidades hay dos (02) indicadores: cumplimiento de ECA para la agricultura y el LMP para consumo humano y vertimientos. En lo que corresponde al primer indicador en el diagnóstico solo hay información parcial para la ciudad de Tacna, y se espera que su cumplimiento se logre al 100% en el corto, mediano y largo plazo. Respecto al segundo indicador no se dispone de información y se propone su cumplimiento al 100% en el corto plazo.

## CONCLUSIONES

El estudio concluye que el balance hídrico en la región es deficitario en -8,63 m<sup>3</sup>/s, apreciado una relación inversa entre los usos de agua y la producción sectorial, es decir, siendo el sector agropecuario el de mayor utilización del recurso y el de menor productividad y los sectores minero y poblacional (en el que se incluyen el consumo doméstico, servicios, etc) los de mayor productividad y menor utilización del recurso.

Los indicadores demuestran que el Acuífero de la Yarada se encuentra sobreexplotado, por lo que debe detenerse la perforación de pozos, realizarse el estudio hidrogeológico para determinar la disponibilidad efectiva de aguas subterráneas y su nivel de sobreexplotación, estableciéndose como una de las causas principales la existencia de pozos informales que representan aproximadamente el 90% de los que existen en la actualidad, resultando como alternativa la formalización condicionada a los resultados del estudio y la declaratoria de veda de perforación de pozos. La eficiencia de riego se encuentra entre el 35% y el 70% que evidencia pérdida del recurso, siendo preciso cambiar totalmente a un sistema de riego tecnificado con miras a una optimización adecuada del recurso hídrico en Tacna.

Están vigentes conflictos por el uso de los recursos hídricos siendo los más importantes el que enfrenta a la población de Candarave con la Empresa Southern por el uso de las aguas subterráneas; el que enfrenta a la

población de Maure con el Proyecto Especial Tacna por el proyecto Vilavilani; y el existente entre los usuarios informales de La Yarada con la autoridad administrativa del agua, los cuales deben solucionarse con miras a la optimización del recurso.

Se propone un programa de mejora para la optimización de los recursos hídricos de la región basada en 4 escenarios y 11 subprogramas a realizar a corto, mediano y largo plazo y se formulan indicadores para medir la efectividad de la propuesta a lo largo de todas las etapas

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Collas Chávez, M. E. (2016). Análisis hidrológico-económico de las alternativas de represamiento actuales y proyectadas en la cuenca Locumba, Región Tacna.. (Tesis doctoral). Universidad Nacional Jorge Basadre Grohman.
- Guevara Pérez, E. (2016). Evolución histórica de la gestión de los recursos hídricos en el Perú. *Revista Ribagua*, 3(1).
- Haro Cando, Z., & Vallejos Suárez, M. (2012). Optimización del uso del recurso hídrico del Sistema de Riego Montufar para mejorar la producción agrícola. (Trabajo de Titulación). Universidad Técnica del Norte.
- Limache, E., & Choque Apaza, C. (2018). Variables de influencia y el consumo de agua potable en Tacna. *Tiempo y Espacio*, 36(70), 307-326.
- Oblitas, L. (2004). Agua para el Siglo XXI para América del Sur. De la visión a la acción. Actualización de la visión para el siglo XXI en el Perú. <https://www.cepal.org/cgi-in/getprod.asp?xml=/samtac/noticias/paginas/7/23347/P23347.xml&xsl=/samtac/tpl/p18f-st.xsl&base=/samtac/tpl/top-bottom.xsl>
- Parga, F., León, A., Vargas, X., & Fuster, R. (2006). *El índice de pobreza hídrica aplicado a la cuenca del Limarí en Chile semiárido*. [https://www.mendoza-conicet.gob.ar/ladyot/publicaciones/cyted\\_libro\\_XII/articulos/093.pdf](https://www.mendoza-conicet.gob.ar/ladyot/publicaciones/cyted_libro_XII/articulos/093.pdf)
- Parra Rodríguez, L. K., & Montealegre M, H. (2020). Design of conservation, improvement and use of water resources strategies in the area of influence of the municipalities of Girardot, Nariño, Guataquí, Jerusalén and Tocaima located in the south sector of watershed Rio Seco. *Journal of Business and Entrepreneurial Studies*, 4(1).
- Perú. Autoridad Nacional del Agua. (2015a). Plan Nacional de Recursos Hídricos [https://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/marcolegal/normaslegales/decretosupremos/2015/anexo2\\_ds13-2015-minagri-final.pdf](https://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/marcolegal/normaslegales/decretosupremos/2015/anexo2_ds13-2015-minagri-final.pdf)
- Perú. Autoridad Nacional del Agua. (2015b). Plan de gestión de los recursos hídricos de la cuenca Caplina-Locumba. proyecto de modernización de la gestión de los recursos hídricos. <https://www.ana.gob.pe/publicaciones/plan-de-gestion-de-los-recursos-hidricos-cuencas-caplina-locumba>
- Perú. Autoridad Nacional del Agua. (2017). Estudio de los Recursos Hídricos Superficiales y Subterráneos e Infraestructura Hidráulica para el Plan de Aprovechamiento en la Cuenca del Río Locumba, en la Región de Tacna. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego.
- Perú. Gobierno Regional de Tacna. (2013). *Plan de desarrollo regional concertado 2013-2023*. <http://ww2.regiontacna.gob.pe/grt/documentos/2011/personal/PDRC-2013-2023.pdf>
- Perú. Gobierno Regional de Tacna. (2020). Proyecto especial afianzamiento y ampliación de los recursos hídricos de Tacna. <https://www.pet.gob.pe>
- Urbaniec, K., Mikuleie, H., Rosen, M. A., & Duié, N. (2017). A holistic approach to sustainable development of energy, water and environment systems. *Journal of Cleaner Production*, 155(6), 1-11.