

NOTA TÉCNICA N° IDB-TN-03362

De la emergencia a la gestión de riesgos por sequía – El caso de las ciudades de La Paz y El Alto en Bolivia y sus lecciones aprendidas

Autores:

Jordi J. Pastor Justo

Adriana Inchauste Daza

Banco Interamericano de Desarrollo
División de Agua y Saneamiento

Julio 2026

NOTA TÉCNICA N° IDB-TN-03362

De la emergencia a la gestión de riesgos por sequía – El caso de las ciudades de La Paz y El Alto en Bolivia y sus lecciones aprendidas

Autores:

Jordi J. Pastor Justo

Adriana Inchauste Daza

Banco Interamericano de Desarrollo
División de Agua y Saneamiento
Julio 2026



Palabras clave: Sequía, Gestión, Indicadores, Operador, Gobernanza

<http://www.iadb.org>

Copyright © 2026 Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons CC BY 3.0 IGO (<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/igo/legalcode>). Se deberá cumplir los términos y condiciones señalados en el enlace URL y otorgar el respectivo reconocimiento al BID.

En alcance a la sección 8 de la licencia indicada, cualquier mediación relacionada con disputas que surjan bajo esta licencia será llevada a cabo de conformidad con el Reglamento de Mediación de la OMPI. Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la Comisión de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil (CNUDMI). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones que forman parte integral de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta obra son exclusivamente de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del BID, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.





BID - Bolivia

De la emergencia a la gestión de riesgos por sequía – El caso de las ciudades de La Paz y El Alto en Bolivia y sus lecciones aprendidas

BID - Bolivia

De la emergencia a la gestión de riesgos
por sequía – El caso de las ciudades de
La Paz y El Alto en Bolivia y sus lecciones
aprendidas

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a Nicolás Rezzano, Cristina Mecerreyes y Carolina Huarachi por la revisión técnica del documento y sus valiosos comentarios y aportes. Asimismo, brindan un reconocimiento y agradecimiento especial a la Empresa Pública Social de Agua y Saneamiento (EPSAS), por la valiosa colaboración brindada mediante la dedicación del equipo técnico y la provisión de información primaria, la cual fue fundamental para la elaboración de la presente publicación.

A efectos de contextualizar la presente publicación, se aclara que el 8 de noviembre de 2025 fue posesionado el nuevo Presidente del Gobierno de Bolivia. Resultado de ello, y en el marco de la reestructuración del Nivel Ejecutivo (Gabinete Ministerial), el antiguo Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA) fue disuelto para constituir el nuevo Ministerio de Desarrollo Productivo, Rural y Agua, entidad que aglutina al sector de agua y saneamiento (VAPSB) y recursos hídricos y riego (VRHR) en el actual Viceministerio de Recursos Hídricos, Riego, Agua Potable y Saneamiento Básico.

Contenido

1	Introducción a los planes de gestión de sequías	7
1.1.	El abastecimiento de La Paz y El Alto, EPSAS	7
1.2.	Definición de sequía y conceptos básicos	8
1.3.	Cambio de paradigma: de la gestión de una crisis a la gestión del riesgo	9
1.4.	El PGS como elemento de gestión del riesgo	12
1.5.	El PGS como protocolo de operación del sistema	17
1.6.	Elementos de gobernanza de un PGS	19
2	Cambio de paradigma en la gestión de sequías en Bolivia	23
2.1.	Perspectiva regional y foco en la zona andina	23
2.2.	Las sequías en Bolivia	25
2.2.1.	Evolución de las precipitaciones entre 1991 y 2025	25
2.2.2.	Abastecimientos en crisis	26
2.2.3.	Protocolos y respuesta local en Bolivia	27
2.3.	El servicio de abastecimiento de EPSAS La Paz y El Alto	27
2.4.	Episodio de sequía 2016-2017	29
2.5.	Reacción para superar el episodio	30
3	Implementación del PGS 2018	33
3.1.	Organigrama y funciones	34
3.2.	Procesos	38
3.2.1.	Procesos de generación de información y seguimiento del estado de sequia	38
3.2.2.	Seguimiento y comunicación	41
3.2.3.	Gobierno del PGS	51
3.2.4.	Información y seguimiento técnico	52

3.3. Resultados del PGS desde 2018	54
3.3.1. Diferencias entre la sequía 2016-2017 y la sequía 2022-2023	54
3.3.2. Efecto de PGS en la gestión de la sequía 2022-2023	56
3.3.3. Indicadores de impacto del PGS en la operación de EPSAS	64
3.3.4. Conclusiones sobre la operación de EPSAS en episodios de sequía	72
3.4. Hallazgos	80
3.4.1. Fortalezas	80
3.4.2. Oportunidades	81
3.4.3. Debilidades	83
3.4.4. Amenazas	85
4.1. Plan de Contingencias 2023	87
4 Hacia un PGS 2026	87
4.2. Mejoras en el PGS y nuevas necesidades	89
4.3. Recomendaciones evolutivas	94
5 Aprendizajes	97
LECCIÓN 1: Acompañar la implementación técnica con medidas administrativas internas e interinstitucionales.	97
LECCIÓN 2: Mayor necesidad de trascender. Incidir más en la necesidad de transparentar y comunicar.	98
LECCIÓN 3: Incrementar la coordinación de programas y proyectos, potenciar las sinergias.	99
LECCIÓN 4: Actualizar el PGS de EPSAS La Paz y el Alto como oportunidad de mejora para la entidad y ejemplo nacional	100
6 Recomendaciones para la elaboración de nuevos protocolos de gestión de sequías (PGS) en operadores urbanos de agua potable	103

01

Introducción a los planes de gestión de sequías

1.1. El abastecimiento de La Paz y El Alto, EPSAS

El uso del agua para satisfacer las necesidades humanas y sus actividades económicas siempre ha estado marcado por la variabilidad climática. Esta variabilidad natural del agua en las cuencas genera ecosistemas adaptados a la hidrología de cada región, pero la disponibilidad natural de este recurso puede ser insuficiente para satisfacer continua y establemente los diferentes usos. El crecimiento de la población, la expansión de las actividades agropecuarias e industriales y, en general, el aumento de las actividades socioeconómicas, ha generado desequilibrios entre la demanda de agua y la oferta disponible en determinados territorios. A este conjunto de presiones de origen humano se suma el impacto del cambio climático, que modifica la localización y la intensidad de los fenómenos hidrometeorológicos, siendo uno de sus efectos más destacados el aumento de la frecuencia y la severidad de los eventos extremos, en particular de las sequías. Debemos asumir que **nos esperan escenarios de escasez más prolongados en las próximas décadas** por la combinación de cuerpos de agua con una elevada demanda, consumos unitarios más altos por aumento de temperatura y evapotranspiración, y episodios de sequía más recurrentes y virulentos.

Desde el Banco Interamericano de Desarrollo atesoramos una amplia experiencia financiando proyectos hídricos en sitios de muy distinto grado de disponibilidad de agua, desde lugares desérticos a la selva amazónica, pasando por el Caribe o la cordillera andina. Todos los lugares están siendo afectados por el cambio climático en mayor o menor medida, con incremento o disminución del promedio de la producción hídrica. Además, por doquier existe una característica común: la intensidad y frecuencia de las lluvias cambian, **el comportamiento hidrológico respecto a los patrones históricos se está alterando** y eso afecta a las expectativas de uso actual y futuro del agua, pero también al funcionamiento de las infraestructuras diseñadas antaño.

Por ello, desde el Banco creemos firmemente que debemos complementar la política de los planes ordinarios de gestión de los recursos hídricos y el manejo integral de cuencas que se viene implementando desde hace décadas, con **nuevos instrumentos específicos** que permitan actuar de manera rápida, gradual y coordinada frente a **situaciones de sequía**. Estos instrumentos son múltiples y forman parte de una nueva estrategia de gestión de la **seguridad hídrica**, pero las recientes experiencias en varios lugares han revelado que los **planes o protocolos de gestión de sequías (PGS)** son una herramienta extremadamente poderosa para hacer frente a los efectos de estos eventos extremos sobre los diversos usos, en particular para los **operadores de agua potable**. Estos protocolos son eminentemente una herramienta operativa, pero también representan la semilla de un cambio cultural en cuanto a la aproximación a las soluciones para resolver la escasez hídrica. En consecuencia, divulgar la utilización de estos PGS y, además, hacerlo a través de un caso de éxito como el de EPSAS La Paz en Bolivia es el objeto de esta nota técnica.

1.2. Definición de sequía y conceptos básicos

La sequía es un evento hidrometeorológico extremo, de carácter evolutivo y de alto impacto. A diferencia de las inundaciones u otros eventos por exceso, no aparece en cuestión de horas o días, sino que puede desarrollarse durante meses o incluso años. Su alcance es mayor porque afecta prolongadamente a las fuentes de agua que abastecen a la población y sostienen las actividades económicas.

Es importante diferenciar tres conceptos que suelen confundirse bajo la idea de “falta de agua”:

“

Sequía: fenómeno natural originado por una reducción de las precipitaciones respecto a los valores normales de la zona y que, con cierto desfase, provoca un descenso significativo de los recursos hídricos disponibles. Cuando esta situación se mantiene de forma anómala durante un largo periodo hablamos de sequía prolongada.

Escasez: situación en la que los recursos hídricos disponibles no alcanzan para cubrir las demandas previstas en la planificación y, por tanto, es un concepto que relaciona recurso y uso. Puede ser estructural (cuando es continua o permanente) o coyuntural (cuando es temporal). La escasez puede darse con o sin sequías, y no toda sequía deriva en un episodio de escasez para un usuario concreto.

Déficit: desajuste temporal o permanente entre la oferta efectiva de agua y la demanda que debe satisfacerse. Es una variable que mide el impacto de la escasez.

”

De estas definiciones se deduce que la escasez estructural es una situación de mediano y largo plazo que debe abordarse desde la planificación cíclica, mediante nuevas infraestructuras o cambios en los patrones de demanda o, en el extremo, renunciando a determinadas actividades. La sequía, aun siendo un fenómeno natural, se gestiona desde la óptica de los usos que se ven

afectados cuando disminuye el recurso. Así, en una misma cuenca, algunos usuarios pueden sufrir un efecto de escasez coyuntural debido a un episodio de sequía y otros no, según su nivel de dependencia meteorológica e hidrológica.

Construir infraestructuras permanentes para cubrir cualquier episodio puede no ser viable ni desde el punto de vista económico ni el ambiental. Por eso, la planificación valora el efecto de cada medida sobre la garantía de los usuarios y pondera los impactos ambientales y los costos de inversión, operación y mantenimiento.

Un abastecimiento urbano, por ejemplo, podría optar por una solución única de muy alta garantía y muy alto costo, que tal vez no se justifica para la mayor parte de su vida útil. Alternativamente, se puede optar por diversificar las fuentes (redundancia) y, mediante una operación combinada, obtener una garantía global elevada con costos menores. Se trata, en definitiva, de equilibrar la eficacia hídrica de una medida con su eficacia económica.

Los planes o protocolos de sequía tienen precisamente ese carácter contingente: parten de asumir que la planificación ordinaria puede presentar fallos puntuales de garantía ante un evento extremo. Estos protocolos activan medidas temporales y progresivas para corregir o mitigar el déficit puntual sin disparar el costo global del servicio.

Además, las sequías suelen ir acompañadas de fenómenos que aumentan las necesidades de agua o empeoran las condiciones de salud y producción (olas de calor, incendios, mayor carga de partículas, cambios en vectores de enfermedades), por lo que deben coordinarse con otras áreas de gestión.

1.3. Cambio de paradigma: de la gestión de una crisis a la gestión del riesgo

La tradicional planificación estática, basada en los registros históricos a través de promedios de las series de aportes, parece a todas luces insuficiente, insegura y miope a la alta variabilidad interanual magnificada por el cambio climático que pueden sufrir los sistemas de abastecimiento. Se debe asumir que el enfoque de la planificación territorial estratégica se está viendo sobrepasado por estos extremos.

Todo esto conlleva a un escenario de trabajo donde **la sequía se presenta como algo inesperado**, algo extraordinario que sobrepasa la capacidad de gestión de las administraciones responsables del ciclo hidrológico, y en especial de las instituciones o empresas que distribuyen o dan servicio de agua a los diferentes usuarios. Sobrevenido el evento, los responsables actuarán bajo estrés técnico e institucional para gestionar una crisis, **un procedimiento caracterizado por la urgencia**, la falta de consenso, las medidas coercitivas y la asunción de daños inevitables. Los ciudadanos percibirán en el proceso como algo impuesto por una administración, poco transparente y menos

aún previsor, generando incredulidad en los cuestionamientos, conflicto social y altas dosis de resignación. El descrédito técnico-administrativo corre el riesgo de acabar trascendiendo a un conflicto político para la zona o país que atiende improvisadamente un desabastecimiento de agua por sequía. Se suele aducir que se trata de un caso en el que la planificación ordinaria no podía prevenir, por lo cual todo el entorno de las medidas que se lleven adelante tendrá carácter provisional, así como los órganos de gestión de dichas medidas, que serán diseñados como temporales y exclusivamente **vinculados a la crisis**.

Esta gestión de la crisis hídrica, como cualquier otra, **tiene altas dosis de conflictividad y cuestionamiento** político. En función de su duración y la intensidad o impacto de las medidas (por ejemplo, restricciones domiciliarias) puede acabar siendo una crisis política de primer nivel.



Figura 1. Esquema de un enfoque de gestión de la sequía como una crisis.

Como ya está plenamente normalizado en los casos de inundaciones, la escasez y la sequía deben ser analizadas desde un nuevo planteamiento de gestión del riesgo. En primer lugar, determinándose la probabilidad de ocurrencia del evento natural que desencadena las sequías, lo que llamamos la **amenaza**. La valoración de la amenaza se debe realizar a través del análisis de las series históricas, con una visión mucho más conservadora de la que normalmente se aplica (promedio histórico). Muchas veces los registros históricos no son capaces de definir un evento extremo como los que se están viviendo en las últimas décadas, ya que la longitud de los registros y la calidad de los datos no nos permiten ver con suficiente precisión el verdadero comportamiento hidrológico de los sistemas y, por tanto, hay que recurrir a otras metodologías que incluyan desde mayor variabilidad climática hasta efectos como el Cambio Climático (CC). Estas metodologías son muy variadas y pueden ir desde modelos hidrológicos, basados en modelos meteorológicos de cambio climático, hasta sistemas más sencillos de reducción sistemática de aportaciones sobre la serie histórica, concatenación de episodios secos consecutivos, que en



realidad nunca se registraron de forma continua, u otras fórmulas que magnifiquen ciclos secos. Lo importante es poder determinar y consensuar casos a los que se enfrentaría el sistema de suministro para valorar los riesgos inherentes.

En el otro lado de la balanza del riesgo, al mismo nivel que la amenaza, tenemos la **vulnerabilidad y el grado de exposición**, que son dos variables que miden los componentes de demanda y de regulación; es decir, cuán robusto es nuestro sistema y qué proporción representa el volumen de demanda respecto a la evolución del recurso en una sequía. Un sistema está bien caracterizado cuando sabemos el grado de adaptabilidad que tiene o si puede incluir un conjunto de medidas preventivas que lo harán más **adaptable y flexible** a situaciones extremas en el futuro. Un sistema robusto es aquel que puede soportar el impacto de la amenaza.

Este enfoque de riesgo también obliga a **monitorear permanentemente la evolución de nuestros recursos**, analizando cada día, independientemente de que el sistema se encuentre en normalidad hidrológica, qué posibilidades hay en un horizonte cercano de entrar en un nuevo episodio de sequía. Este monitoreo continuo debe ser transparente, público y dirigido por un equipo que se encargue permanentemente de seguir la evolución de los recursos hídricos y declarar preventivamente los nuevos episodios de sequía. En la medida de lo posible, estas **declaraciones deben ser progresivas y adoptar medidas que minimicen el impacto sobre los usuarios**, pero que compensen la variabilidad de las reducciones de recurso que vamos a tener a largo de los años venideros. No todas las sequías tienen el mismo nivel de intensidad y no siempre se debe responder con la máxima contundencia infraestructural y de contención de demanda, sino **de forma adaptativa a cada episodio**. En definitiva, la medida justa pero aplicada a tiempo para garantizar que se supere el evento con las mínimas afecciones posibles a los usos.

Esta nueva visión requiere modificar la planificación hidrológica y valorar el efecto que las medidas ordinarias y extraordinarias tendrán para evitar daños o minimizarlos en un episodio de sequías. Esa valoración debe tener claramente un enfoque de coste-beneficio que priorice la entrada progresiva de las acciones, y es el **reto técnico de los PGS**.



Figura 2. Esquema de un enfoque de gestión de la sequía como un riesgo.

1.4. El PGS como elemento de gestión del riesgo

Los eventos climáticos de riesgo deben ser analizados en función del impacto que tienen por su intensidad y de nuestra capacidad de mitigación de sus efectos. Estos eventos pueden ser clasificados en varias escalas, desde evitables hasta niveles de impacto catastrófico para los usuarios, la economía y el medioambiente.

En el proceso de redacción de los planes de gestión de sequía, se analizan estadísticamente la **combinación de la amenaza o peligro** (probabilidad de ocurrencia de una determinada intensidad de sequía) **con la vulnerabilidad** de las infraestructuras y las demandas existentes. También se valoran los cambios de estas infraestructuras, de sus reglas de operación e incluso las variaciones temporales de las demandas a satisfacer. Este ejercicio permite cuantificar el riesgo para cada escenario de trabajo, ya sea el de partida, llamado escenario base, u otros escenarios generados para probar el “qué pasaría si” cambiamos alguna de las variables del sistema, por ejemplo, recrear una represa.

Cabe recordar que, como se expuso en el apartado anterior, un **sistema es robusto** cuando puede soportar el impacto de la amenaza. Esto se consigue combinando **prevención** como las infraestructuras y fuentes alternativas con cierto grado de redundancia y la **mitigación** que

comprende acciones para la compensación de efectos negativos de la sequía y escasez. Las acciones de mitigación son de diversa naturaleza y, con ese afán de aplicarlas progresivamente, se pueden clasificar en:

- Acciones de **adaptación** que permiten convivir con cambios que ya son recurrentes. Son medidas de amplio espectro y pueden ordenarse en función del esfuerzo adaptativo. En este apartado hay cuestiones que van desde acciones normativas y tecnológicas para mejorar la eficiencia hídrica a temas culturales o de concienciación.
- Acciones de **resiliencia**, que asumen afecciones de alto impacto al uso, pero sin afectar a sus características básicas para asegurar la capacidad de recuperarse tras el evento. Son clasificables en función de la facilidad de recuperación o retorno al funcionamiento normal. Bajo este concepto se incluyen acciones de restricción de usos, aplicación de prohibiciones temporales, racionamiento, alteración de calidades y fuentes, etc. Un ejemplo es la prohibición del riego para salvaguardar el servicio residencial o doméstico, pero que puede permitir el riego de supervivencia de arbolado (se puede perder el pasto o las herbáceas porque son fácilmente recuperables, pero no se puede perder las plantas leñosas que tardan años en crecer y producir).
- En situaciones extremas se recurre a la **paliación**, es decir, se asumen daños inevitables, como el corte del servicio o su satisfacción parcial con agua no potable, pero con el apoyo del suministro de potable mediante camiones cisterna. En este segmento aparecen medidas compensatorias como subvenciones, financiación pública, facilidades fiscales, etc.

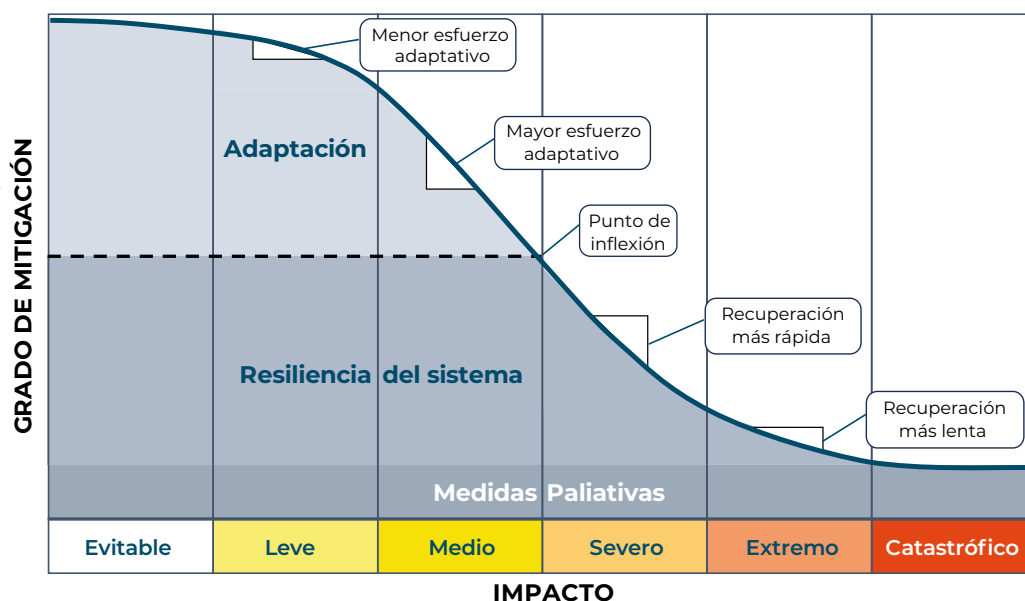


Figura 3. Curva de la mitigación de los efectos de una sequía en función de su intensidad o impacto.

Dentro de la especulación de los escenarios, es muy importante asegurar correctamente las hipótesis de trabajo, como las consideraciones de **diseño hidráulico** o la valoración realista de los posibles ahorros en la demanda fruto de unas prohibiciones sectoriales. Asimismo, es imprescindible analizar los **límites del sistema**, y con eso, procurar no caer en el optimismo de someter el sistema a una serie de aportaciones iguales a las históricas, sino recurrir a mecanismos que puedan valorar qué pasaría si nuestro abastecimiento se enfrentara a una sequía peor que las registradas históricamente. Estos procesos se pueden apoyar en un modelo numérico de simulación de gestión de recursos hídricos.



Figura 4. Esquema del proceso de redacción de un PGS y contenido a realizar en cada etapa (Elaboración propia).

Este ejercicio *off-line* de analizar el sistema y someterlo al estrés de cambios en las condiciones de explotación es lo que permitirá definir unas medidas realistas y unos límites de declaración de estado de sequía seguros, robusteciendo el sistema para cumplir los requisitos de seguridad hídrica a los que debe acogerse.

ELEMENTOS ESENCIALES DE UN PLAN DE GESTIÓN DE SEQUÍAS (PGS) Del monitoreo a la acción



INDICADORES

- Medir la sequía y el riesgo para el abastecimiento.
- Medir el sistema de información.

UMBRALES

- Definir cuando la sequía cambia de nivel.
 - Normal
 - Alerta
 - Excepcionalidad

ESTADOS

- Aplicar decisiones y medidas graduales.



- ✓ Mayor resiliencia
- ✓ Mejor planificación
- ✓ Gestión anticipada

Como elementos esenciales, los PGS tienen:

- **Indicadores:** variables dimensionales o adimensionales que permiten medir la incidencia de la sequía (evento natural) con el riesgo de deterioro o fallo del servicio (no satisfacer la demanda). Son un elemento objetivo de medición del riesgo y pueden fundamentarse en algoritmos que utilicen variables de precipitación, volúmenes embalsados, caudales circulantes, niveles piezométricos, etc.
- **Umbrales:** son el valor límite de un indicador para cambiar de estado de sequía, por ejemplo, de sequía leve a moderada. Normalmente responden a un estadístico o percentil de la serie analizada, o bien a un valor de la simulación que optimiza o mejora procesos de adaptación progresiva, como se comenta en el apartado 2.3.
- **Medidas:** son las acciones cuantificables en términos de aporte de agua, contención de demanda o ambas, algunas infraestructurales y otras no, progresivas y asignables a cada estado de sequía. Algunos ejemplos son:
 - Gestión de aportes extraordinarios como puede ser recurso hídrico de emergencia (ej. a través de un trasvase o pozos de sequía).
 - Gestión de la demanda, incluyendo aspectos de contención o reducción, como campañas de sensibilización y ahorro, mejoras en la eficiencia de las redes o reducción de presiones, pero también modelos tarifarios, prohibiciones sectoriales o sustitución de fuentes de recurso.
 - Otros aspectos organizativos, vinculados a excepciones en las condiciones del servicio, subvenciones para apoyo a entes locales, mejora de la red de monitoreo, implementación de herramientas de pronóstico y ayuda a la toma de decisión, etc.
 - Aspectos económicos y financieros. Las sequías requerirán nuevas infraestructuras (inversiones) y operar el sistema en condiciones extremas, a veces antieconómicas. Generalmente hay mayores gastos (sobrecostos), por ejemplo por bombeos de un trasvase, intensificación de insumos en el tratamiento de un agua de peor calidad o intensificación del control del ANC y reparaciones urgentes en la red. Todo eso acompañado de un momento donde se les pide a los usuarios que consuman menos, lo que genera menores ingresos. Un desbalance que hay que prever en los planes y proponer medidas financieras al respecto.

Normalmente los estados o situaciones de sequía reciben nombres propios de la gestión de emergencias como alerta, excepcionalidad o emergencia.

1.5. El PGS como protocolo de operación del sistema

“

El PGS tiene por objetivo **establecer un protocolo de operación en un escenario temporal** determinado. Por ejemplo, este escenario dado puede ser la realidad infraestructural que se tenga en este momento junto con la demanda presente o proyectada a mediano plazo, sin cambio de infraestructuras, sometido a las aportaciones de recursos que se han dado a lo largo de la historia, incluyendo esos mínimos históricos que nos interesa estudiar.

”

El **sistema de planificación** nos va a servir para, de forma externa a la gestión diaria, analizar el comportamiento de esta infraestructura concreta (por ejemplo, una represa) con la demanda real o aquella que se prevé para el corto plazo (5 años) ante los aportes históricos (si en el futuro se dieran caudales como los que se han registrado en el pasado). También nos permite valorar el comportamiento y disponibilidades de recurso o niveles de garantía de cada demanda ante otro tipo de series de recursos que queramos valorar, como pueden ser series generadas a través de modelos de cambio climático, que nos permitan analizar las diferencias de periodicidad e intensidades de sequías esperables en el futuro o, alternativamente, series sintéticas de precipitación generadas mediante un mecanismo que defina periodos secos peores a los vividos o registrados históricamente, aunque no respondan a un modelo físico o cualquier otra variación de las variables que conforman el sistema de explotación. En la planificación es clave apoyarse en un modelo numérico de simulación, más o menos complejo, que nos permita generar series simuladas oferta-demanda con sus niveles de déficit o fallo asociados.

Por tanto, el PGS y los modelos que este utiliza, son un mecanismo para analizar los **“qué pasaría si” (what if)** de forma externa a la gestión ordinaria y, a partir de ahí, hacer valoraciones tanto del riesgo que está asumiendo el abastecimiento, como de la capacidad de adaptación o de superación determina situaciones que se pudieran dar. El riesgo se medirá a través de estadísticos de los momentos de fallo y la capacidad de adaptación o superación del evento por medio de la variable clave de déficit mensual. Siempre debe realizarse este análisis a través de la serie de simulación, recomendando el tiempo de cálculo de paso mensual, para evitar que los promedios anuales puedan tergiversar u ocultar algunas de las situaciones más críticas a las que podríamos enfrentarnos en el futuro.

Según los conceptos expuestos, el **plan** es un mecanismo para poder valorar:

- Qué tipo de actuaciones pueden ser incluidas en el rango de la **adaptación** y, por tanto, son recomendables para priorizar su desarrollo debido al alto impacto que generan ante un periodo de sequía.

- Qué medidas es mejor reservarlas para los procesos de mayor intensidad de la sequía, ya que tienen consecuencias sobre el servicio y generan daños o impactos que son recuperables a través de procesos de **resiliencia**
- Aquellas medidas que sabemos que pueden compensar ciertas pérdidas y daños, pero que no tienen capacidad de recuperación posterior (**paliativas**).

Dicho esto, la finalidad de estos **protocolos** es establecer el equilibrio entre el **momento en que es imprescindible activar una medida** para evitar daños mayores, pero conociendo que activarla anticipadamente ya provocará algún impacto sobre el uso o el servicio diario del agua; es decir, se debe responder a la cuestión: *¿cuál es el último momento posible en el que la medida debe ser incorporada para que consiga su efecto?*

A través del análisis de estos puntos de equilibrio, lo que se establece es una secuencia progresiva de actuaciones, ordenadas por su nivel de impacto y eficacia, y siempre establecidas en el momento clave entre el efecto positivo que pueden tener para evitar daños mayores y el impacto inevitable que conlleva cualquier medida que altera la gestión ordinaria. Visto desde el lado de la demanda, se trata de saber hasta cuándo debo ahorrar para no agotar mis reservas antes de la siguiente recuperación hidrológica y, por tanto, generar un desabastecimiento incontrolable, incluso de los usuarios más críticos. Es decir, evitar la dinámica de servir agua a todos hasta que no haya más.

Consecuentemente, estas herramientas establecen reglas de operación que una vez comprobadas *off-line*, mediante los **modelos numéricos de simulación**, son discutidas y consensuadas por todos los usuarios a la luz de los datos y permiten medir el efecto de las medidas sobre la disponibilidad del recurso o el nivel de fallo del sistema. La metodología de trabajo es a través de escenarios o conjuntos de hipótesis que el modelo numérico va a traducir en garantías de suministro, dotaciones de uso, disponibilidades para cada demanda, etc., de forma homogénea y fácilmente comparables entre sí. Los resultados del **escenario de consenso u objetivo** (*target scenario*), arrojan un procedimiento o protocolo que deberá ser seguido una vez se apruebe, evitando entrar en dudas y cálculos cuando se llega a un nuevo episodio de sequía, automatizando así muchas decisiones complejas. Las acciones se irán desencadenando cuando los **indicadores** que se hayan definido en el proceso de desarrollo del PGS superen los valores límite o **umbrales** que también se hayan determinado *off-line* en el ejercicio de redacción del Plan, y que con una terminología u otra hagan referencia a la intensidad o estado de sequía (leve, moderada, extrema, etc.) o a la situación de gestión excepcional (emergencia, catástrofe, etc.). Estos umbrales, determinados normalmente de forma iterativa a través de la simulación, son clave para que esta secuencia de mitigación progresiva se cumpla y, sea conocida por todos antes de llegar a las situaciones reales que requieran la declaración de las medidas excepcionales.



Figura 5. Intensidad de la sequía/escasez, estados de sequía y medidas tipo que se suelen activar progresivamente. Fuente: PGS EPSAS 2018.

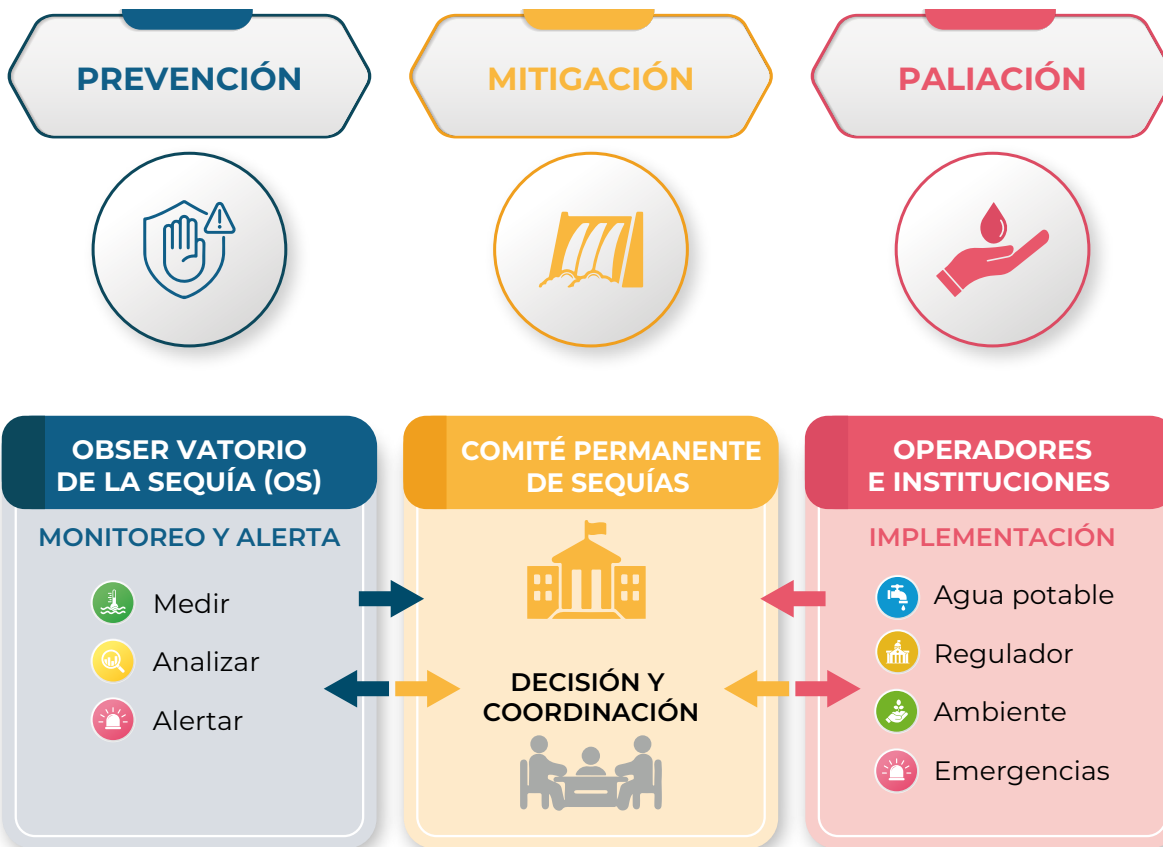
De esta forma, se consigue complementar la gestión de los recursos hídricos o la planificación del sistema de un operador con el manejo de las sequías que, como se ha comentado en el apartado anterior, es una **gestión del riesgo** de forma transparente, consensuada y de seguimiento permanente. Esto evita que el trabajo se convierta en la gestión de una crisis con alta percepción de improvisación, temporalidad de la gestión, opacidad de las medidas y aleatoriedad de los momentos en los que se aplican o activan las mismas.

1.6. Elementos de gobernanza de un PGS

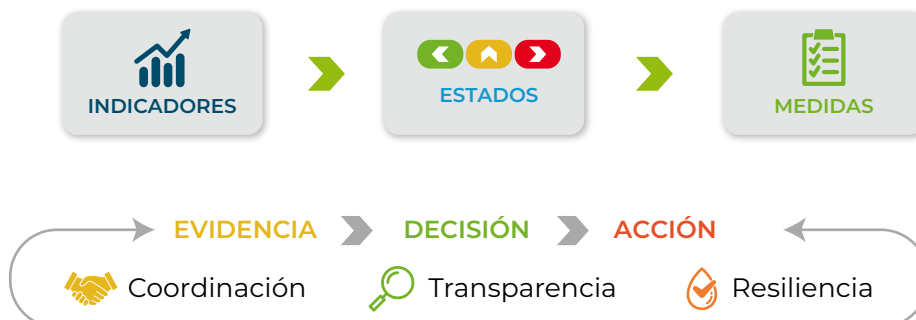
La sequía es un riesgo **progresivo y acumulativo**: se construye a lo largo de meses o años y requiere respuestas **graduales** (prevención, mitigación, paliación) que se ajustan a medida que el evento se intensifica. Por ello, su gestión no puede residir en una sola entidad; por el contrario, demanda una **coordinación interinstitucional** con funciones claramente diferenciadas y complementarias. Las instituciones implicadas dependerán del nivel de la institución que esté redactando el protocolo. No es lo mismo un PGS de una cuenca, con múltiples usuarios y tal vez infraestructuras compartidas o multipropósito, que un PGS vinculado a una comunidad de regantes o a un operador de abastecimiento urbano. No obstante, a nivel de colaborar en la redacción y participar en la aprobación, deberían estar implicadas instituciones competentes en los siguientes ámbitos temáticos:

GESTIÓN INSTITUCIONAL DE LA SEQUÍA

De la emergencia a la gestión anticipada del riesgo



CICLO DE GESTIÓN DE SEQUÍAS





A estos niveles temáticos hay que incorporar los niveles de gobierno del marco territorial de actuación del PGS, ya que tampoco será igual un PGS de ámbito de una cuenca que un abastecimiento de una ciudad de 10.000 habitantes.

En el caso de los proveedores de agua potable urbanos, es fundamental que incorporen en el proceso a la institución encargada de la **regulación del servicio** de agua y saneamiento.

a) Comité Permanente de Sequías (CPS)

Dado el carácter **secuencial y anticipable** de las sequías, se propone un **Comité Permanente de Sequías (CPS)** u otro nombre equivalente, como instancia **rectora y ejecutiva** de la coordinación interinstitucional. Su propósito es **anticipar, decidir y comunicar** de manera colegiada, con una composición **intersectorial** y representación **multinivel** (nacional y subnacional). Dentro de una operadora de agua potable deberá haber algo equivalente al comité que permita la transversalidad de la información y toma de decisiones, ya que las sequías no solamente las resuelve el área técnica, sino que involucra a toda la compañía y en particular a la máxima figura de dirección, gerente general o presidente. Además, este órgano interno tendrá que reportar y coordinar con entes externos, que serán los miembros del CPS, como el regulador, el ministerio cabeza de sector y el medioambiental, llegando a sumar a las instituciones de gestión de emergencias.

b) Observatorio de la Sequía (OS)

De forma complementaria, se establece un **Observatorio de la Sequía (OS)** o nombre equivalente, como **unidad técnica colegiada y permanente**. Su rol es **medir, analizar y alertar**. No reemplaza a los generadores de datos, sino que **integra** información y provee **lecturas consistentes** para la toma de decisiones al CPS y los operadores implicados en la gestión de la sequía.

El OS debe funcionar todo el año, aun sin territorios en sequía, garantizando **continuidad estadística y alerta temprana**. Puede apoyarse en servicios internos de hidrología o los equivalentes de los que disponga el operador y en las entidades hidrometeorológicas del país.

c) Enfoque integrado

El **OS** aporta **evidencia y alerta**; el **CPS** conduce la **decisión y coordinación**. En conjunto, estos tres engranajes convierten los datos en señales de acción (indicadores→estados→medidas), alinean sectores y territorios bajo una misma hoja de ruta, sostienen la transparencia y la legitimidad pública mediante información abierta y comunicación proactiva, y fortalecen la resiliencia a través de la mejora continua del protocolo y de la planificación ordinaria.

02

Cambio de paradigma en la gestión de sequías en Bolivia

2.1. Perspectiva regional y foco en la zona andina

Las sequías en América Latina han mostrado, desde inicios de la década de 1990, una tendencia hacia episodios más frecuentes, más prolongados y, en algunos casos, más intensos. Esta evolución no es uniforme: el Golfo de Guayaquil, la Costa Peruana, el Caribe y Mesoamérica son sitios que responden de forma más sensible al fenómeno ENSO¹, mientras que la franja andina muestra sequías que pueden responder a diversos fenómenos meteorológicos del Cono Sur, además del ENSO, y que impactan directamente al abastecimiento urbano, la agricultura de los valles y la generación hidroeléctrica. A continuación, se analiza brevemente el comportamiento regional de la sequía en el periodo 1991–2025, utilizando el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI-12) como elemento de lluvia acumulada que mejor se ajusta a la posible pérdida de reservas de los operadores urbanos. Se hace una mención especial al caso particular de Bolivia.

El conjunto de datos regionales de SPI-12² para América Latina y el Caribe muestra que casi todos los países han atravesado fases de sequía durante el periodo 1991–2025. Desde la década de 2010 se observa una sincronización creciente de déficits hídricos en varias naciones simultáneamente, lo que indica una mayor sensibilidad regional a los forzamientos climáticos globales (ENSO, variabilidad del Atlántico y del Pacífico). A continuación, se muestra el mapa de calor del SPI-12 para la zona andina donde los colores cálidos y tonos rojizos representan sequías más severas, los crema condiciones normales y los azules periodos húmedos.

1 ENSO: El Niño Oscilación del Sur en sus siglas en inglés.

2 SPI-12: Índice de Precipitación Estandarizado en sus siglas en inglés. En concreto el 12 hace referencia a que se ha calculado como lluvia acumulada en los 12 meses consecutivos precedentes.

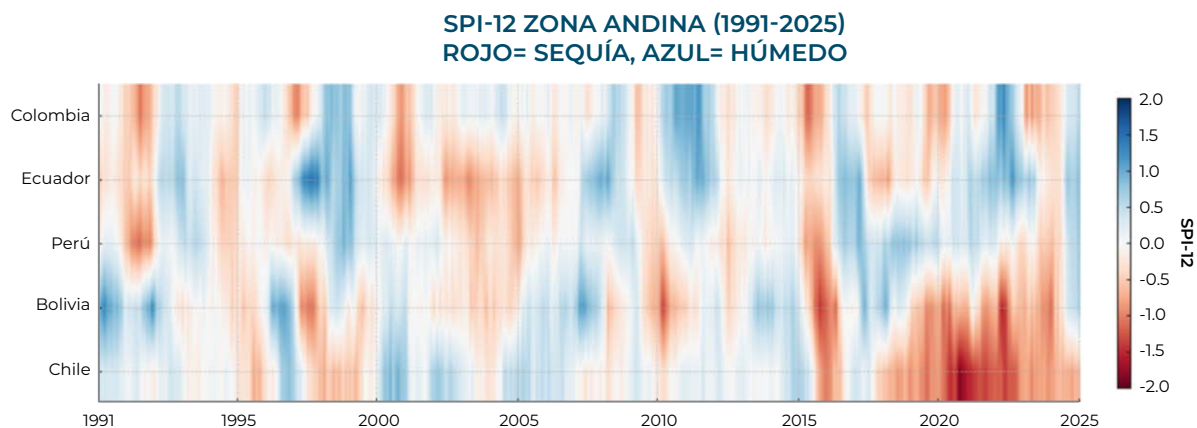


Figura 6. Mapa de calor de la intensidad, persistencia y extensión de las sequías desde 1991 en los países andinos, basado en el SPI a 12 meses (Elaboración propia).

Como muestra la figura anterior, la **franja andina** —que abarca Colombia, Ecuador, Perú, **Bolivia** y el norte de Chile— comparte un patrón cada vez más visible: episodios secos más largos y con recuperaciones más lentas desde 2010. Coinciden los años de valores negativos de SPI-12 con los grandes eventos de El Niño, que generan déficit de precipitación y menor recarga hídrica. En las series se aprecia que la persistencia de los periodos negativos aumenta en la última década, lo que coincide con la percepción social de que la lluvia llega fuera de temporada o es menos cuantiosa.



2.2. Las sequías en Bolivia

2.2.1. Evolución de las precipitaciones entre 1991 y 2025

Bolivia refleja nivel local la tendencia regional. El análisis de la serie SPI-12 1991–2025 indica una sucesión de fases secas y húmedas con tendencia negativa. Entre 1990 y 1995 hubo un periodo de sequía prolongada; en 2004–2005 y 2010–2011 aparecieron déficits moderados; en 2016–2017 y 2022–2023, episodios más intensos. El último evento prolongado de 2022–2023 muestra una recuperación parcial que recién se hace visible en 2025.

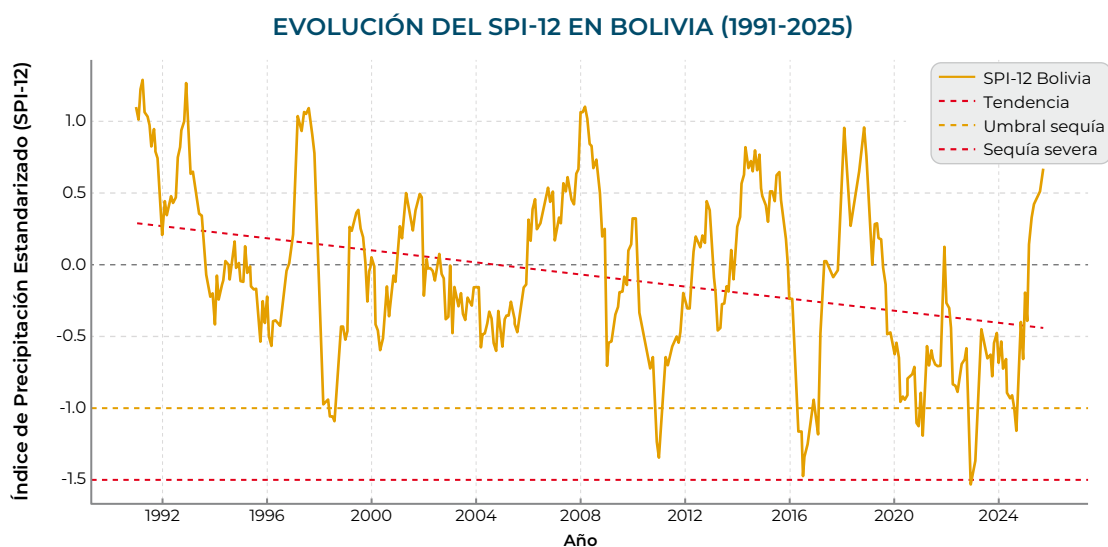


Figura 7. Evolución del valor medio para Bolivia del índice SPI-12 y umbrales de sequía comúnmente utilizados para este indicador. (Elaboración propia).

En un país tan extenso y de diversidad de climas, se hace necesario analizar la distribución espacial de las sequías, no solamente los promedios que pueden enmascarar episodios muy intensos, pero muy concentrados en algunos lugares o cuencas. En las siguientes figuras se representa el mismo indicador SPI-12 en tres momentos críticos recientes.

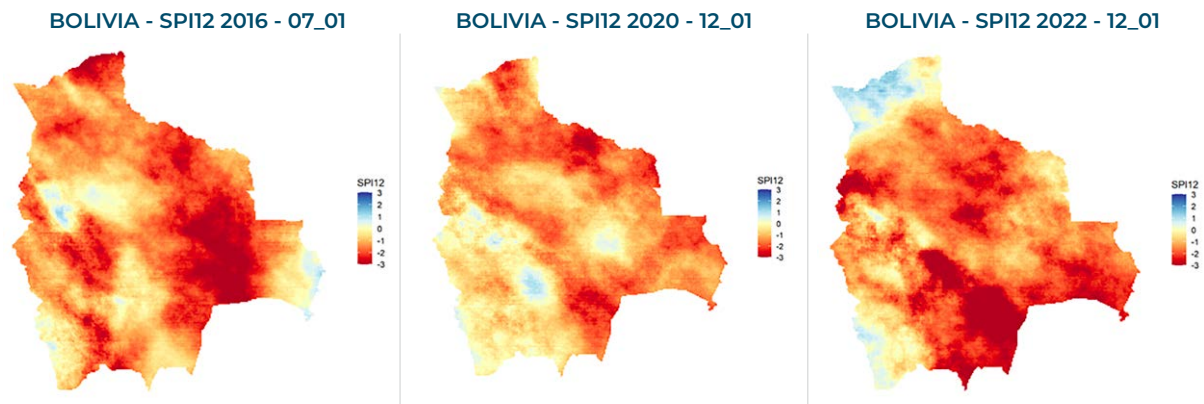


Figura 8. Distribución del índice SPI-12 en el conjunto del territorio de Bolivia en tres periodos de sequía reciente. (Elaboración propia).

2.2.2. Abastecimientos en crisis

Los episodios extremos de falta de precipitación más recientes en Bolivia pasaron de generar sequías rurales a episodios de escasez coyuntural y crisis hídricas urbanas. En noviembre de 2016, el Gobierno declaró emergencia nacional ante la peor sequía en 25 años. Más de 125.000 familias —unas 500.000 personas, cerca del 5% de la población nacional— resultaron directamente afectadas en 173 de 339 municipios que declararon emergencia. Las ciudades más impactadas fueron La Paz, El Alto, Cochabamba, Oruro, Potosí y Tarija. Además, La Paz y El Alto vivieron racionamientos severos por el vaciado de represas como Incachaca y Hampaturi.

El episodio de 2016 dejó en evidencia que el riesgo de sequía en Bolivia no es solo agrícola, sino que puede comprometer directamente el abastecimiento de agua potable en la segunda aglomeración urbana del país: La Paz–El Alto. Este sistema es atendido por la Empresa Pública Social de Agua y Saneamiento (EPSAS), que presta servicio no solo a La Paz y El Alto, sino también a municipios aledaños al eje metropolitano (Palca, Mecapaca, Achocalla, Viacha/Laja según área de expansión).

En 2022 y 2023, la situación se extendió a más personas: 410.000 hogares (1,4 millones de personas, el 12% del país) estaban afectados a finales de 2023. Siete de los nueve departamentos registraron déficit hídrico y 279 municipios —el 82%— declararon emergencia. En conjunto, la ONU y la Cruz Roja estimaron que más de 2 millones de personas enfrentaban problemas de disponibilidad de agua entre 2023 y comienzos de 2024, cerca del 17% de la población boliviana.

Cochabamba (35.000 familias afectadas), Oruro (25.000 familias y 250.000 cabezas de ganado en riesgo), La Paz y El Alto (niveles críticos en represas), Santa Cruz (sequía e incendios) y Chuquisaca-Tarija (abastecimiento por cisternas) encabezaron los reportes. Múltiples sistemas urbanos volvieron a presentar problemas, pero esta vez, tanto Cochabamba, con la reciente inauguración

y carga de la presa de Misicuni, como La Paz, con las medidas de sequía impulsadas desde 2017, no tuvieron efectos tan negativos, aun tratándose de una peor sequía hidrometeorológica.

Estos dos grandes episodios (2016–2017 y 2022–2023) marcan un punto de inflexión: las sequías son más persistentes, se extienden territorialmente y sus efectos se prolongan incluso tras el retorno de las lluvias.

2.2.3. Protocolos y respuesta local en Bolivia

Aunque **no existe un plan nacional de sequías implementado**, Bolivia ha desarrollado respuestas a nivel subnacional y municipal: el Plan Plurinacional de Respuesta Inmediata a la Sequía 2023–2024, con más de 187 millones de bolivianos para 156 municipios; el Plan de Contingencia del Chaco Tarijeño (Decreto 19/2024); el Protocolo para la Gestión Integral del Agua y el programa Agua para Vivir Bien. Estas iniciativas reflejan un mosaico de gestión que avanza hacia una respuesta más coordinada frente a un riesgo que ya no es ocasional sino estructural.

2.3. El servicio de abastecimiento de EPSAS La Paz y El Alto

En la región del Altiplano y la metrópoli de La Paz, dadas sus particulares condiciones geográficas, climáticas y la elevada dependencia del agua, además de la insuficiencia de agua en represas, lagunas, ríos y acuíferos en periodos secos y prolongados, junto con el incremento sostenido de la demanda en los últimos años, repercute drásticamente en la planificación de las ciudades de El Alto, La Paz y zonas adyacentes (gestión, uso y manejo del agua) debido a una limitada capacidad de almacenaje de este recurso. Esto conlleva a la vulnerabilidad del desarrollo de las actividades económicas habituales, deteriorando la calidad y condiciones de vida de los habitantes y el daño al medio ambiente.

Desde el 2007, el abastecimiento de agua a las ciudades de La Paz, El Alto y áreas adyacentes ha estado a cargo de la Empresa Pública Social de Agua y Saneamiento (EPSAS). Al cierre de 2024, la población abastecida era cercana a 2,1 millones de habitantes³, suministrando agua potable a los municipios de La Paz, El Alto, Viacha, Laja, Mecapaca, Palca, Achocalla y Pucarani. Tras el episodio de sequía de 2016-2017, se han implementado un conjunto de actuaciones a los sistemas de abastecimiento como estrategias de expansión de la población y aumento de su resiliencia.

EPSAS presta el servicio a través de **cinco subsistemas**: Tilata, El Alto, Achachicala, Chuquiaguillo y Pampahasi, a los cuales se suman las líneas de pozos San Felipe y Oeste, con tratamientos locales, que nutren directamente el ámbito de El Alto sin pasar por Tilata. La fuente de suministro de agua de los sistemas El Alto, Achachicala, Pampahasi y Chuquiaguillo son pequeñas cuen-

3 El valor de población servida por EPSAS al cierre del ejercicio 2024 era de 2.083.558 habitantes, lo que representa un nivel de cobertura del 95.9% de la población estimada en su área de servicio. Fuente: Plan de Desarrollo Quinquenal (PDQ) 2025.

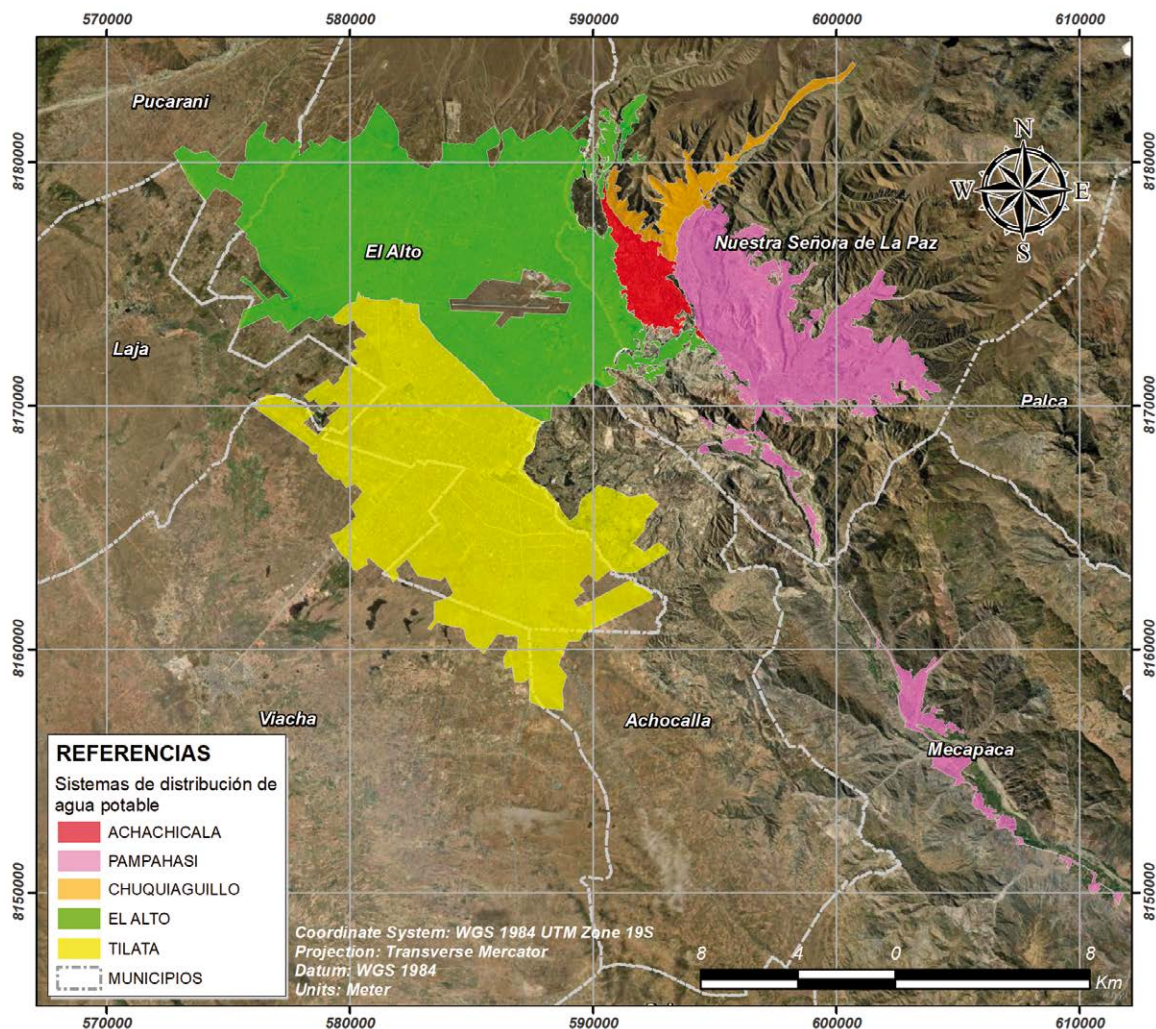


Figura 9. Municipios del ámbito de servicio de EPSAS. Fuente: Plan Maestro Metropolitano en proceso de actualización (2025).

cas hidrográficas ubicadas en la Cordillera Real; el aporte de estas subcuencas se almacena en represas y se conduce a las plantas de tratamiento. El sistema Tilata y las líneas de pozos San Felipe y Oeste, en cambio, aprovechan aguas subterráneas procedentes del acuífero Purapurani.

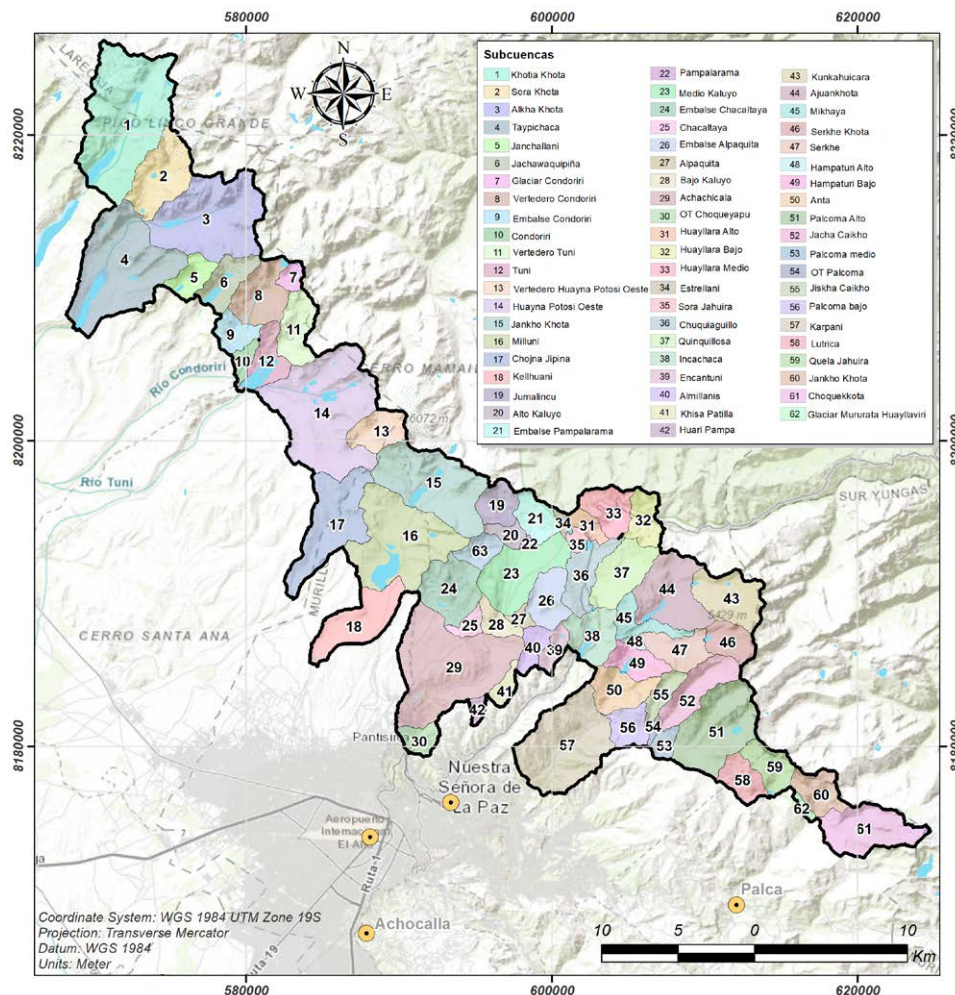


Figura 10. Subcuencas actuales o proyectadas de aporte al sistema de abastecimiento de EPSAS. Fuente: Plan Maestro Metropolitano de La Paz en proceso de actualización (2025).

2.4. Episodio de sequía 2016-2017

Como se ha comentado en apartados anteriores, en el 2016 y 2017, Bolivia fue afectada por una fuerte y prolongada sequía en muchas partes del país, trayendo como consecuencia una declaratoria de emergencia⁴ en 173 municipios de ocho de los nueve departamentos del país. La Paz fue una de las más afectadas, con 256 mil personas (100 barrios) que sufrieron racionamiento de agua, a los que se sumaron siete distritos municipales de El Alto afectados también por el racionamiento.

⁴ Decreto Supremo N.º 2987 — 21 de noviembre de 2016. Título: “Declara Situación de Emergencia Nacional, debido a la presencia de sequía y déficit hídrico en diferentes regiones del territorio nacional, provocadas por fenómenos climáticos adversos. (<https://www.lexivox.org/norms/BO-DS-N2987.html>)

Entre las condiciones climatológicas que causaron la sequía 2016, se mencionan la presencia en la región de El Niño de una intensidad fuerte y sus efectos diferenciados en el clima de Bolivia (exceso de precipitaciones en el norte y este del país y tendencia a llover menos en las zonas altas).

En La Paz y El Alto, se presentó un déficit de precipitación total anual de hasta el 36%, produciéndose la situación más crítica en el periodo de estiaje (mayo-agosto). El déficit intenso de precipitación fue coincidente en el tiempo de almacenamiento de los embalses y retraso en el inicio de precipitaciones en la época húmeda (finales de 2016). La consecuencia inmediata fue un déficit de volúmenes en los embalses, conllevando al vaciamiento de ciertos reservorios clave operados por EPSAS entre los meses de octubre y noviembre del 2016, provocando el posterior desabastecimiento de agua en la zona sur y ladera este de la ciudad de La Paz (sistema Pampahasi) y, obligando a medidas de restricción en varios distritos de la ciudad de El Alto (sistema El Alto), ya entrado el 2017.

En noviembre de 2016 se declaró estado de emergencia a nivel nacional. Para el caso de La Paz y El Alto, EPSAS elaboró el Plan de Contingencia ante el Evento de Sequía 2016, donde se especifican las medidas ante este fenómeno, mencionándose entre otras, los racionamientos del servicio y la necesidad de la adopción de obras urgentes para paliar los efectos de la emergencia hídrica.

El sistema Pampahasi fue el que sufrió el periodo más agudo de racionamiento del servicio de agua potable, junto con el sistema El Alto. El Gobierno nacional, observando tal situación, implementó acciones de alto impacto destinadas a ampliar las infraestructuras de agua potable, que permitieron un incremento de la oferta de agua del sistema Pampahasi y otros embalses y lagunas de EPSAS en el corto plazo.

“

En paralelo, EPSAS inició un proceso de **cambio de paradigma** de gestión del ciclo del agua que trascendió los proyectos de nueva oferta hídrica y, por primera vez, se incluyeron acciones destinadas a gestionar la demanda y la planificación preventiva de sequías, donde se incluyó la redacción de un PGS.

”

2.5. Reacción para superar el episodio

En el marco de la emergencia hídrica nacional, EPSAS incluyó como parte de su Plan de Contingencia un total de **nueve proyectos de emergencia** relacionados con sendos objetivos para reducir los efectos de la sequía en el abastecimiento agua potable, incluyendo acciones a corto plazo para sostener y mejorar el servicio de agua para la gestión 2017 y siguientes, los cuales se indican a continuación:

1. Construcción nueva Estación Interruptora de presión (EIP Hampaturi)
2. Aducción Palcoma – EIP Hampaturi
3. Trasvase de agua de Huayllara hasta el embalse Estrellani
4. Línea de Pozos San Felipe
5. Línea de Pozos Oeste
6. Dragado del embalse Tuni
7. Impermeabilización del canal Milluni
8. Proyecto Cuenca Khaluyo Choqueyapu: presas de Pampalarama, Chacaltaya y Alpaquita
9. Bombeo Jankho Khota

Todas estas obras ya están operativas como parte fundamental de la infraestructura de EPSAS, lo que aumentó la capacidad de almacenamiento de agua bruta, de distribución y tratamiento en las Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) y, en consecuencia, se ha incrementado la capacidad de abastecer de agua potable a la población respecto al escenario previo al 2017.

Paralelamente a la implementación de las medidas de emergencia del Plan de Contingencias de 2017, el BID en **2018** financió el “**Plan Especial de Sequías de El Alto y La Paz**” a través de una cooperación técnica (RG-T2659). El objetivo general que persiguió el Plan Especial de Gestión de Sequías (PGS) fue minimizar preventivamente los impactos ambientales, económicos y sociales de eventuales episodios de sequías, diferenciando entre las situaciones de sequía prolongada y las de escasez coyuntural, centrándose en dar reglas de operación previamente y durante la sequía para las infraestructuras disponibles en ese momento o de las que se consideraba su entrada en servicio inminente, así como la gestión de la demanda de cada subsistema, evitando repetir los momentos más dramáticos y el colapso vivido en el episodio de sequía severa de 2016-2017.

En el caso boliviano, la crisis hídrica desembocó en una crisis política e institucional entre finales de 2016 y principios de 2017, que se materializó con la destitución de los máximos responsables del Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA) y de la empresa prestadora del servicio, EPSAS La Paz – El Alto. Del estudio posterior a este episodio de sequía, se ha podido demostrar que el evento 2016 no fue el peor de los registrados en el pasado, y en estos momentos se puede constatar que tampoco lo es respecto a los inmediatamente vividos, ya que en **el periodo 2022-2023, se ha superado con creces la sequía anterior, aunque veremos que la respuesta y los efectos sobre el sistema de abastecimiento de la conurbación de La Paz y El Alto han sido totalmente distintos** y hoy no se habla de una gestión de la crisis, sino de una gestión de la sequía donde no han habido restricciones domiciliarias ni grandes sacrificios entre los usuarios.

El nuevo equipo que comandó EPSAS a partir de febrero de 2017, además de gestionar esta situación de emergencia, sentó las bases para un cambio de orientación de planteamiento hacia la gestión de sequías. Además de impulsar con carácter de urgencia el conjunto de infraestructuras que acabarían siendo recursos permanentes para el sistema de abastecimiento de la

ciudad, se llevaron adelante otro tipo de actuaciones que cambiarían el paradigma de gestión de estos episodios.

Entre esos cambios están las medidas de gestión de la demanda, flexibilización y adaptación de la red de distribución, y por supuesto, la redacción de un **plan de gestión de sequías** que fue aprobado a finales del 2018. El planteamiento se hizo basándose en la hipótesis de que este tipo de fenómenos, si bien son impredecibles, es inevitable que se produzcan en algún momento, y es necesario asumir esa certeza para un periodo de tiempo relativamente cercano. Para ello, el enfoque de planificación es un **enfoque de riesgo**, dentro del marco de la **seguridad hídrica** de una conurbación como La Paz y El Alto y, por tanto, se aproxima al problema a través de un análisis estadístico.

“

Tras el episodio 2016-2017, **EPSAS La Paz y El Alto, con su plan de gestión de sequías de 2018**, entró en un nuevo paradigma de gestión que le ha permitido monitorear permanentemente la evolución de sus recursos hídricos, prevenir los efectos de la reducción de aportaciones, en determinados años, activar o desactivar diferentes medidas de gestión de oferta y demanda y, en última instancia, poder superar episodios de sequía, incluso mayores que los vividos en el catastrófico evento del 2016-17.

”

03

Implementación del PGS 2018

La realidad hídrica de la zona y la demanda existente o prevista a mediano o largo plazo habían mostrado la necesidad de tener más infraestructura y de gestionar el conjunto (oferta-infraestructura-demanda) de otra manera. En el momento de redacción, a lo largo del 2018, el Plan de Gestión de Sequías de EPSAS La Paz y El Alto no fue un documento que estableciera las infraestructuras necesarias para preparar al sistema de abastecimiento de la conurbación urbana de La Paz–El Alto a superar la sequía que se estaba viviendo entre 2016 y 2017. El PGS tampoco pretendía estudiar y diseñar las actuaciones de emergencia que eran necesarias para superar el episodio, por dos motivos fundamentales:

- El plan inició su redacción cuando ya había finalizado el episodio de sequía⁵ o por lo menos la parte más intensa, con una amplia recuperación de los sistemas y, por tanto, las acciones de emergencia ya se habían aplicado en su gran mayoría.
- Lo más importante, el objeto de este tipo de planes, aunque tienen la capacidad de comparar medidas, principalmente cumplen la función de **establecer el protocolo de operación de aquellas infraestructuras que ya están en servicio** o que van a entrar de forma inminente en servicio. Responden, por tanto, a un horizonte temporal mucho más cercano y corto, normalmente fijado entre 5 y 10 años, en función de la evolución esperada de nuestra demanda o del crecimiento de la red de abastecimiento en la que se implementa.

El PGS, por tanto, respondió a dar sentido a **cómo incorporar las diferentes fuentes de recursos o manejar las infraestructuras** que históricamente existían o que se estaban construyendo justo en ese momento (2018) para fortalecer el sistema, así como:

- Establecer determinadas movilizaciones y transferencias de recursos entre subsistemas.

5 Se dio por concluido antes de finalizar el 2017.

- Determinar la regla de priorización en el llenado de los embalses.
- Valorar el efecto de la introducción de las medidas vinculadas a la reducción de la demanda progresiva.
- Definir el mecanismo de medición, objetivo, de los indicadores de sequía, que se debería calcular sistemáticamente a través de información de recursos hídricos que se registraba en la entidad.
- Determinar los umbrales de los diferentes estados de intensificación progresiva de las acciones para mitigar la sequía y, por tanto, los momentos en los que se establecía ese equilibrio comentado en el apartado anterior entre la acción preventiva, para evitar daños mayores, y la asunción de efectos de estas mismas acciones sobre el uso en situaciones ordinaria.

Como herramienta de explotación u operación del sistema, correspondería asumirla en la gerencia encargada de regular el recurso en la fuente, potabilizarlo y entregarlo en la red.

“

Si bien está claro quién se beneficia más con la herramienta, lo cierto es que **los planes de gestión de sequía son una herramienta transversal para toda la institución**, ya que implican también medidas sobre la gestión de la demanda, que generalmente corresponden a la gerencia de operaciones o de distribución, así como para los responsables del área comercial y de comunicación con los clientes que generen las campañas vinculadas al uso del recurso o sobre las medidas restrictivas que se puedan establecer.

”

Por último, siendo una herramienta de carácter excepcional y que restringe las operaciones ordinarias y, por tanto, afecta al servicio de los usuarios alterando las condiciones contractuales, **es imprescindible que el PGS esté informado y codirigido por la máxima autoridad de la institución**, que en este caso recae en la gerencia general en manos del interventor designado por el Gobierno.

3.1. Organigrama y funciones

En el primer capítulo se han definido los alcances, proceso y gobernanza de los PGS en general. En el ámbito del seguimiento permanente se han determinado dos elementos clave. Un **comité de toma de decisiones**, transversal en la entidad, que lidera la implementación del PGS y, a la vez, conectado a nivel interinstitucional. Un **observatorio o mesa técnica** que hace las funciones de control de los indicadores, evolución de recursos y cumplimiento de obligaciones que se deriven

del propio PGS, informando en todo momento al comité para que este tome las decisiones y declaraciones de cambio de estado de forma fundamentada.

En el caso de EPSAS, según el organigrama que se presenta en la figura siguiente, las diferentes acciones que se desarrollan en el PGS están distribuidas entre las gerencias y departamentos en color naranja. En concreto, aunque el peso más importante recae en la Gerencia Técnica, existen funciones coordinadas con el Departamento de Comunicaciones y Relaciones Públicas y con el Departamento de Planificación y Gestión Estratégica.

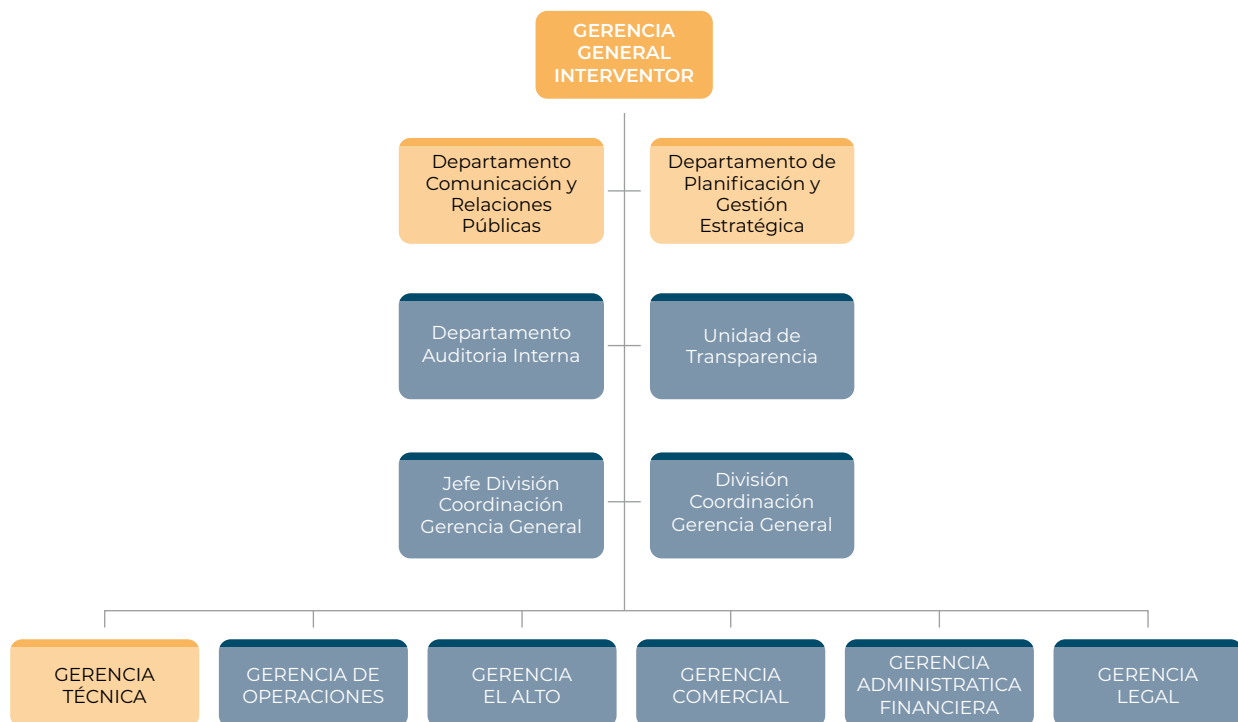


Figura 11. Organigrama de la Gerencia General de EPSAS La Paz y El Alto. En color naranja los departamentos y gerencias que participan del seguimiento del PGS.

A continuación, se describen las funciones de los diferentes equipos que participan en la **implementación y seguimiento del PGS en EPSAS**, iniciando por los departamentos dependientes directamente de la Gerencia General y que son:

- **Departamento de Planificación y Gestión Estratégica.** Una de sus divisiones es la de regulación y gestión técnica-operativa, a cargo de realizar el seguimiento del **plan maestro metropolitano y el plan de desarrollo quinquenal**, el control de análisis, los indicadores de gestión y cumplimiento de metas, indicadores del PGS, la regulación y procesamiento de información referida a la gestión del servicio que se **informa regularmente a la Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico (AAPS)** y las actividades emprendidas por las unidades técnicas operativas de la empresa.

- **Departamento de Comunicación y Relaciones Públicas.** Departamento en el que se manejan todos los temas vinculados a campañas de comunicación, gestión de la información institucional, acciones con medios masivos y plataformas virtuales. También gestionan el contenido difusión al público, clientes y empresas de información relacionada con el servicio y, la consolidación de instrumentos de comunicación interna. A requerimiento de la Gerencia Técnica, que lidera el PGS, este departamento canaliza la difusión oportuna de medidas restrictivas sobre la demanda, promueve la concienciación ciudadana de ahorro del recurso agua e informa sobre el estado de sequía y las acciones mitigadoras emprendidas, todo bajo un enfoque de transparencia institucional.

Profundizando en la estructura de la **Gerencia Técnica**, según el Manual de Organización y Funciones (MOF) de EPSAS S.A. actualizado, la siguiente figura presenta los diferentes departamentos que la conforman y que estuvieron implicados en la redacción, implementación y seguimiento del PGS. En concreto, es el propio **gerente técnico quien coordina con externos a la Gerencia Técnica**.



Figura 12. Organigrama de la Gerencia Técnica de EPSAS La Paz y El Alto. En color naranja los departamentos y gerencias que participan del seguimiento del PGS.

La **Unidad Centro de Control de Recursos Hídricos** es la unidad transversal de la vigilancia del estado de los recursos hídricos en las fuentes de agua superficial y subterránea. Asimismo, realiza el seguimiento de las consignas en los sistemas de regulación, captación y transporte de agua cruda hacia las plantas potabilizadoras.

Actualmente esta unidad monitorea en línea una extensa red de estaciones hidrometeorológicas en las cuencas aportantes a EPSAS e incorpora herramientas de pronóstico hidrológico,

para conocer preventivamente las afluencias a los embalses, mediante el modelo Flextop (integrado en el sistema Delft-FEWS) y, de forma complementaria el modelo numérico de simulación del PGS, realizando el seguimiento de los indicadores de sequía prolongada y escasez coyuntural del PGS proponiendo los cambios de estado hidrológico del sistema y activación de acciones y medidas previstas en el protocolo, y es también donde se realiza el monitoreo del acuífero de Purapurani. En síntesis, esta unidad aporta información consolidada a la Gerencia Técnica para la toma de decisiones, y la activación de acciones dirigidas al Departamento de Producción.

El **Supervisor encargado de Control de Convenios** coadyuva en la gestión social para la ejecución del PGS, mediante el seguimiento de los compromisos institucionales asumidos con las comunidades rurales del entorno de las fuentes de agua.

Entre los cometidos del **Departamento de Producción de Agua Potable** están la ejecución de acciones del PGS, bajo coordinación e instrucción de la Gerencia Técnica, opera todas las unidades del proceso de producción, la captación, el almacenamiento y regulación de recursos hídricos superficiales y subterráneos, y la disponibilidad de agua potable. Además, las alteraciones en la operación guiadas por el PGS en cada estado de sequía afectan al presupuesto anual del departamento de producción potable, incluyendo insumos, reactivos y energía.

Dentro de este departamento se establece una división para cada una de las plantas de producción de agua: División de Planta (D.P.) Achachicala, D.P. Pampahasi, D.P. El Alto, D.P. ChuquiagUILlo, D.P. Tilata, D. San Felipe y Línea Oeste y **División de Reservas y Aducciones**. En esta última división es donde se ejecuta las acciones del PGS para el suministro de agua cruda a las plantas potabilizadoras, a través de la operación coordinada de los embalses y las líneas de aducción.

El **Departamento de Mantenimiento de Plantas**, tiene como cometido principal mantener el correcto funcionamiento de la infraestructura civil, equipamiento y comunicación en los procesos de captación, producción de agua potable y depuración de aguas residuales, efectuando el soporte técnico del sistema de monitoreo SCADA, que permite la operatividad del PGS.

En adición, en la Gerencia Técnica existe un **Departamento de Estudios y Proyectos**, donde se realizan proyectos, tanto de agua potable como de alcantarillado sanitario, dirigiendo proyectos para el incremento de la oferta hídrica de acuerdo al plan maestro metropolitano y el plan de desarrollo quinquenal.

Finalmente, en 2023, fruto de la intensificación del episodio de sequía, se decidió incorporar el seguimiento del PGS en las reuniones de coordinación de todos los gerentes de línea que organiza la Gerencia General denominado **Comité de Gerentes**, siendo este foro donde se vienen

recogiendo las acciones propias de un **comité permanente** con visión global de toda la información registrada y medidas implementadas.

“

EPSAS La Paz y El Alto, ajusta y consolida el equipo de seguimiento del PGS.

EPSAS ha convertido el ámbito de coordinación periódica de los gerentes de línea en el Comité Permanente de Sequías y estandarizó los documentos técnicos que le prepara cada mes la gerencia técnica a través de la Unidad Centro de Control de Recursos Hídricos, desde donde se hace el seguimiento de la evolución y pronóstico de las reservas a modo de observatorio de la sequía. En el episodio 2023, se sumó también el resumen de la evolución de la demanda servida y las campañas de comunicación y transparencia.

”

3.2. Procesos

3.2.1. Procesos de generación de información y seguimiento del estado de sequía

A nivel de operación de las infraestructuras en cada subcuenca regulada, el Plan de Gestión de Sequías (PGS) organizó unos procedimientos y consignas en función de la intensidad o estado de sequía, previa división del sistema en dos unidades territoriales de operación, la UT Este (Pampahasi y ChuquiagUILlo) y la UT Oeste (Achachicala, El Alto, Tilata y resto de líneas de pozos). La recopilación de información del estado de los recursos y reservas es clave para el cambio de consignas, como son los desembalses por presa o los trasvases de agua cruda entre plantas de tratamiento o la activación de algunas medidas excepcionales como el trasvase de agua desde el río Huayllara hacia la laguna Estrellani.

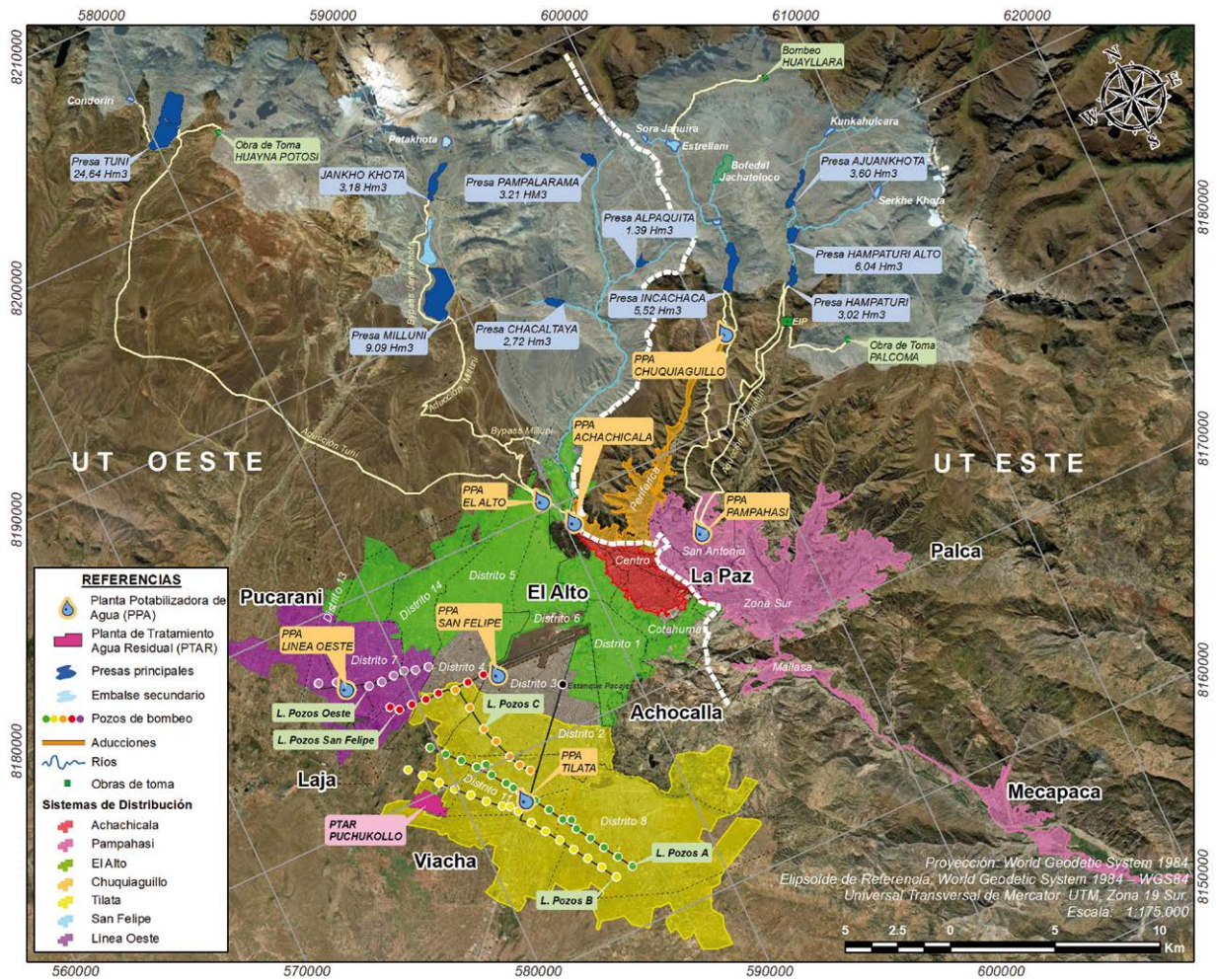


Figura 13. Unidades Territoriales de operación, fuentes de recurso e infraestructuras clave de regulación y tratamiento (Fuente EPSAS).

Diariamente, los **operadores de presa** registran en planillas físicas los niveles del embalse y los caudales entregados, reportando estos datos vía radio a su centro asignado (planta). Al cierre del mes, la Unidad del Centro de Control realiza la consolidación de la información, verificando la consistencia entre los datos notificados por radio y los registros físicos. Una vez validados, las planillas se remiten a la División de Reservas y Aducciones para su custodia definitiva. El flujo para la centralización de los datos se detalla a continuación:

- Toda la información vinculada a la Unidad Territorial Este (UTE) se concentra en la planta potabilizadora **Pampahasi**.
- Toda la información vinculada a la Unidad Territorial Oeste (UTO) se concentra en la planta potabilizadora **El Alto**.

- En la Planta de **Achachicala** se encuentran los servidores de los sistemas automatizados y registros en continuo.

La **Unidad del Centro de Control** monitorea en línea la red de estaciones hidrometeorológicas, consolidando una base de datos centralizada que se valida con la información operativa transmitida desde las plantas al **supervisor de recursos hídricos**. Asimismo, la gestión de los niveles del **acuífero Purarapurani** se administra directamente desde este centro hacia las D.P. Tilata, San Felipe y Línea Oeste, mediante recopilación y registro quincenal de las lecturas de los pozos.

El **responsable de la supervisión de los recursos hídricos** es quien calcula todo a nivel diario, semanal y mensual, según requiere en cada caso:

- Las precipitaciones acumuladas para cada cuenca aportante a los embalses
- La evolución de las reservas en los embalses
- El cálculo de los indicadores de la sequía
- La propuesta de distribución de volúmenes a cada una de las plantas potabilizadoras.

En el Centro de Control de recursos hídricos, se elabora lo siguiente:

- La **actualización de la serie histórica** de precipitaciones, temperaturas y nuevas variables climáticas, así como de los aportes o caudales drenantes a los embalses (obtenidos mediante medición directa, métodos deductivos o modelación numérica). Actualmente, se está usando el modelo Flextop incluido en el sistema Delft-FEWS, implementado en el marco del proyecto de eficiencia hídrica y alerta temprana bajo la cooperación holandesa. Esta actualización sistemática es fundamental para garantizar la continuidad y consistencia de las series generadas durante la formulación y redacción del PGS. En 2018 se utilizó el modelo WEAP, que era el estandarizado a nivel país.
- Un **informe mensual o semanal** actualiza la evolución de los indicadores y establecimiento de la propuesta de cambio de estado hidrológico, con el recordatorio de las medidas de actuación que se activan en cada caso. El documento es revisado y aprobado por el gerente técnico.
- Las **tablas y gráficos** necesarios para los documentos que se dan traslado a la Gerencia General, Gerencia Técnica, AAPS, ministerio y externos.

La Gerencia Técnica comunica formalmente los cambios de estado hidrológico y las nuevas consignas operativas al Departamento de Producción de Agua Potable, unidad responsable de la regulación de presas y la operación de la infraestructura de potabilización.

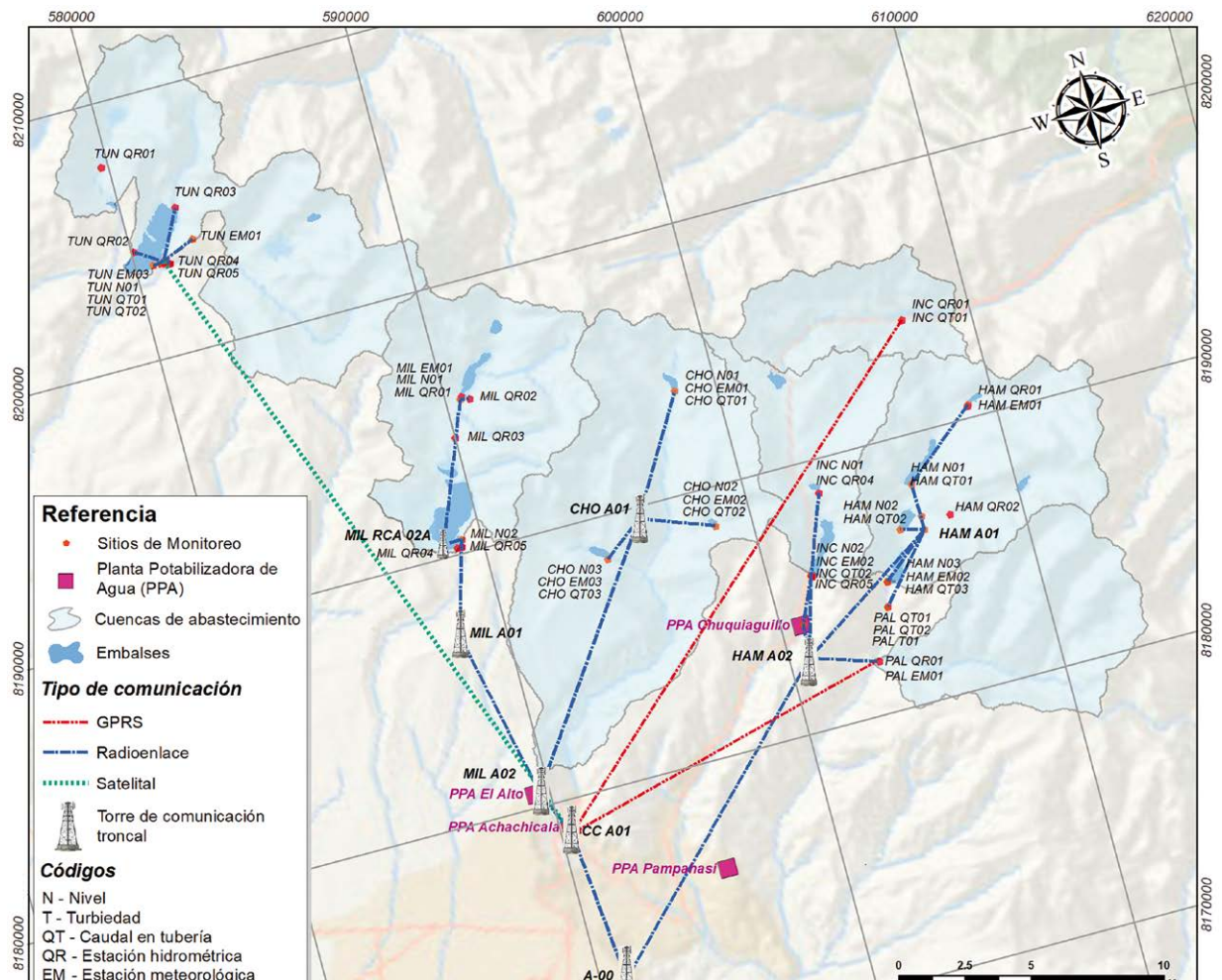


Figura 14. Esquema de nuevas estaciones remotas de registro de variables hidrometeorológicas y concentradoras de datos, implementadas por el Proyecto de Eficiencia Hídrica y Reducción del ANF.

3.2.2 Seguimiento y comunicación

El PGS, en cumplimiento a lo acordado con el regulador (AAPS), es un capítulo incluido en el **Plan de Contingencias** que todas las Empresas Prestadoras de Servicios de Agua y Alcantarillado (EPSA) de categoría A y B están obligadas a redactar, aplicar y actualizar, además de presentarlo ante AAPS. EPSAS así lo tiene incorporado desde el inicio en 2018, informando cuál es el procedimiento de comunicación y tipo de información que se transmite en el caso de que se vaya intensificando la sequía mediante el permanente control de los responsables definidos en EPSAS.

A través de los procesos de información y seguimiento de sequía descritos, los informes donde se resumen los valores mensuales de cada indicador, estado de reservas y declaratoria de cambio de situación o estado de sequía (normalidad, prealerta, alerta y emergencia) que son revisados y aprobados por el gerente técnico, siguen el siguiente circuito de comunicación:

- Se le comunica a la **Gerencia General** de EPSAS (interventor), quien puede incorporarlo para tratarlo en las **reuniones del Comité de Gerentes**. En este caso todos los acuerdos relativos a la sequía constan en el acta de la reunión como sistema de registro de compromisos, acciones y responsables.
- Se le comunica a la dirección del **regulador** quien está permanentemente informado de la situación de sequía y medidas que se activan en el servicio de EPSAS La Paz y El Alto.
- Se le comunica al **Viceministro de Agua Potable y Saneamiento Básico** (VAPSB) del MMAyA a través del interventor.
- Se comunica a los **municipios afectados** según las áreas de servicio de EPSAS a través del interventor, solamente a partir del estado de alerta y a los dos municipios principales, El Alto y La Paz.

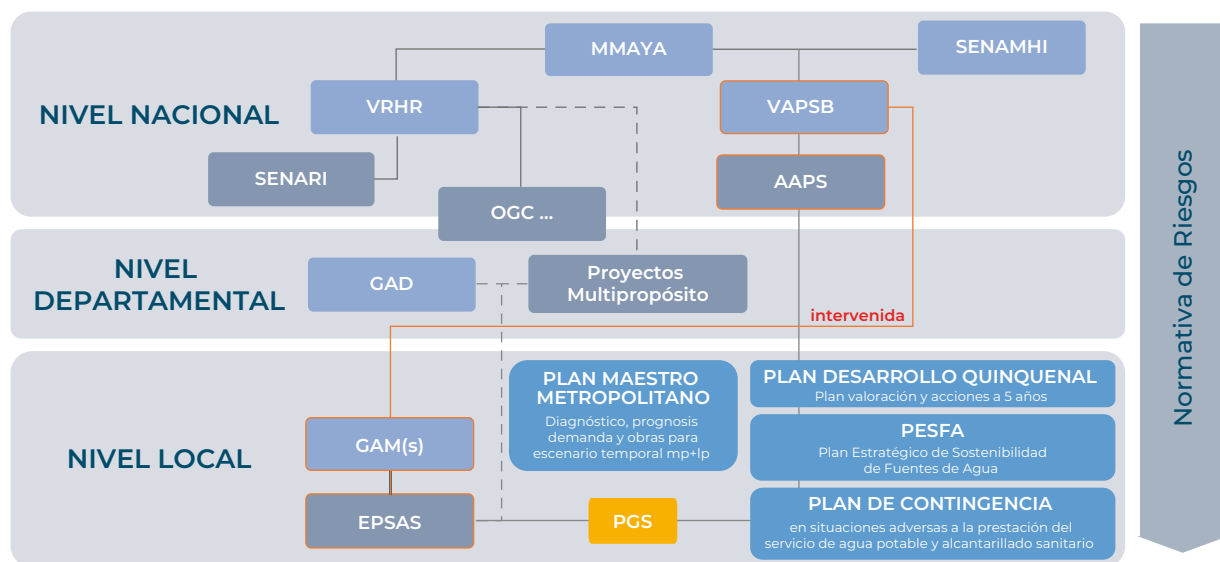
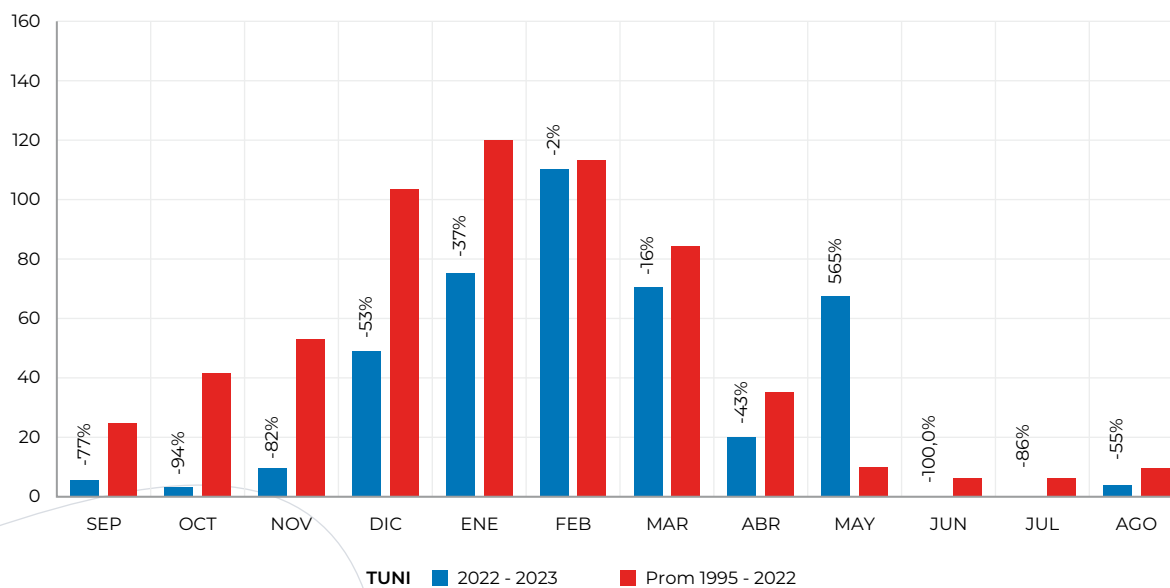


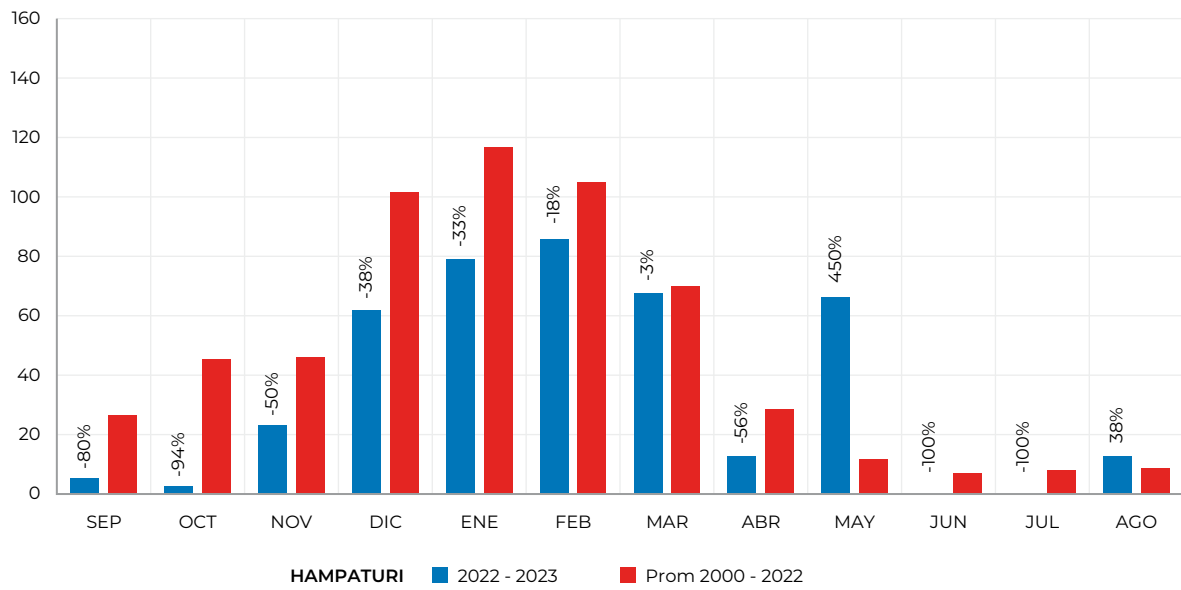
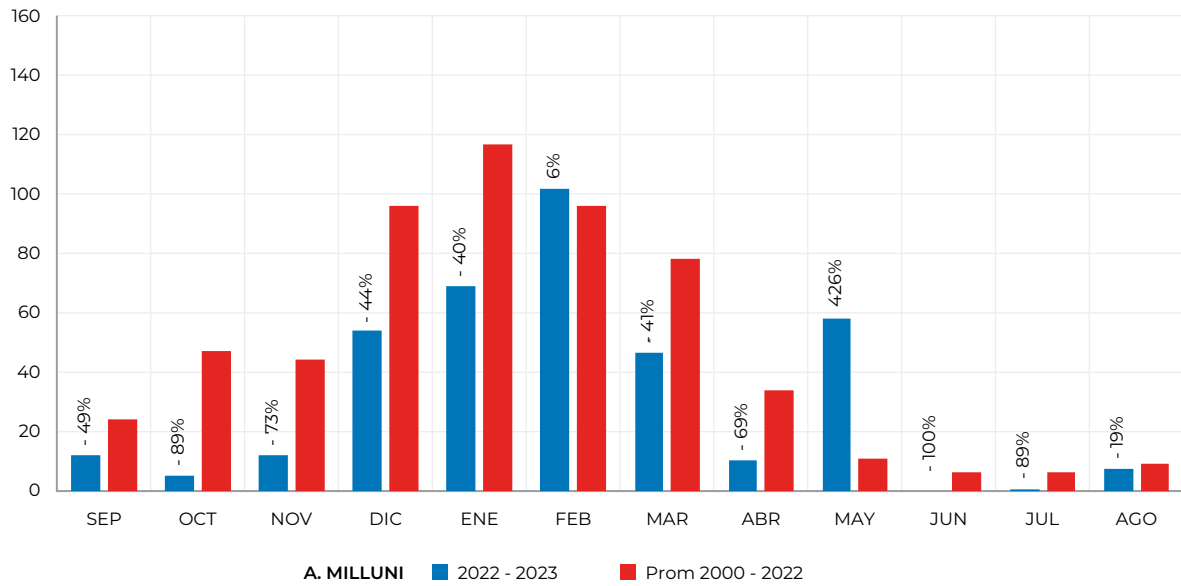
Figura 15. Instituciones vinculadas a la gestión del agua en función de los tres niveles de gobierno. Del regulador AAPS emanan las obligaciones de planificación y reporte. Las casillas con contorno naranja son las entidades a las que EPSAS reporta el seguimiento del PGS según lo expuesto en el texto⁷.

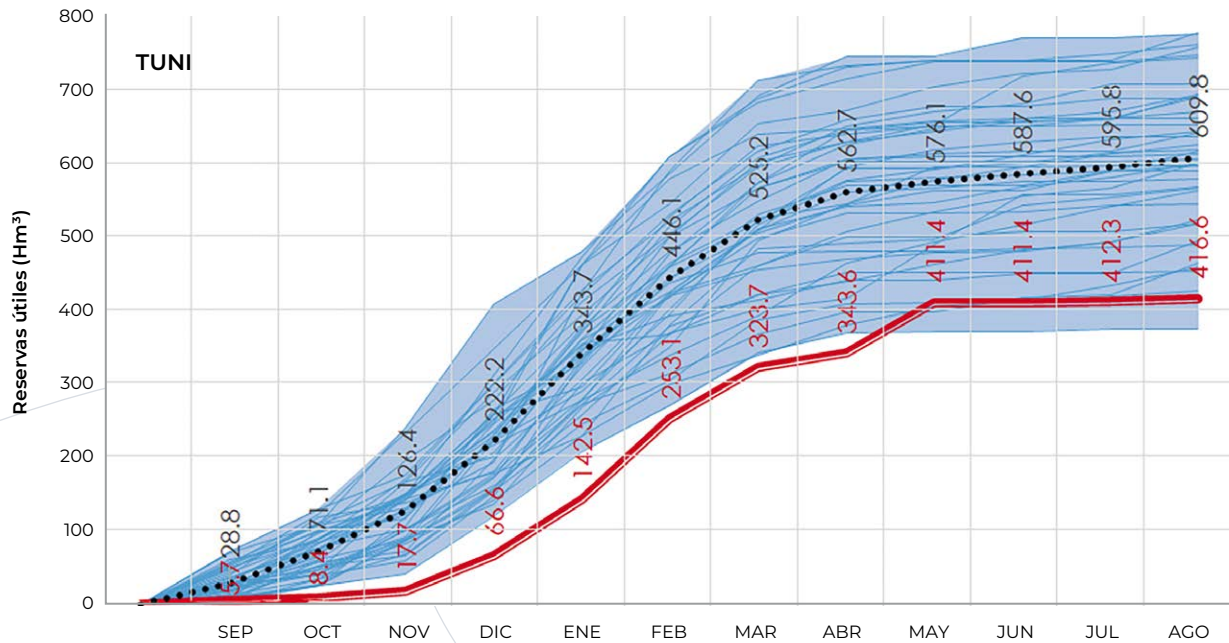
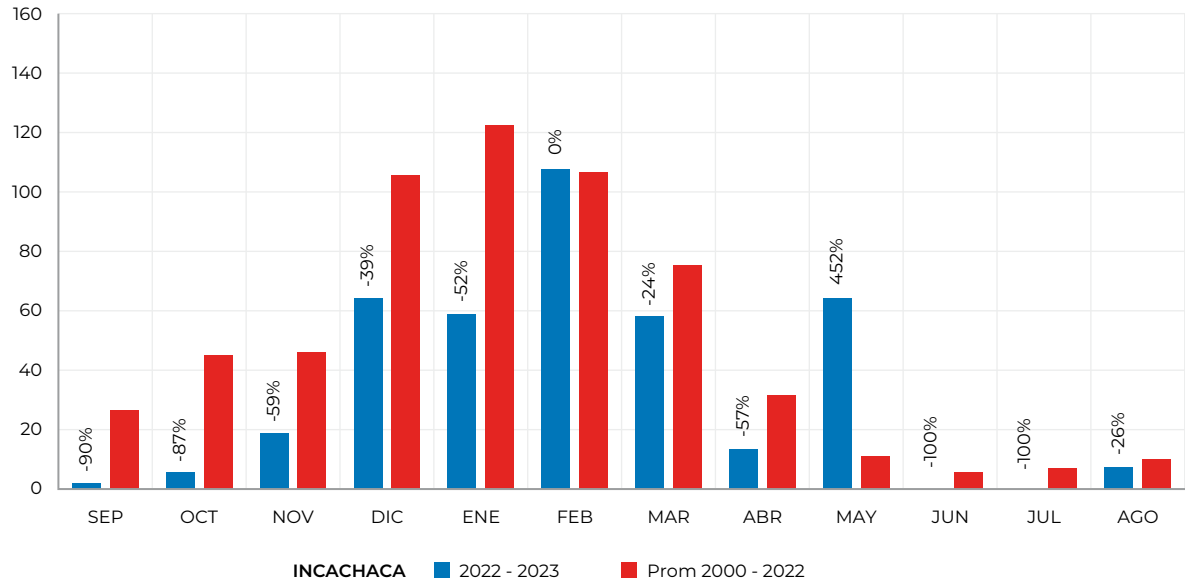
6 VRHR: Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego; VAPSB: Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico
 SENAMHI: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
 SENARI: Servicio Nacional de Riego
 OGC: Organismos de Gestión de Cuenca
 GAD: Gobierno Autónomo Departamental
 GAM: Gobierno Autónomo Municipal

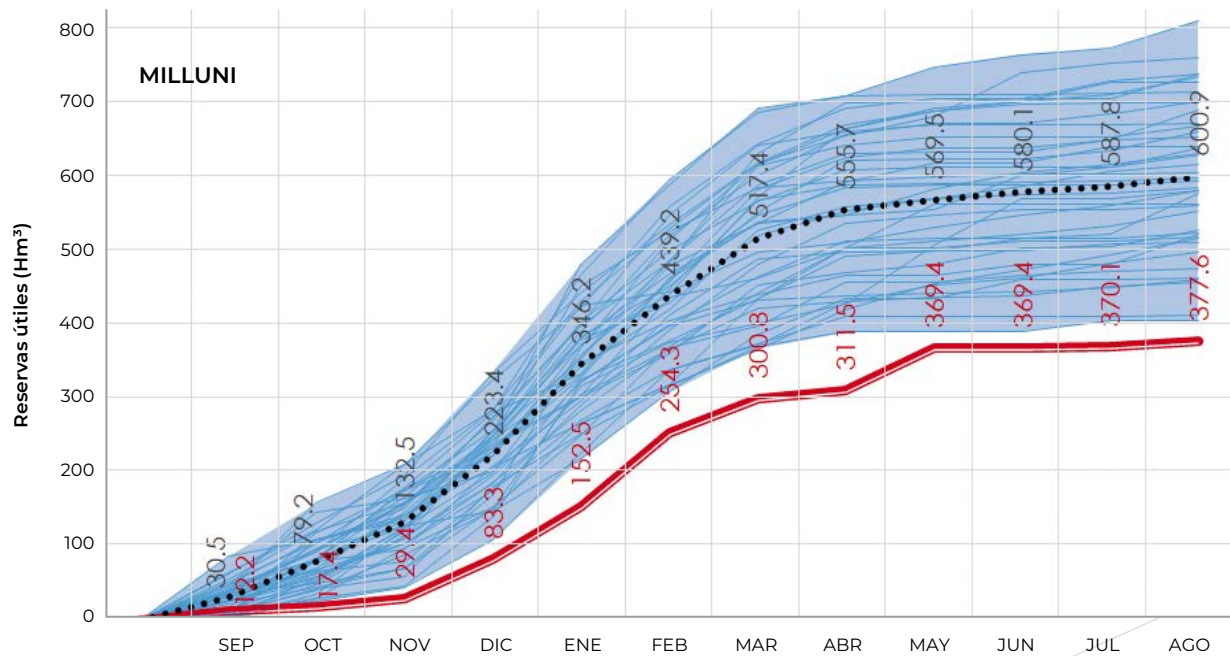
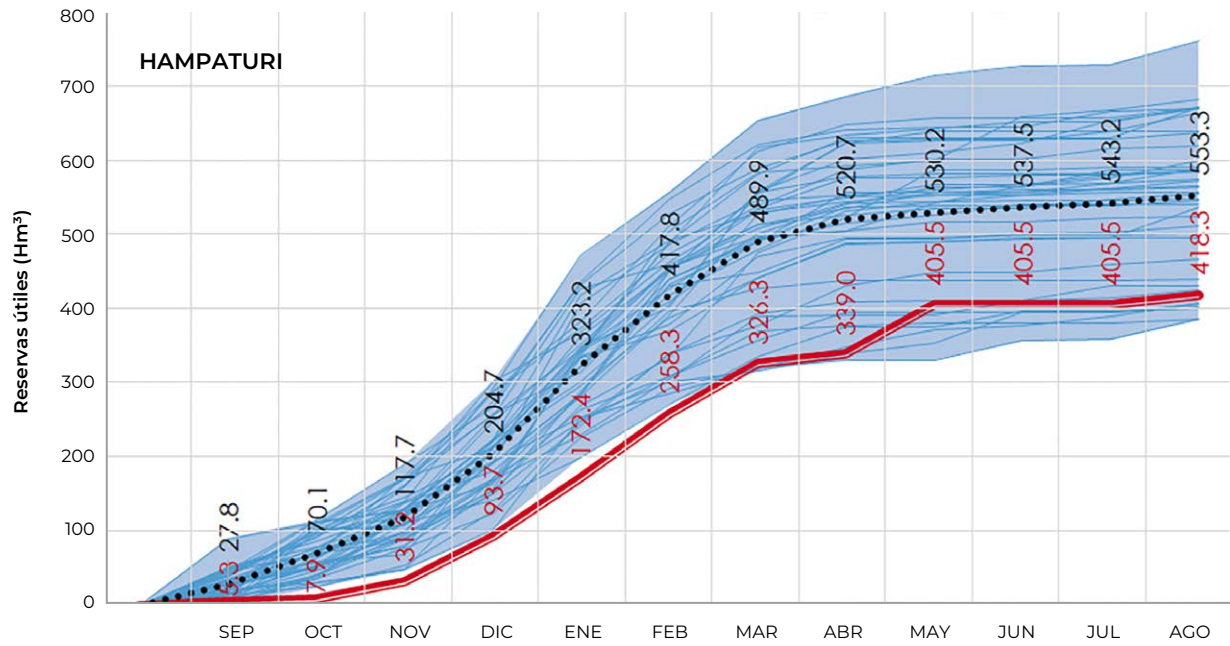
Estas comunicaciones se gestionan formalmente mediante correspondencia física, con un anticipo digital en formato PDF vía correo electrónico. La frecuencia de los reportes varía entre mensual y semanal, según la severidad del escenario de sequía; la periodicidad máxima se activa al declarar el estado de alerta. Durante este estado, se implementan además reuniones presenciales periódicas (mensuales o quincenales) con la AAPS, con el objetivo de evaluar la efectividad de las medidas adoptadas y consensuar las nuevas acciones a ejecutar.

En esta información compartida con las gerencias de línea, con la AAPS o con el viceministerio, además del indicador se establecen unos gráficos con estadísticos de todos los registros de los que se dispone. Los registros históricos de los embalses se han realizado desde el año 2000, si bien en el caso de Tuni la serie es algo mayor, desde 1995. El equipo de EPSAS ha desarrollado un conjunto de gráficas que permite monitorear la severidad de los eventos de escasez. Para comparar los aportes que se están produciendo como medida indirecta de la futura evolución de las reservas se utilizan estadísticos mensuales que se recalculan cada año (responsabilidad del supervisor de recursos hídricos).









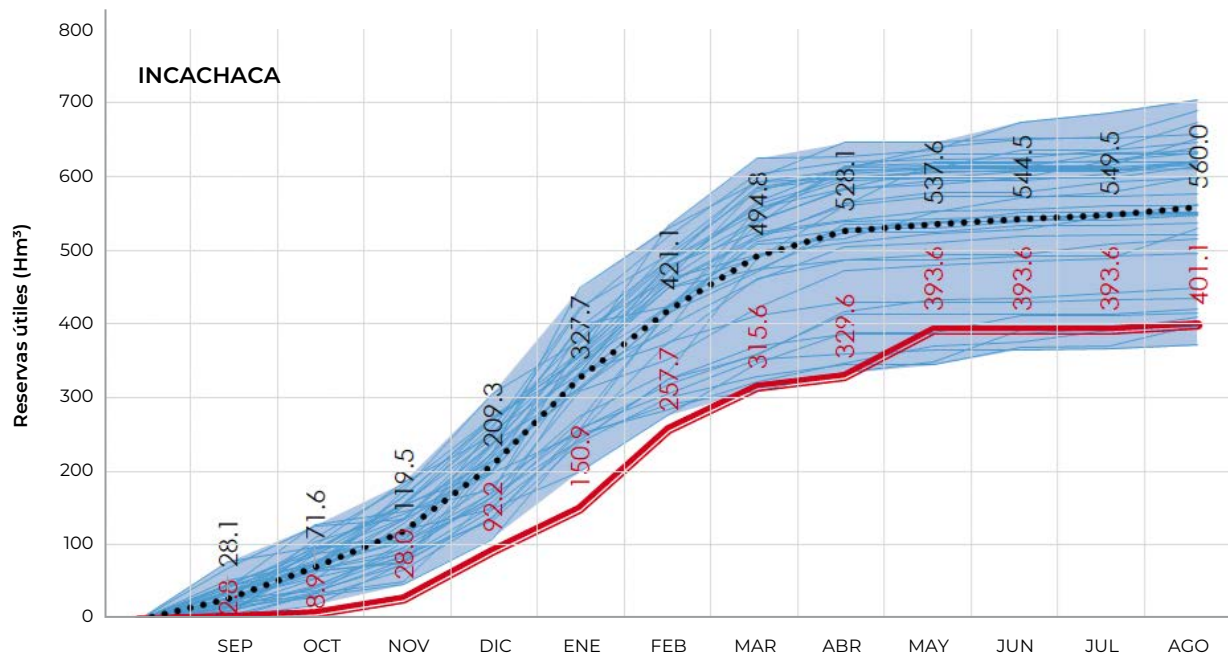


Figura 16. Precipitación mensual del periodo septiembre 2022 a agosto 2023 en las subcuencas reguladas en comparación con el registro histórico⁷. Los gráficos de la parte superior son hietogramas mensuales (mm de precipitación al mes).

En el gráfico de la anterior figura, además de poder comparar mensualmente la precipitación de los 12 meses anteriores a agosto de 2023 con el promedio de la serie histórica (parte superior), también se pueden observar las evoluciones a 12 meses de toda la serie, el promedio y el año en curso, como mecanismos para destacar la excepcionalidad del periodo 2022-23 (línea roja).

Además de las acciones propias de carácter mensual o semanal comentadas, a finalizar el mes de mayo se realiza una prognosis de la posible evolución de las reservas para el resto del año, entendiendo que el **mes de mayo** representa el momento cuando finaliza la temporada de lluvias y, por lo tanto, es muy probable que se dé el máximo nivel de las reservas los embalses.

Esta **prognosis de la evolución de los indicadores de sequía** en cada una de las unidades territoriales de explotación hasta final del año, se realiza a través de los estadísticos registrados durante todo el periodo y son un excelente mecanismo para poder **predecir cuál será la evolución más probable** de nuestras reservas (líneas discontinuas en los gráficos siguientes), **anticipándose a estimar en qué meses pueden cruzarse los umbrales clave de sequía** de los estados de alerta o emergencia que desembocarían en un conjunto de medidas excepcionales como el cambio de consignas de operación de las infraestructuras o la afección al servicio de agua potable a los ciudadanos de los municipios abastecidos por EPSAS.

⁷ En el caso de Tuni, los históricos provienen de registros desde el 1995 y, en el caso en el resto de los embalses, los históricos se basan en registros desde el año 2000. Los estadísticos mensuales que aparecen en los gráficos se recalculan cada año (supervisor de recursos hídricos).

INDICADOR ESCASEZ COYUNTARAL UT OESTE (MILLUNI, TUNI, PAMPALARAMA, CHACALTAYA Y ALPAQUITA)

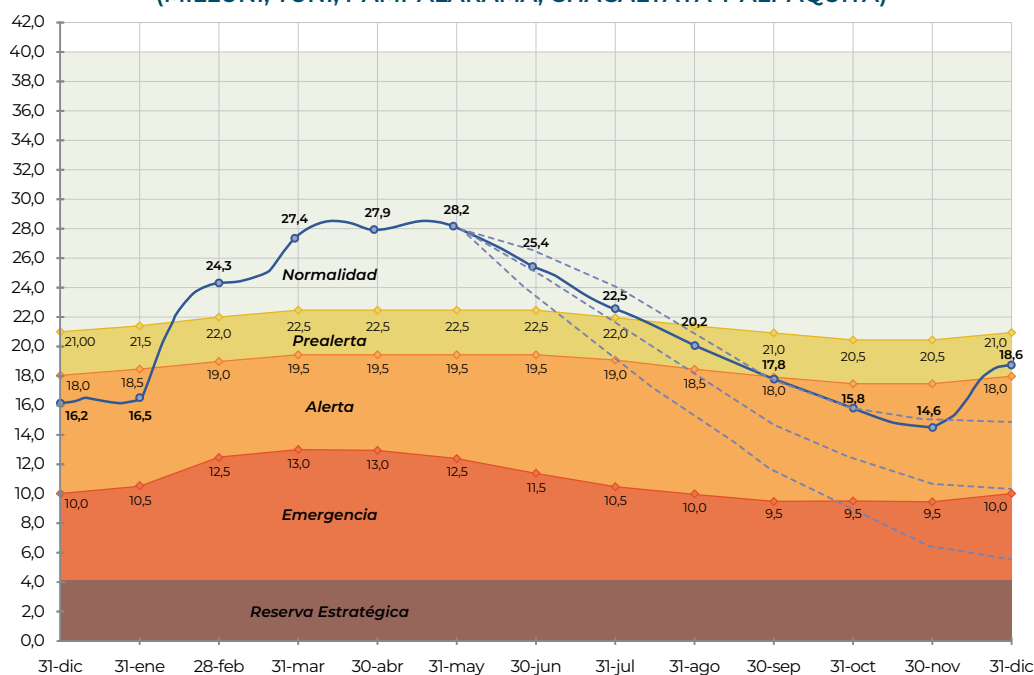


Figura 17. Registro y proyección de evolución del indicador de sequía de la UT Oeste. El registro de datos reales corresponde a la línea continua (dic-22 a nov-23) y las posibles evoluciones estimadas el 31 de mayo-23 hasta dic-23 son las líneas discontinuas (percentiles definidos como seco - normal - húmedo).

INDICADOR ESCASEZ COYUNTARAL UT OESTE (AJUAN KHOTA, HAMPATURI ALTO, HAMPATURI E INCACHACA)

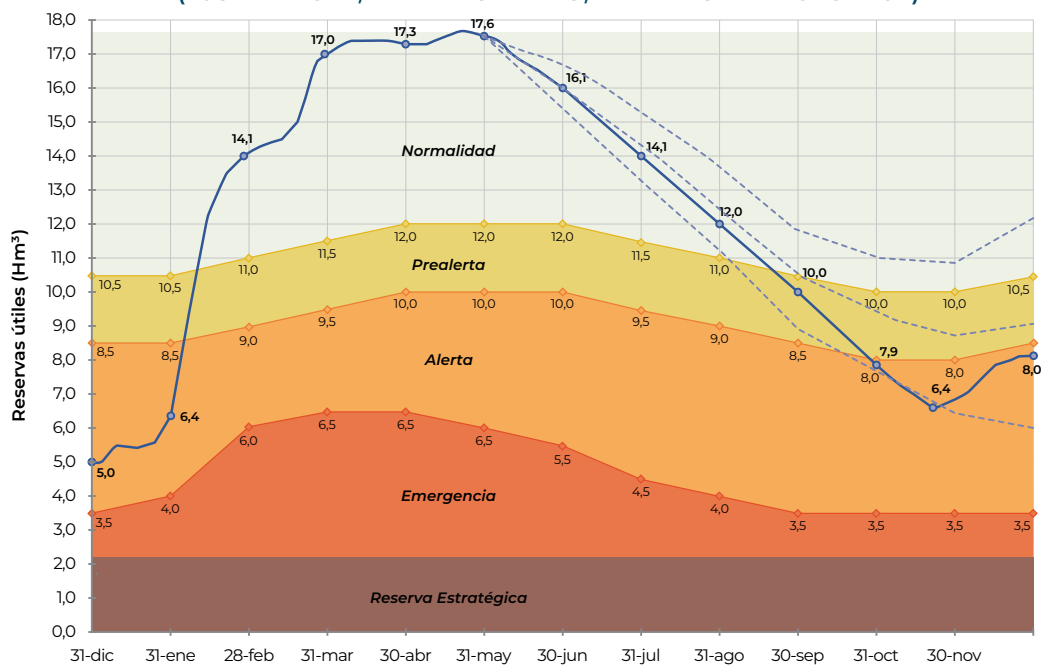


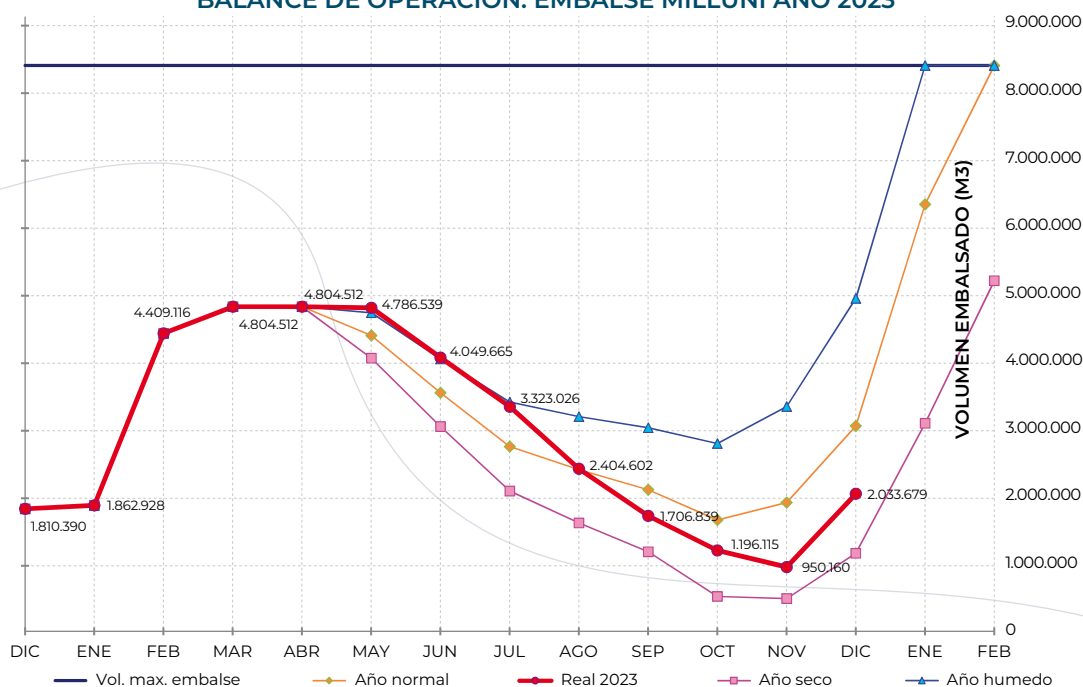
Figura 18. Registro y proyección de evolución del indicador de sequía de la UT Este. El registro de datos reales corresponde a la línea continua (dic-22 a nov-23) y las posibles evoluciones estimadas el 31 de mayo-23 hasta dic-23 son las líneas discontinuas (percentiles definidos como seco - normal - húmedo).

A través de los indicadores y la evolución de estados de sequía previstos, se activan las medidas que están contempladas en el PGS. En los documentos internos de seguimiento se descende a nivel de cada embalse principal o subsistema para establecer pronosis más detallada, se listan las obras complementarias que se van a ejecutar, los cambios de consignas o los estudios que están en curso para dotar a EPSAS de nuevos recursos.

MODELOS DE OPERACIÓN DE EMBALSES A NOVIEMBRE 2023



BALANCE DE OPERACION: EMBALSE MILLUNI AÑO 2023



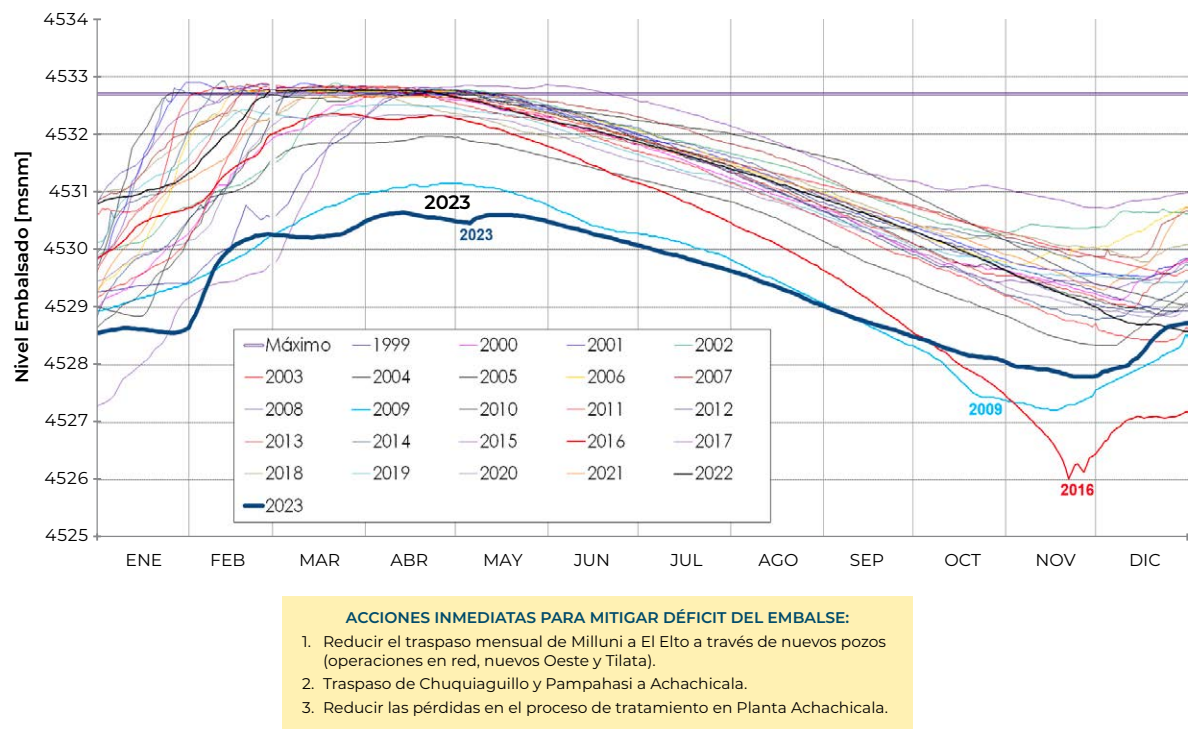


Figura 19. Ejemplo de prognosis detallada de evolución de las reservas para un embalse y listado de acciones contempladas en el PGS que se activan a nivel de operación de la infraestructura.

En la tabla siguiente se presenta el resumen de las comunicaciones e información del seguimiento e implementación del PGS en EPSAS. La frecuencia cambia en función del grado de intensidad del evento, aumentando la comunicación a medida que empeora la situación de las reservas.



Tabla 1. Secuencia de comunicaciones del estado de la sequía según el PGS vigente

Responsable	Acción	Receptor	Frecuencia
Gerente Técnico	Actualización del Plan de Contingencia, incluyendo el PGS, y comunicación a la AAPS	Director Ejecutivo AAPS	Anual o Puntualmente con carácter extraordinario
Gerente Técnico	Comunicación informe de seguimiento de indicadores y estado a la Gerencia General	GG EPSAS	Mensual/ Semanal
Gerente Técnico	Comunicación informe de seguimiento de indicadores y estado a la AAPS	Director Ejecutivo AAPS	Mensual/ Semanal
Gerente General	Comunicación informe de seguimiento de indicadores y estado al MMAyA	Viceministro VAPSB	Mensual/ Semanal
Gerente General	Comunicación informe de seguimiento de indicadores y estado a los municipios afectados (a partir del estado de alerta)	GAM La Paz y El Alto	Mensual
Gerente Técnico	Reunión presencial de seguimiento de acciones y nuevas medidas con la AAPS (a partir del estado de alerta)	Director Ejecutivo AAPS	Mensual/ quincenal

Se han detectado las siguientes posibles mejoras:

- Ampliar el ámbito de comunicación de los informes de seguimiento de indicadores y estado **hacia el Gobierno Autónomo Departamental (GAD) de La Paz**, y los Gobiernos Autónomos Municipales (GAM) de los otros municipios distintos a La Paz y El Alto donde también EPSAS da servicio.
- Generar y publicar información específicamente elaborada para la ciudadanía o clientes específicos.

3.2.3. Gobierno del PGS

Si bien se ha definido un **Comité Permanente** para el seguimiento de la sequía, como consta en el PGS del 2018, este órgano se ha personalizado a la realidad local. El gobierno del PGS se realiza a través del relacionamiento continuo entre la Gerencia Técnica de EPSAS y el regulador AAPS que garantiza este seguimiento permanente del estado de los recursos hacia un nivel de fiscalización superior al prestador del servicio. En ese entorno se analizan el pronóstico de entrada en situaciones sequía, la declaración de estados y activación de medidas, el seguimiento del impacto de las acciones emprendidas, la modificación de acciones o la incorporación de nuevas medidas de emergencia, así como el traslado de todas estas informaciones a los GAM y al MMAyA, responsable último de informar a la población y al Ejecutivo del estado de situación.

A nivel operativo, aunque el MOF de EPSAS no nombra al PGS, sí hay múltiples gerencias y departamentos que integran obligaciones que se derivan de redactar, actualizar, implementar

medidas, operar consignas sobre la oferta y las infraestructuras, gestionar la demanda o dar visibilidad de la evolución del plan a terceros. Adecuando el seguimiento de la sequía a la estructura de gobierno de la empresa, la Gerencia General ha incluido en las **reuniones periódicas del Comité de Gerentes** y departamentos adscritos a la GG tratar sistemáticamente, incluso como único punto del orden del día, los temas del seguimiento y gestión de la sequía, asistidos por los informes generados en los procesos de trabajo del PGS. Estas reuniones son registradas mediante actas, donde constan los acuerdos alcanzados, los compromisos presupuestarios, estudios aprobados o responsables y consignas que se van a aplicar en materia de producción de agua, operación de la red y servicio al cliente o comunicación y transparencia de la entidad.

Un posible punto de mejora podría ser promover una pronta revisión del MOF de la empresa, incorporando estos procedimientos, documentos y reuniones, así como establecer otras reuniones sistemáticas y exclusivas de seguimiento del PGS con entidades externas a EPSAS, más allá del envío de la información, cerrando así las expectativas del CPS descrito en el plan.

3.2.4 Información y seguimiento técnico

La solución que EPSAS ha dado para el **Observatorio de Sequía** que contempla el PGS de 2018, ha sido un sistema de seguimiento interno apoyado por la Unidad Centro de Control de Recursos Hídricos adscrita a la Gerencia Técnica. La estrategia de seguimiento de indicadores y declaración de estado ha sido interna, a nivel de las instituciones involucradas en el flujo y toma de decisiones. Los datos de evolución de estado hidrológico o cambios de intensidad de la sequía, no se publican en una página web específica. A través de reuniones y comunicados directos, la Gerencia Técnica da visibilidad de la situación de forma personalizada tanto a las **comunidades vecinales** que pueden ver afectado su servicio de suministro de agua potable, como las **comunidades del altiplano** con las que tiene acuerdos para compartir el recurso hídrico en las cuencas reguladas, además de informar a las instituciones que formarían parte del CPS.

Las campañas de información a la ciudadanía se hacen a través de **mensajes en las redes sociales**, especialmente en la plataforma Facebook, donde el Departamento de Comunicación y Relaciones Públicas publica los datos de los embalses de forma no permanente, a partir de los informes preparados por el supervisor de recursos hídricos de la Gerencia Técnica. Cuando la sequía se intensifica, las tablas de niveles de recursos en cada embalse se publican dos o tres veces por semana, incrementándose también la afluencia de mensajes sobre ahorro y uso suficiente del agua en las publicaciones del perfil EPSAS de Facebook, mientras que en los casos más intensos de sequía se han realizado campañas por radio y televisión. Se considera que los mensajes son normalmente de perfil bajo, evitando trasladar situaciones de alarma y recordando un cambio en la cultura del uso del agua.

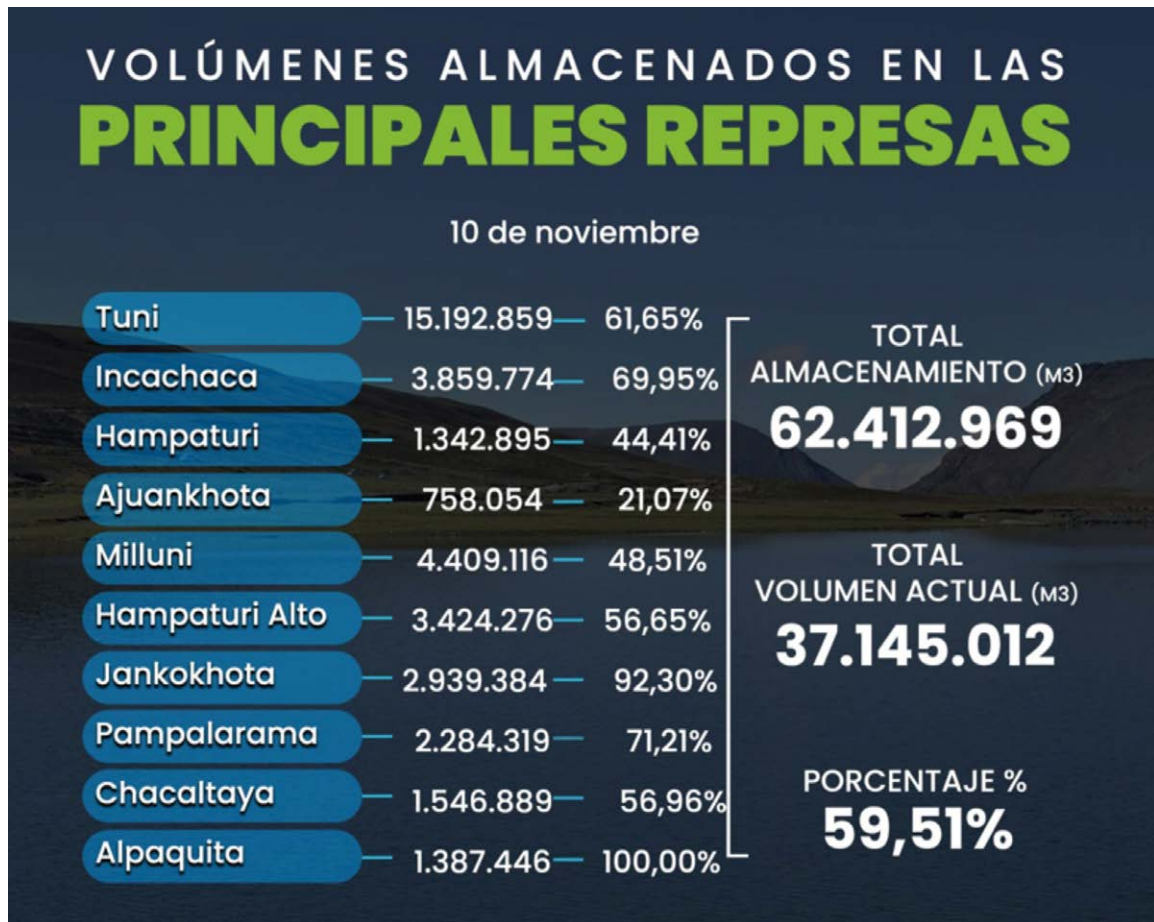


Figura 20. Ejemplo de tabla de estado de reservas en los embalses del sistema publicada en la cuenta de la entidad en la plataforma Facebook.

El seguimiento pormenorizado del alcance y la frecuencia de las campañas de comunicación, así como el registro del momento en que se producen, podría incorporarse en sucesivas revisiones del PGS para medir directamente su impacto en el ahorro y contracción del consumo. A su vez el consumo es una variable que se controla desde la Gerencia de Operaciones, lo que representará un nuevo ejercicio de coordinación interna.

La filosofía de un Observatorio de Sequías es aglutinar toda la información que describe el evento y su evolución, tanto desde el punto de vista de los recursos hídricos como desde el punto de vista de la operación, aunque los datos provengan de gerencias y departamentos distintos. La Unidad Centro de Control de Recursos Hídricos está llamada a ser el lugar de encuentro de toda esta información y el responsable de elaborar informes y cuadros de mando que faciliten la toma de decisiones al Comité de Gerentes y otras instancias superiores fuera de EPSAS.

3.3. Resultados del PGS desde 2018

3.3.1. Diferencias entre la sequía 2016-2017 y la sequía 2022-2023

Los dos últimos grandes episodios de sequía que ha experimentado el sistema de EPSAS La Paz y El Alto han tenido un impacto muy distinto en la población. En términos estrictamente meteorológicos, es decir, disminución drástica de la lluvia acumulada, se puede constatar que **la sequía 2022-23 fue mucho más intensa y larga que la del 2016-17**. No obstante, el último episodio de 2022-23 no ha generado restricciones ni cortes de suministro y, por supuesto, no ha trascendido como ninguna catástrofe para el abastecimiento de la conurbación, si bien los medios recogieron el alto impacto en cultivos y ganadería, en algunos lugares con niveles devastadores. La propia EPSAS, a través de su indicador de sequía prolongada definido en el PGS de 2018, lo registró y los resultados sobre la intensidad del episodio son muy esclarecedores en las siguientes figuras.

Para determinar los ciclos secos, desde la aprobación del PGS, se calcula el **Índice de Sequía Prolongada (SP)**, que se construye a través de los registros históricos de una selección de estaciones pluviométricas de las cuencas aportantes en cada Unidad Territorial. En el PGS se le ha considerado como el **indicador secundario**, ya que la precipitación, si bien explica preventivamente o como análisis retrospectivo el efecto hidrológico de reducción ulterior de aportes en los ríos y masas de agua, en general, no establece una relación directa con la demanda servida desde ese recurso o fuente. En concreto, el indicador toma la lluvia registrada en periodos acumulativos de 3 meses en lugar del dato directo de la medición, acorde con la rapidez e inercia del fenómeno. A partir de estos valores, para cada variable se han obtenido los umbrales a partir de los percentiles de la serie completa de datos y se ha realizado el reescalado o normalización entre 0 y 1. La precipitación de cada pluviómetro utilizado se pondera en función representatividad de cada uno de ellos en la cuenca. El umbral de corte para definir una sequía como prolongada o severa se estableció en 0,3 (valores inferiores al 30% de la serie).

En el caso de la **UT Este**, la composición se realiza con los pluviómetros de Hampaturi e Incachaca, con una serie histórica desde enero de 1980 (43 años de datos). En la figura siguiente se puede apreciar que el indicador alcanzó valores menores al episodio de 2016-17, incluso de 0 en esta última sequía. La media móvil a 12 meses (línea roja) nos da una idea de la inercia de la hidrología de varios meses, incluso superando el año al tratarse ya de un índice de lluvia acumulada a 3 meses. **La última sequía es la segunda peor desde 1980, solamente superada por la de 1996-97**, momento en que las consecuencias sobre el servicio no eran las mismas porque no existía el nivel de población ni la presión del uso de agua que hay actualmente.

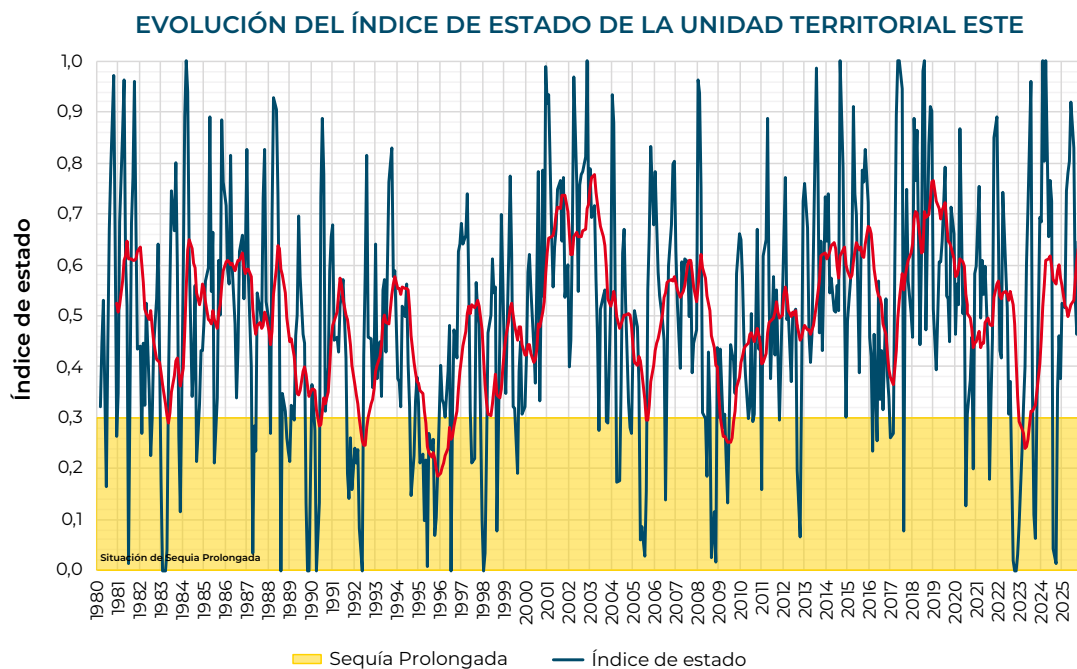


Figura 21. Evolución del índice de sequía prolongada de la UT Este. La línea roja representa la media móvil del indicador a 12 meses.

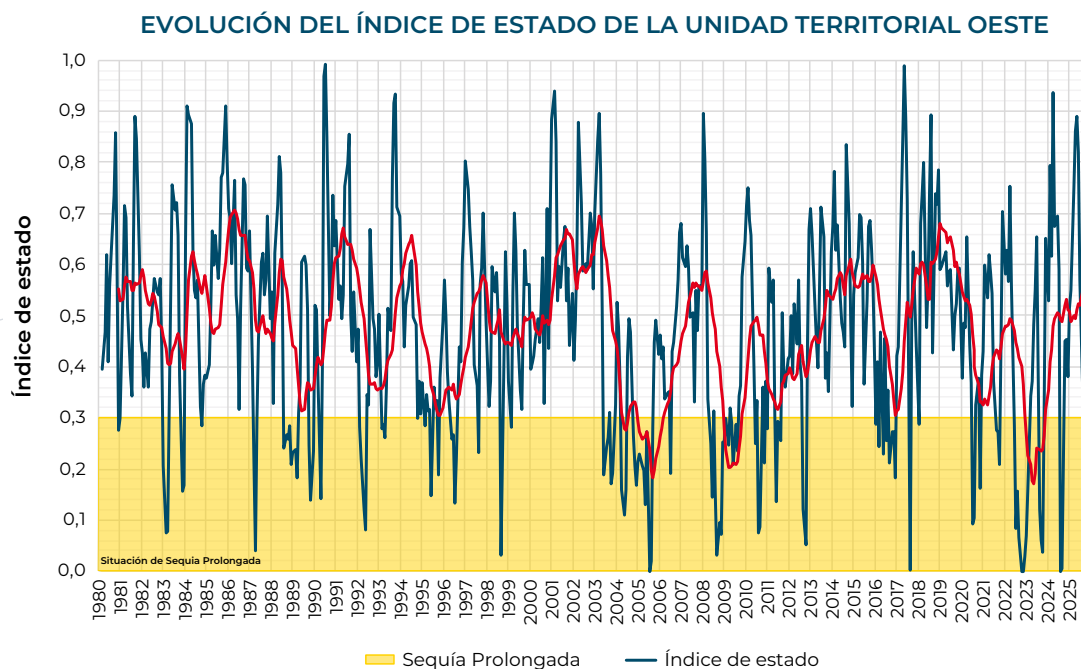


Figura 22. Evolución del índice de sequía prolongada de la UT Oeste. La línea roja representa la media móvil del indicador a 12 meses.

Como quedó demostrado en la redacción del PGS, las subcuencas que conforman cada unidad de explotación, si bien presentan las mismas tendencias de precipitación, no siempre tienen episodios de sequía extrema síncronos, sino que las dinámicas locales de vientos y estructura topográfica hacen que se comporten de forma diferente. Así, en el caso de la **UT Oeste**, el indicador de sequía prolongada vuelve a demostrar que el **episodio 2022-23 fue mucho peor que el anterior de 2016**, con una precipitación menor y que, además en este caso, se convierte en el peor episodio de la serie desde 1980 como se puede apreciar en la media móvil (línea roja).

3.3.2. Efecto de PGS en la gestión de la sequía 2022-2023

La medición de los efectos de la sequía sobre una demanda en riesgo de no ser atendida debe hacerse a través de un indicador que relacione, de la forma más directa posible, la demanda con su fuente de suministro. Por ello, el PGS establece como **indicador primario** el denominado **índice de escasez coyuntural**, definido para cada UT y basado en la suma de reservas totales a final de mes del sistema de embalses, en aquellos que disponen de lectura mensual de las cuencas de aportación de los sistemas que engloba la UT. El tratamiento de las variables se realiza al valor acumulado de estas, dando así el mismo peso a las variables dentro del indicador, y sobre este se fijan los umbrales sin necesidad de reescalado, obteniendo el indicador que caracterice la escasez coyuntural en cada UT. De esta forma, el índice de escasez coyuntural es un volumen medido en hm^3 . En el momento de redacción del PGS, el indicador se construyó así:

- Para la **UT Este** es la suma de los **volúmenes de las presas Ajuan Khota, Hampaturi, Incachaca**. Además se añadió el volumen de **Hampaturi Alto** ($+6 \text{ hm}^3$ de volumen útil estimado), presa de reciente construcción en pleno proceso de carga durante el 2018, año de redacción del PGS.
- Para la **UT Oeste** son las reservas de **Milluni, Tuni** y la suma de los reservorios del río **Kaluyo, Pampalarama, Chacaltaya y Alpaquita**, tres presas en construcción en el momento de redacción del PGS, pero de las que se disponía del proyecto para determinar las cuencas drenantes (simulación de aportes históricos) y sus capacidades útiles previstas ($+7 \text{ hm}^3$ de volumen útil total estimado).

De igual manera, **la simulación numérica que obtuvo los umbrales de estos indicadores tuvo en cuenta la nueva infraestructura (presas), es decir, simuló la serie completa de aportaciones históricas con las infraestructuras y demandas previstas para el 2019** (las del momento de redacción del PGS y aquellas de inminente entrada en explotación como se ha comentado en los subtítulos del punto 2). Por tanto, al definir los umbrales de cada estado hidrológico, pre-alerta, alerta, emergencia y reserva estratégica, ya se estaban teniendo en cuenta la capacidad de regulación de todas las presas que hoy día están en operación.

Para poner en contexto el efecto del PGS hay que destacar 2 aspectos importantes:

- El **PGS se aprueba a finales de 2018**, por tanto, el **indicador de escasez coyuntural** no comienza a determinarse hasta el 2019 (algunos meses antes a modo de prueba). No obstante, debido a la simplicidad de su cálculo basado en volúmenes mensuales de presas con amplio registro histórico, se puede calcular retrospectivamente, es decir, puede determinarse cuál hubiese sido su valor en el pasado y más concretamente en el episodio 2016-17. En las figuras siguientes puede verse una recreación de esa evolución para cada UT desde enero del 2015.
- Como ya se ha indicado, en **enero de 2018** se da por iniciado el llenado de la nueva presa de **Hampaturi Alto en la UT Este**, mientras que las **presas del río Kaluyo en la UT Oeste** comenzaron su llenado un año más tarde, entrando en servicio **a lo largo del 2019**. Por tanto, el cálculo que hiciésemos de los indicadores de escasez prolongada de ambas UT no sería congruente antes y después de esas fechas. De ahí que se haya calculado un valor alternativo del indicador sin las presas que entraron en servicio después de la sequía del 2016-17. En las figuras 23 y 24 pueden distinguirse ambas evoluciones del indicador, según se calcule con o sin las presas nuevas.

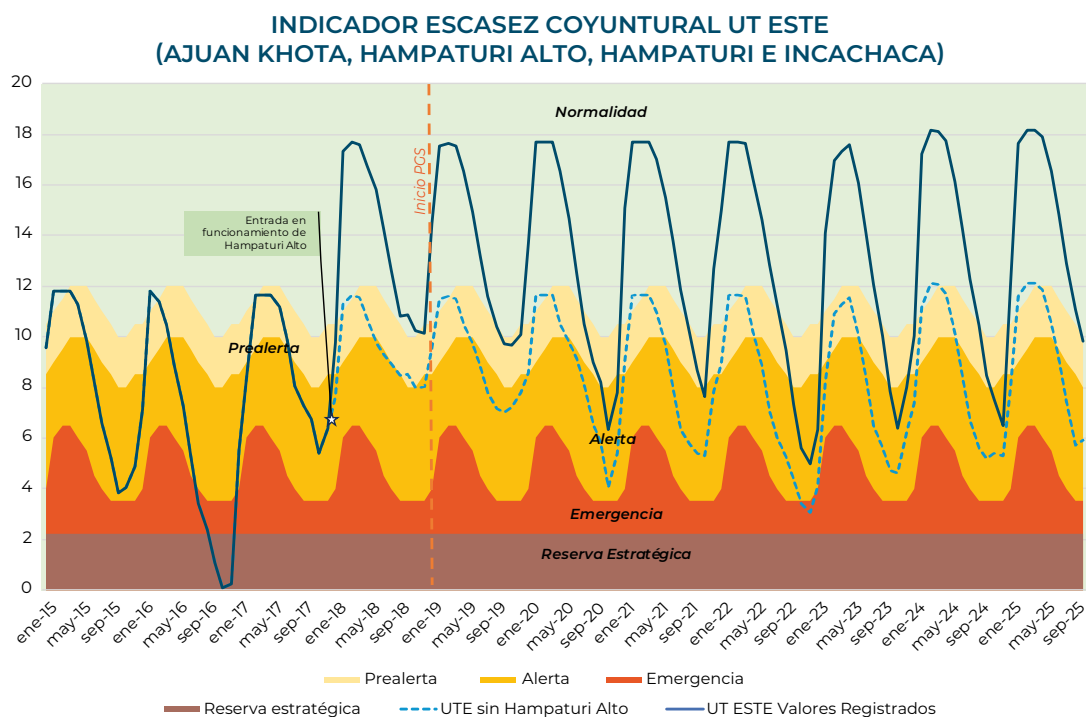


Figura 23. Evolución del índice de escasez coyuntural de la UT Este. La línea punteada es la alternativa a calcular el indicador sin el nuevo embalse de Hampaturi Alto, incluso después de su entrada en servicio.



UT Este. En la figura 23, la línea punteada en azul es una propuesta de cálculo del indicador como si nunca hubiese entrado en servicio Hampaturi Alto, es decir, homogeneiza la situación en todo el periodo de representación, desde 2015 hasta acabar 2023. Las diferencias de comportamiento de esta **variable antes y después del inicio de 2019** solamente cambian por las diferencias de aportaciones que hayan recibido los embalses y por la gestión que se haya hecho en la regulación y distribución del agua en el conjunto del sistema. La **entrada en funcionamiento del PGS**, a inicios de 2019, representa el establecimiento de una regla de operación pautada y definida a todo detalle en cuanto a cómo se distribuye el agua a producir en cada unidad territorial y la movilización del agua cruda entre subcuencas y plantas de potabilización, incluso a cómo debe segmentarse la prioridad de llenado de presas en cascada que existen en varios subsistemas. Por tanto, no hay lugar a la improvisación o la duda, y el protocolo establecido en el PGS ha definido cada número, umbral o volumen a partir del aprendizaje de haber sometido el sistema actual de infraestructuras y demanda a la simulación de las aportaciones históricas, entre las que se contaban episodios hidrometeorológicos peores a los del 2016-2017.

UT Oeste. En la figura 24 se presenta el gráfico equivalente del indicador de escasez coyuntural y sus particularidades en el cálculo de la variante sin los nuevos volúmenes aportados por las nuevas presas de la cuenca del río Kaluyo. En este caso, ambas líneas azules, sólida y punteada, se superponen desde inicio de 2019 entrado el 2020 donde se puede detectar claramente el efecto de las nuevas presas con los aportes de la temporada de lluvias de 2019-2020. Nuevamente, la diferencia que se establece entre la línea antes del PGS y después del PGS, sin las presas de

Kaluyo, es causada por aportaciones distintas que se dieron cada año y por el criterio de gestión de las presas y el sistema de potabilización en general. Y también en este caso hay que recordar que a partir de la implementación del PGS se establece un protocolo estricto de regulación y distribución que no permite grandes cambios o una gestión libre por parte de los operadores.

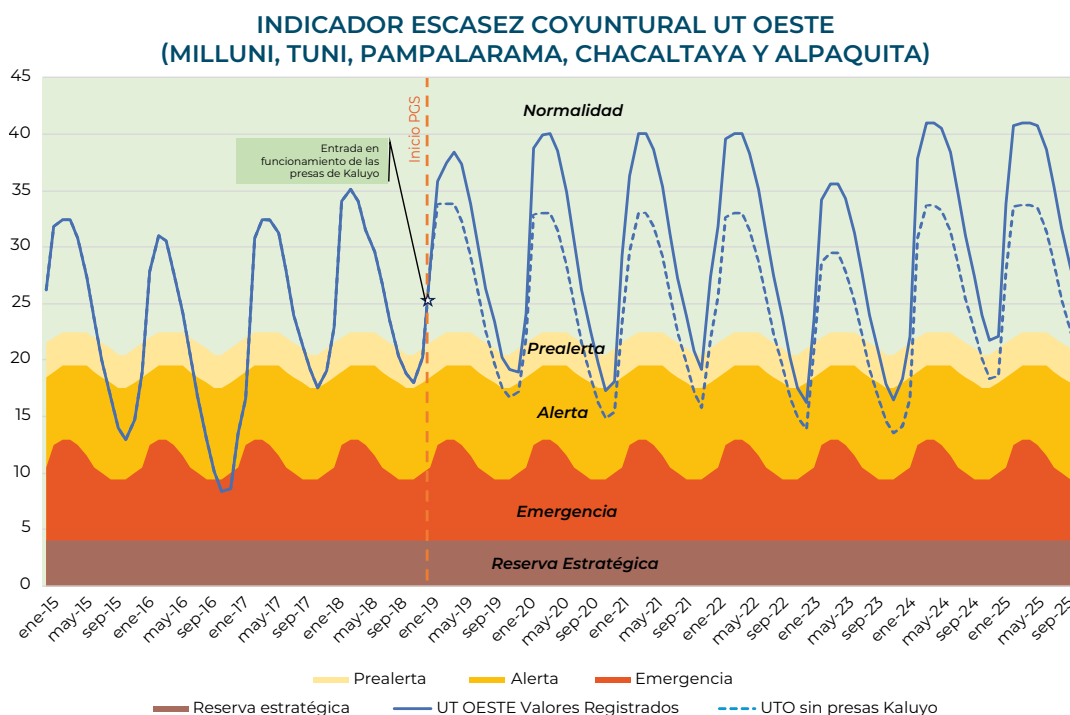


Figura 24. Evolución del índice de escasez coyuntural de la UT Oeste. La línea punteada es la alternativa a calcular el indicador sin los nuevos embalses en la cuenca del río Kaluyo, incluso después de su progresiva entrada en servicio durante el 2019.

Si se superponen estos gráficos al estado de los recursos hídricos a través del **indicador de sequía prolongada** (medida hidrológica indirecta basada en la precipitación acumulada de los pluviómetros de la cuenca de cada UT), podemos **comparar cómo fueron los dos episodios de sequía que se han dado en el periodo 2015-2023**. Como ya se había comentado en el apartado anterior, la sequía 2022-2023 fue más persistente y severa que el episodio 2016-2017, tanto en las cuencas de la UT Este como en las cuencas de la UT Oeste.

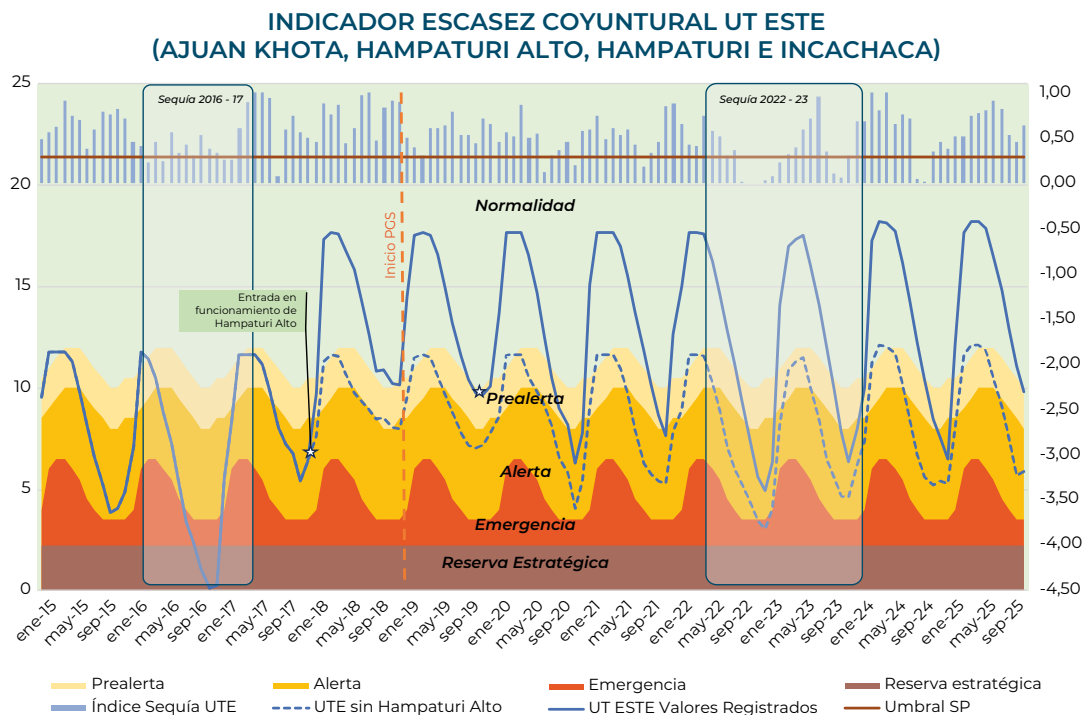


Figura 25. Evolución de los índices de sequía prolongada y escasez coyuntural de la UT Este entre 2015 y 2023. Las áreas sombreadas destacan los eventos de sequía más severos de este periodo.

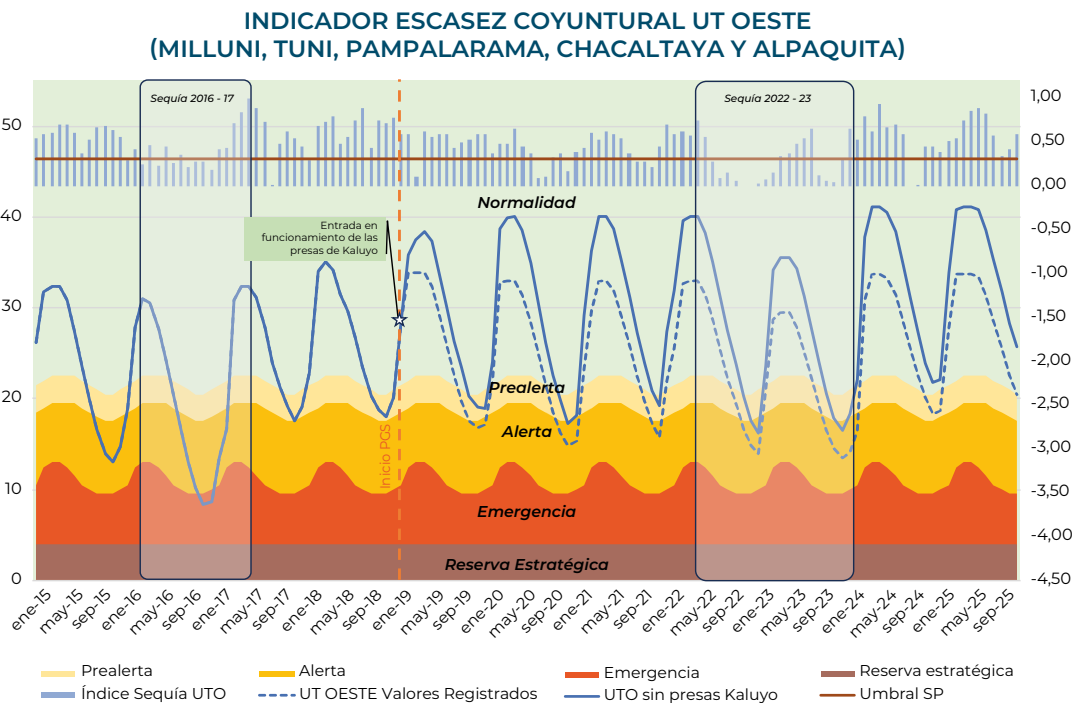


Figura 26. Evolución de los índices de sequía prolongada y escasez coyuntural de la UT Oeste entre 2015 y 2023. Las áreas sombreadas destacan los eventos de sequía más severos de este periodo.

En el siguiente gráfico se adelanta una síntesis de la **evolución de la demanda** satisfecha anualmente por EPSAS, la cual se analiza a detalle en siguientes apartados. El consumo de 2022-2023 fue superior al de 2016-2017, un factor que añadió presión en la gestión de este último evento de escasez. En definitiva, **EPSAS enfrentó el evento más crítico con menos recursos y más consumo**.

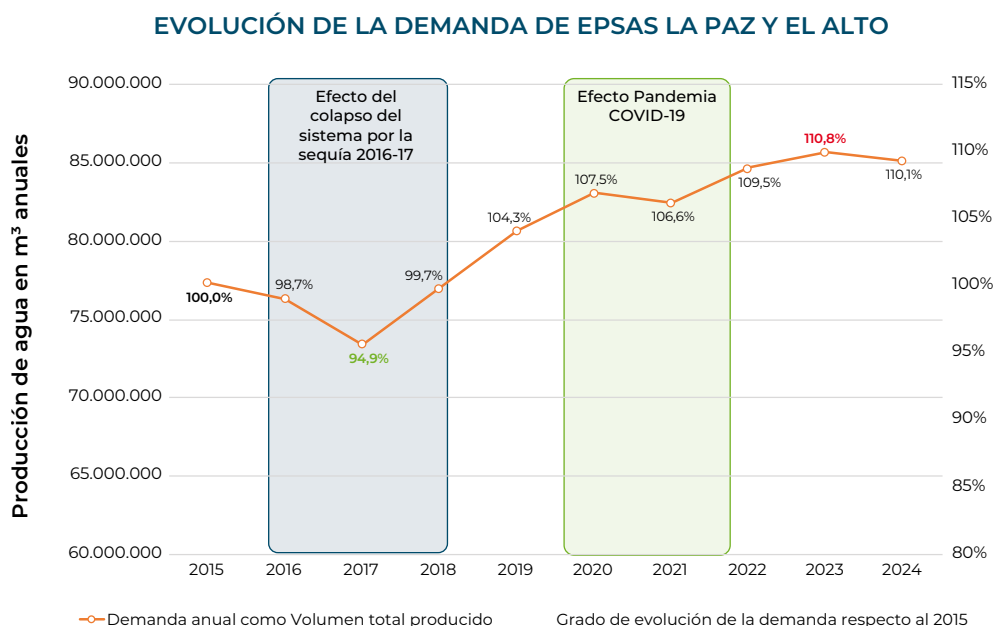


Figura 27. Síntesis de la evolución de la demanda de agua de la red medida como agua producida y entregada por el conjunto de las plantas potabilizadoras de EPSAS. Sobre la línea se destaca el porcentaje de esa demanda anual sobre el valor de referencia que es la demanda de 2015.

Todas las evidencias anteriores permiten concluir que **la sequía 2022-23 fue peor que la sequía inmediatamente anterior 2016-2017** que desencadenó el peor episodio de crisis hídrica (2017) que se recuerda en el país, y:

- **Pese a manifestarse una hidrología más adversa** (especialmente catastrófica en la UT Oeste), **el sistema superó el episodio permaneciendo menos meses en estados intensos de sequía**, lo que evitó aplicar medidas tan drásticas como el racionamiento de 2017.
- En concreto, como se muestra en la tabla 2, la reproducción o cálculo del indicador de escasez coyuntural antes de 2019 nos arroja que en la **UT Este** se llegó a tocar fondo del embalse, es decir 3 meses en la zona de reserva estratégica y 2 más en situación de emergencia según los estados de sequía definidos en el PGS. Entre 2015 y 2018, ambos incluidos, el sistema mayoritariamente hubiese estado en situación de alerta (48%) con las restricciones o sobrecostos inducidos por las medidas propias de ese estado o nivel del PGS. **En el episodio de 2022-23, la**

UT Este no llegó nunca a la emergencia y durante el periodo 2019-23 la mayoría del tiempo estuvo en normalidad (65%)⁸.

- En el caso de la **UT Oeste**, ocurre algo parecido (ver tabla 3). El episodio de sequía se vivió con un descenso muy drástico de las reservas, estando 2 meses en lo que sería clasificado después por el PGS como emergencia y el periodo 2015 hasta finales del 2018 el 40% del tiempo el sistema hubiese estado entre prealerta y alerta. En cambio, **la sequía de 2022-23 no se generó ninguna entrada en situación de emergencia**, y en el periodo desde la entrada en aplicación del PGS, el 77% del tiempo el sistema se ha mantenido en estado de normalidad.

Tabla 2. Para la UT Este, tiempo transcurrido en normalidad o en algún nivel de estado de sequía según los estados del PGS (1) antes (2015-18) y después (2019-2023) de la entrada en vigor del PGS (2) con las nuevas infraestructuras en funcionamiento o (3) simulando la evolución que se hubiese dado sin los nuevos embalses construidos en la emergencia. En rojo se destacan las situaciones críticas de estados de emergencia o reserva estratégica y en negrita el estado mayoritario de permanencia del sistema.

Valor de los indicadores	UT Este					
	(1) Valor calculado anterior al PGS 2015-18		(2) Registro real con PGS 2019-23		(3) Simulación sin embalse Hampaturi Alto 2019-23	
Escasez coyuntural	Nº meses	% del tiempo	Nº meses	% del tiempo	Nº meses	% del tiempo
Normalidad	6	13%	39	65%	8	13%
Prealerta	14	29%	11	18%	16	27%
Alerta	23	48%	10	17%	34	57%
Emergencia	2	4%	0	0%	2	3%
Reserva estratégica	3	6%	0	0%	0	0%
Sequía prolongada	5	10%	11	18%	11	18%

⁸ Aunque la línea de cálculo del indicador es continua, existen cambios infraestructurales que se han comentado en las gráficas precedentes, indicando los momentos de la incorporación de nuevas presas o la entrada en servicio del PGS.

Tabla 3. Para la UT Oeste, tiempo transcurrido en normalidad o en algún nivel de estado de sequía según los estados del PGS (1) antes (2015-18) y después (2019-2023) de la entrada en vigor del PGS (2) con las nuevas infraestructuras en funcionamiento o (3) simulando la evolución que se hubiese dado sin los nuevos embalses construidos en la emergencia. En rojo se destacan las situaciones críticas de estados de emergencia o reserva estratégica y en negrita el estado mayoritario de permanencia del sistema.

Valor de los indicadores	UT Oeste					
	(1) Valor calculado anterior al PGS 2015-18		(2) Registro real con PGS 2019-23		(3) Simulación sin embalses cuenca Kaluyo	
Escasez coyuntural	Nº meses	% de tiempo	Nº meses	% del tiempo	Nº meses	% del tiempo
Normalidad	27	56%	46	77%	39	65%
Prealerta	10	21%	11	18%	7	12%
Alerta	9	19%	3	5%	14	23%
Emergencia	2	4%	0	0%	0	0%
Reserva estratégica	0	0%	0	0%	0	0%
Sequía prolongada	10	21%	19	32%	19	32%

También, a partir de las figuras 25 y 26, si se analiza la evolución del indicador de escasez coyuntural, incluyendo solamente las presas que estaban en servicio en el episodio de 2016-2017 (sin incluir Hampaturi Alto ni las presas del río Kaluyo), siguiendo la evolución del indicador en la línea punteada azul, se puede rehacer el cálculo de los tiempos de permanencia en situaciones de sequía que se propone comparativamente para cada UT en las últimas dos columnas de las tablas 2 y 3.

- Sin las nuevas reservas, en ambas UT, enfrentándose a una situación hidrológica más adversa que en 2016-2017, **aplicando únicamente los procesos de operación planteados en el PGS, el sistema superaría el evento** declarando emergencia 2 meses en la UT Este y ningún mes en la UT Oeste. No hubiese llegado al colapso la UT Este, como sí ocurrió en 2017, y reduciendo su exposición a acciones de emergencia en la UT Oeste.
- El procedimiento de operación definido en **el PGS se manifiesta altamente eficaz ante episodios de sequía severa superiores al vivido en el evento 2016-17** y permite, a través del proceso adaptativo y progresivo de las medidas en función de la intensidad de la sequía, superar la crisis, aunque sea a costa de acciones preventivas en los estadios hidrológicos de prealerta y alerta.

Como se ha concluido de las figuras 25 y 26, donde se permiten diferenciar el efecto de las presas nuevas del efecto de la gestión implementada por el PGS, la gestión por sí misma es eficaz,

pero la pregunta siguiente es: **¿cómo se logró ese efecto de gestión?** En el siguiente apartado se desarrolla un análisis a través de los indicadores definidos para diseccionar el manejo del sistema EPSAS La Paz–El Alto.

3.3.3. Indicadores de impacto del PGS en la operación de EPSAS

Para la valoración objetiva del grado de implementación y uso exitoso de la herramienta, se han definido unos **indicadores de medición del impacto del PGS** en la gestión y servicio de agua potable de EPSAS La Paz y El Alto. Estos indicadores permiten visualizar si realmente el documento ha **inducido una operación de los sistemas distinta a la que hubiera habido de no existir el PGS**. Cada sistema o caso requerirá de una **particularización de los indicadores o variables** que describen su comportamiento ya que las realidades infraestructurales, de recursos y de demanda son distintas. Por tanto, ante un nuevo caso, se deben definir las variables clave que **explican comparativamente su comportamiento** ante una u otra hipótesis. No obstante, como norma general, las variables elegidas deben representar:

- Estado de las reservas o evolución de los recursos: ya sean volúmenes embalsados en las lagunas y presas del sistema, caudales fluyentes en ríos o niveles piezométricos del acuífero que se esté explotando. Incluso se podría llegar a valorar a través de una variable función de la precipitación acumulada, a falta de parámetros hidrológicos directos.
- Demanda satisfecha entendida siempre como el agua producida entregada a la red. Deberán diferenciarse los diferentes centros de producción si estos no son una única planta, para ver la estructura o mix de distribución de agua en función de las fuentes disponibles en cada momento.
- Ratios con el peso de cada una de las fuentes en la estructura de la demanda satisfecha en cada momento.
- Indicadores de sequía o escasez propiamente definidos en cada subsistema, que serán las variables del seguimiento de cambios de estado.
- Estadísticos de permanencia de los subsistemas en cada uno de los estados de sequía (meses en cada nivel).
- En el caso de existir algún tipo de pronóstico hacia futuro, definir alguna variable que mida el grado de acierto como por ejemplo la diferencia entre la reserva esperada en el futuro cercano con respecto al valor que finalmente se registró para ese momento.
- Variable del agua no contabilizada (ANC) del conjunto o de cada subsistema.

- Registro de los costos adicionales derivados de la intensificación de la gestión durante los eventos de sequía, identificando orígenes si es posible para diferenciar ~~disfrutar~~ entre inversiones y sobrecostos de operación.

Los indicadores son los que se presentan a continuación y, más adelante, se incluye una serie de gráficos donde puede medirse comparativamente el efecto del uso del PGS, especialmente en la gestión de la última sequía 2022-2023. Los indicadores están agrupados por la evolución de las capacidades de generación del recurso, datos que caracterizan la amenaza de la sequía en cada una de las dos unidades territoriales de operación (UT), y aquellos que caracterizan la gestión realizada entre la oferta y la demanda.

Tabla 4. Propuesta de indicadores de medición del impacto de la implementación y uso del PGS

Indicador de impacto	Descripción y unidad de medida
Capacidad de las presas	Suma de los volúmenes útiles totales de los reservorios, incluyendo los volúmenes extraíbles mediante bombeo en m ³ o hm ³
Nº de pozos operativos	Número de pozos operativos cada año (debe tener un reflejo en el valor de inversiones para hacer frente a sequías)
Capacidad pozos	Suma de los volúmenes máximos anuales extraíbles vía todos los campos de pozos operativos cada año en m ³ o hm ³
Capacidad máxima trasvase Huayllara-Estellani	Suma del volumen máximo o potencial anual impulsable hasta Estrellani en m ³ o hm ³ con las limitaciones estacionales
Grado de permeabilidad en alta UTE-UTO	Suma de los volúmenes máximos diarios o capacidades de transferencia entre las dos unidades territoriales de explotación a través de las conexiones previas a las PTAP en m ³ o hm ³
Grado de permeabilidad en baja UTE-UTO	Suma de los volúmenes máximos diarios o capacidades de transferencia entre las dos unidades territoriales de explotación a través de las conexiones entre redes de distribución en m ³ o hm ³
Precipitación anual cabecera en cada UT	Precipitación total anual acontecida en la cabecera de las cuencas de una UT en mm como promedio o ponderación de los pluviómetros utilizados
Valor mínimo del indicador global de sequía prolongada en cada UT	Valor mínimo mensual del indicador global de sequías registrado a lo largo del año en la UT
Valor mínimo del indicador escasez coyuntural por UT	Valor mínimo mensual del indicador de escasez coyuntural registrado a lo largo del año en la UT en hm ³
Valor a 31/12 del indicador de escasez coyuntural por UT	Valor al final del año del indicador de escasez coyuntural en la UT en hm ³
Porcentaje de reservas a 31/12 en los embalses de cada UT	Ratio en el cierre del año de las reservas embalsada en el conjunto de las presas de la UT respecto a su capacidad máxima (%)
Valor estimado a 01/04 del indicador de escasez para fin de año en cada UT	Valor que se prevé alcance para fin de año del indicador de escasez coyuntural de la UT en la evolución más probable que se analiza cada año a inicios de abril, en hm ³

N° meses en normalidad en cada UT	Meses de ese año donde el valor del indicador de escasez coyuntural de la UT se encuentra en el rango de normalidad
N° meses en prealerta en cada UT	Meses de ese año donde el valor del indicador de escasez coyuntural de la UT se encuentra en el rango de prealerta
N° meses en alerta en cada UT	Meses de ese año donde el valor del indicador de escasez coyuntural de la UT se encuentra en el rango de alerta
N° meses en emergencia en cada UT	Meses de ese año donde el valor del indicador de escasez coyuntural de la UT se encuentra en el rango de emergencia
Volumen anual aportado por los embalses UT	Volumen anual total neto desembalsado por las presas de una UT en m ³ o hm ³
Volumen anual aportado pozos Líneas A, B y C	Volumen anual aportado por la suma de todos los pozos de las líneas A, B y C en m ³ o hm ³ (agua aportada a PTAP Tilata)
Volumen anual aportado pozos Línea SF	Volumen anual aportado por la suma de todos los pozos de la línea San Felipe en m ³ o hm ³
Volumen anual aportado pozos Línea Oeste	Volumen anual aportado por la suma de todos los pozos de la Línea Oeste en m ³ o hm ³
Volumen anual del trasvase a Huayllara-Estellani	Volumen total anual trasvasado de Huayllara a la laguna Estrellani en m ³ o hm ³ (este volumen se encuentra incluido en el agua portada desde los embalses)
Volumen anual de agua embalses extraído mediante bombeo	Volumen anual aportado como suma de todos los bombeos de final de carrera de los embalses en m ³ o hm ³ (este V se encuentra incluido en el agua portada desde los embalses)
Volumen anual de otras fuentes	Volumen anual suma aportado por otras fuentes si las hubiese en m ³ o hm ³
Volumen total neto anual disponible	Volumen total despachado en el año para PTAP, en m ³ o hm ³ , y debe coincidir o ser muy parecido a la demanda total servida desde PTAP.
Fracción de volumen anual de agua superficial UT	Ratio de agua despachada proveniente de los recursos superficiales de una UT (%)
Fracción de volumen anual de agua subterránea	Ratio de agua despachada proveniente de los recursos subterráneos (suma de todas las líneas de pozos) (%)
Costo anual de producción del mix global	Costos anuales de insumos químicos, energía (y personal) para la producción de agua en su conjunto (mix global) en Bs./
Costos anuales adicionales por sequía	Costos anuales complementarios de operación asignables a sequía (por ejemplo, compensaciones) en Bs.
Inversiones anuales específicas para hacer frente a sequías	Costos anuales de obras o actuaciones asignables a sequía y destinadas a proveer de mayor infraestructura o capacidades a la producción de agua, transporte, o distribución en Bs.
Demanda anual como volumen total producido	Suma de las producciones anuales de agua potable en el conjunto de las PTAP y entregado al conjunto de las redes en m ³ o hm ³

Grado de evolución de la demanda respecto al 2019	Ratio de la demanda anual respecto a la del 2019 (%). En 2019 es 100%
Producción anual PTAP ChuquiagUILlo	Volumen de agua anual producida por la PTAP de ChuquiagUILlo en m ³ o hm ³
Producción anual PTAP Pampahasi	Volumen de agua anual producida por la PTAP de Pampahasi en m ³ o hm ³
Producción anual PTAP Achachicala	Volumen de agua anual producida por la PTAP de Achachicala en m ³ o hm ³
Producción anual PTAP El Alto	Volumen de agua anual producida por la PTAP de El Alto en m ³ o hm ³
Producción anual PTAP Tilata	Volumen de agua anual producida por la PTAP de Tilata en m ³ o hm ³
Producción anual PTAP pozos línea SF	Volumen de agua anual producida inyectados desde los pozos SF en m ³ o hm ³ , coincide con Volumen anual aportado pozos Línea SF
Producción Anual PTAP Pozos Línea Oeste	Volumen de agua anual producida inyectados desde los pozos línea Oeste en m ³ o hm ³ , coincide con Volumen anual aportado pozos Línea Oeste
N° de campañas de sensibilización del ahorro y/o sequía en redes	Contabilizar acciones en redes sociales (esp. Facebook) destinadas a la sensibilización ciudadana en el ahorro o comunicando la situación de sequía
N° de campañas de sensibilización del ahorro y/o sequía en TV + Radio	Contabilizar acciones en TV o radio destinadas a la sensibilización ciudadana en el ahorro o comunicando la situación de sequía
Ratio de agua total no facturada (ANF)	Porcentaje de agua no facturada respecto a la total producida anual (%) como medida indirecta de la eficiencia
Fracción servida desde PTAP de cada UT	Ratio de la demanda total servido desde las plantas de una UT (%)

Los valores de los indicadores se han recogido entre 2018 y 2025⁹ (periodo transcurrido desde la aprobación del PGS) y han sido facilitados por la Gerencia Técnica de EPSAS. No obstante, los cálculos y las representaciones gráficas se toman hasta el año completo, es decir, hasta el 2024.

9 Este informe se cerró en octubre de 2025.

Tabla 5. Valores de los indicadores de medición del impacto de la implementación y uso del PGS.

Categorías	Indicador de impacto	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
EVOLUCIÓN DE CAPACIDADES	Población servida (estimada)	1.539.819	1.609.035	1.656.073	1.524.414	1.564.954	1.636.621	1.682.581
	56.366.214	60.938.934	60.938.934	60.938.934	60.938.934	60.938.934	62.369.362	
		53	55	59	65	69	72	
	12.015.662	12.385.223	12.589.922	13.084.313	13.843.133	17.258.926	16.863.565	
REGISTRO DE LA AMENAZA	200	200	200	200	200	200	200	
	Precipitación anual cabecera UTE	727	570	571	651	411	540	600,3
	Valor mínimo del indicador global de sequía prolongada UTE	0,43	0,39	0,13	0,17	0,00	0,06	0,01
	Valor mínimo del indicador escasez coyuntural UTE	--	9,47	5,91	7,59	4,96	6,40	6,51
	Valor a 31/12 del indicador escasez coyuntural UTE	--	10,06	7,78	12,70	5,00	9,13	6,51
	Porcentaje de reservas a 31/12 en los embalses de la UTE	--	56,9%	44,0%	71,8%	28,3%	45,2%	84,9%
	Valor previsto a 01/04 del indicador de escasez para fin de año UTE	--	--	--	--	5,70	6,02	6,10
	N° meses en normalidad UTE	--	8	7	9	8	7	7
	N° meses en prealerta UTE	--	4	3	2	1	1	3
	N° meses en alerta UTE	--	0	2	1	3	4	2
	N° meses en emergencia UTE	--	0	0	0	0	0	0

REGISTRO DE LA CESTIÓN	UTO	OFERTA										
		Precipitación anual cabecera UTO	666	626	546	644	438	557	648			
		Valor mínimo del indicador global de sequía prolongada UTO	0,19	0,40	0,10	0,29	0,00	0,04	0,00			
		Valor mínimo del indicador escasez coyuntural UTO	--	18,87	16,62	19,16	16,19	14,60	18,89			
		Valor a 31/12 del indicador escasez coyuntural UTO	--	18,90	18,14	27,40	16,20	18,60	22,10			
		Porcentaje de reservas a 31/12 en los embalses de la UTO	--	47,2%	45,3%	68,4%	40,4%	46,4%	36,9%			
		Valor previsto a 01/04 del indicador de escasez para fin de año UTO	--	--	--	--	16,30	14,89	24,60			
		Nº meses en normalidad UTO	--	9	9	11	9	6	12			
		Nº meses en prealerta UTO	--	3	2	1	2	2	0			
		Nº meses en alerta UTO	--	0	1	0	1	4	0			
		Nº meses en emergencia UTO	--	0	0	0	0	0	0			
		Volumen anual aportado por los embalses UTE	20.306.859	23.920.821	24.638.246	24.785.068	24.150.981	24.069.767	24.863.458			
		Volumen anual aportado por los embalses UTE neto	20.306.859	23.917.186	24.497.937	24.625.519	23.802.855	22.011.148	24.863.458			
		Volumen anual aportado por los embalses UTO	41.988.800	50.547.288	49.878.089	44.697.723	46.726.700	45.126.494	44.122.219			
		Volumen anual aportado pozos Líneas A, B y C	9.959.552	10.133.215	10.736.694	11.027.463	11.518.967	11.788.877	11.445.987			

REGISTRO DE LA GESTIÓN		OFERTA									
Volumen anual aportado pozos Línea SF		2.056.110	1.956.855	1.462.527	1.300.099	1.454.940	2.196.413	1.991.602			
Volumen anual aportado pozos Línea Oeste		0	295.154	390.701	756.751	869.226	1.463.728	1.523.403			
Volumen anual del trasvase a Huayllara-Estrellani		0	3.635	140.309	159.548	348.126	2.058.619	0			
Volumen anual de agua embalses extraído mediante bombeo		0	0	0	0	0	0	0,00			
Volumen anual de todas las fuentes		74.311.320	86.853.332	87.106.257	82.567.103	84.720.814	84.645.279	83.946.668			
Volumen total neto anual disponible		82.117.484	85.978.206	87.986.056	88.562.804	90.922.021	93.845.212	89.163.671			
Fracción de volumen anual de agua superficial UTE		27%	28%	28%	30%	29%	28%	30%			
Fracción de volumen anual de agua superficial UTO		57%	58%	57%	54%	55%	53%	53%			
Fracción de volumen anual de agua subterránea		16%	14%	14%	16%	16%	18%	18%			
Costo anual de producción del mix global		12.822.478	12.467.219	12.523.729	12.603.906	15.004.537	19.441.755	18.137.437			
Costos anuales adicionales por sequía ¹¹					1.375.208	2.038.200	7.740.174	344.865			

10 Costos adicionales de la energía del bombeo desde el río Huayllara a la laguna Estrellani

REGISTRO DE LA GESTIÓN		DEMANDA									
Demanda anual como volumen total producido		77.062.807	80.686.839	83.093.472	82.456.246	84.685.485	85.701.675	85.114.609			
Grado de evolución de la demanda respecto al 2019		99,7%	104%	107%	107%	110%	111%	110%			
Producción anual PTAP ChuquiagUILlo		207.968	2.889.069	4.340.924	4.724.323	4.830.053	5.107.880	5.237.000			
Producción anual PTAP Pampahasi		21.339.145	21.240.956	20.520.760	19.602.720	20.076.532	21.521.837	21.850.050			
Producción anual PTAP Achachicala		13.364.034	12.907.390	12.377.459	12.164.320	12.930.654	11.391.596	10.809.323			
Producción anual PTAP El Alto		30.135.998	31.270.376	33.265.589	32.880.253	33.001.289	32.227.192	32.256.931			
Producción anual PTAP Tilata		9.959.552	10.133.215	10.736.694	11.027.463	11.518.967	11.788.877	11.445.987			
Producción anual PTAP Pozos Línea SF		2.056.110	1.950.679	1.461.345	1.300.416	1.458.764	2.200.564	1.991.915			
Producción anual PTAP Pozos Línea Oeste		0	295.154	390.701	756.751	869.226	1.463.728	1.523.403			
Fracción Servida desde PTAP UTE		28%	30%	30%	30%	29%	31%	32%			
Fracción Servida desde PTAP UTO		72%	70%	70%	70%	71%	69%	68%			

3.3.4. Conclusiones sobre la operación de EPSAS en episodios de sequía

Analizando los datos anteriores, se pueden establecer las siguientes explicaciones y conclusiones sobre la gestión de los recursos hídricos del sistema EPSAS, apoyándose en nuevas figuras (de la 28 a la 33) en las páginas siguientes¹¹:

1. La secuencia hidrológica consecutiva del 2022 y 2023 es la más negativa desde que hay registros directos en EPSAS

La secuencia hidrológica del 2018 al 2023 ha sido muy variada, destacándose dos años con precipitaciones medias (2018 y 2021), dos años con una precipitación ligeramente inferior a la media (2019 y 2020) y dos años muy secos consecutivos, que han sido el 2022 y 2023. Con respecto de los aportes, el 2022-2023 es el peor año en precipitaciones de la serie 1980-2024, superando con mucho a los episodios de 2005, 2009 y, por supuesto, al episodio más reciente y dramático del 2016. El índice de sequía prolongada, que se determina con la media móvil a 3 meses de la lluvia acumulada en las cabeceras de cada UT, entre finales de 2016 e inicios de 2017, se movió en percentiles entre 20 y 30 de la media histórica. Durante 5 meses consecutivos, desde septiembre de 2022 a enero de 2023, los valores fueron entre los percentiles 1 y 9. Una situación que volvió a repetirse entre septiembre y octubre de 2023.

2. La demanda no ha dejado de crecer desde 2018

En la figura 27 se puede apreciar que la demanda, después de un periodo de contención y reducción que se dio consecuentemente a la sequía 2016-2017, **se ha recuperado** hasta los valores anteriores a ese episodio crítico como era de esperar y **ha seguido creciendo ligeramente año tras año**, salvo en 2021 por un efecto acumulado de la pandemia por COVID-19. Ese crecimiento acumulado ha situado la demanda **tanto en 2023 como en la actualidad en un valor del 10% superior a la demanda de 2018** (equivalente a la que se venía satisfaciendo antes de la crisis del 2016).

3. EL PGS modula una regla de operación para usar una u otra fuente de recurso que es sensiblemente diferente en años secos y en normales

Respecto a la **composición del mix de agua** para satisfacer la demanda, según el **origen de las fuentes**, en la figura 28 se observa que cada año cambia, aunque la proporción de agua que proviene de (1) fuentes superficiales en colores azules y celestes, generalmente agua regulada por embalse y (2) fuentes subterráneas en colores verdes, suele ser bastante constante. Los años más secos, se incrementa la proporción de agua subterránea. En color

¹¹ Los siguientes gráficos presentan un 2018 semitransparente por tratarse de un año totalmente afectado por la inercia de la gestión de la sequía 2016-17 y donde todavía no estaba aprobado el PGS, si bien ya se estaban registrando datos. En consecuencia, ese año no se considera representativo de la gestión actual de EPSAS.

anaranjado está representada una tercera fuente (3) el agua del trasvase del río Huayllara a la laguna Estrellani, que si bien es agua superficial que se incorpora al sistema Chuquiaguillo, se trata de un trasvase proveniente de otra cuenca a través de un bombeo que se activa **excepcionalmente**, es decir sólo aplica en sequías severas (2023). Y existe una cuarta tipología de aportes (4) que no se ha tenido que utilizar hasta el momento (la contempla en PGS en estado de emergencia), que es parte del agua superficial de los embalses existentes, pero del final del vaso, fuera del volumen operativo o por debajo de los órganos de desagüe de la infraestructura de captación, que requiere de instalaciones flotantes de bombeo. Además del valor en m³, se superpone el valor porcentual que representa cada fuente. En el caso de las fuentes subterráneas, el porcentaje presentado es la suma de todas las líneas de pozos.

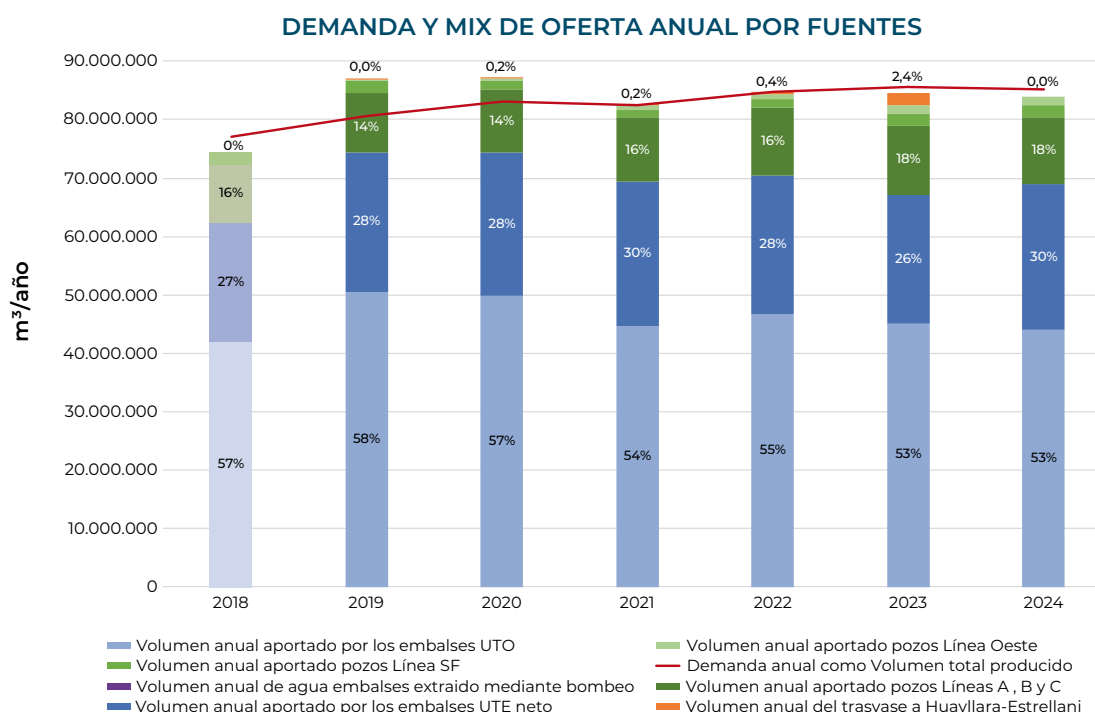


Figura 28. Evolución de la demanda (gráfico de línea) y el mix de fuentes de la oferta (gráfico de barras acumuladas) a nivel anual desde 2018. El porcentaje representado de agua subterránea es suma de todas las líneas de pozos.

Analizando a detalle esta figura, las diferencias de uso de cada fuente pueden determinarse según el estado de sequía.

- En un año ordinario, las **aguas superficiales provenientes de los embalses** pueden estar alrededor de 85% del recurso aportado, como ocurrió desde 2019 a 2021 (suma barras azules), mientras que en 2022 ese valor **descendió** al 83 % y **en el 2023 se situó en 79%**.

- De forma complementaria, en ese mismo periodo, es el agua subterránea la que aumenta su proporcionalidad de un 14% a un 18%, entre otros motivos por la rehabilitación de pozos existentes y la incorporación de nuevas unidades de extracción. Si en el año 2021 se contaba con 59 pozos operativos, en el año 2023 se cuenta con 69, habiéndose potenciado las líneas San Felipe y Oeste.
- El caso del **trasvase de Estrellani**, normalmente con valores o nulos o inferiores al 1% del volumen total de agua disponible, ha pasado al **2,5% durante el año 2023**, superándose el periodo de bombeo ordinario en la época húmeda y prolongándose durante todo el año.

Esta activación de unas fuentes frente a la relajación de otras y el momento en que se aplican son parte del protocolo operación que está establecido en el PGS y ha permitido hacer un cierre de año mejor del que se había previsto a finales de mayo del 2023 si se continuaba operando el sistema de la forma ordinaria o como corresponde en escenario de normalidad, optimizando el uso del recurso.

A través de los datos, y por la propia descripción que han realizado los técnicos de EPSAS, se constata que el **último episodio de extrema sequía**, peor que del 2016 y con mayor demanda, **se ha superado sin afecciones a la demanda, gracias a una combinación de acciones que están previstas en el PGS**, además de la mejora en la gestión eficiente de las aguas no reguladas, como son el incremento del trasvase del río Huayllara hacia la laguna de Estrellani o la intensificación de la explotación de los campos de pozos en el acuífero de Purapurani **para relajar las aguas provenientes de los embalses**.

4. La gestión supereficiente de EPSAS permite ahorros de agua en los embalses cuando hay disponibilidad de agua superficial no regulada.

Hay que destacar que los valores de oferta superan a los de demanda cuando la hidrología de esos años (2019 y 2020) ha permitido desembalsar más agua de la demandada. En cambio, en los años ordinarios o de sequía leve, esa diferencia se anula y prácticamente se utiliza cada gota que sale de los embalses, indicando un **proceso de máxima eficiencia** en la gestión del recurso en alta o a nivel de cuenca. Incluso en casos como del 2023 de extrema sequía, se puede detectar que **la demanda satisfecha es mayor que el agua servida por las fuentes controladas**, directamente o instrumentalizadas a través de presas o captaciones subterráneas. Esa pequeña diferencia es el resultado de la gestión extremadamente eficiente del **uso de las escorrentías no reguladas** aportadas por el área entre las presas y las captaciones de las plantas potabilizadoras. Estas aportaciones se han estado potenciando a través de **acuerdos excepcionales con las comunidades campesinas de la zona**, como es el caso de la toma Palcoma, aumentándose el número de horas donde el agua de este afluente podría ser derivada hacia las captaciones de EPSAS. **Este es uno de los tipos de medidas que están contemplados en el PGS dentro de los estadios de sequía más intensos, como son la alerta o la emergencia.**

5. El manejo de los trasvases en alta (agua cruda) que hacen las plantas potabilizadoras es fundamental para aprovechar al máximo el recurso disponible

Pese a esas diferencias en el origen del agua, es decir, la cuenca o la fuente, analizadas en las conclusiones anteriores, la producción de agua por planta no varía. En la figura 29, **la proporción de agua que aporta cada planta de potabilización** (PTAP de Pampahasi, Chuquiaguillo y Achachicala) se ha mantenido casi constante, con la diferencia del incremento de agua proveniente de las líneas de pozos (suma de las plantas de Tilata y las líneas San Felipe y Oeste). Esta constancia de producción es fruto de los **movimientos de agua en alta** entre las diferentes cuencas y más concretamente en cómo el agua incorporada por el trasvase a la laguna Estrellani posteriormente fluye a Chuquiaguillo, dando opción a pasarla a la PTAP Achachicala. También pasa con las Aguas de Milluni que suelen derivarse a la PTAP de El Alto, pero también a la de Achachicala. Igualmente, el agua subterránea ha permitido compensar la reducción de tratamiento en la planta de El Alto.

La mejora sistemática que EPSAS ha desarrollado sobre la conectividad del agua cruda, aumentando las infraestructuras de conexión y brindándole flexibilidad y resiliencia al sistema de abastecimiento, es utilizada por la regla de operación del PGS para ir adaptándose a las diversas sequías.

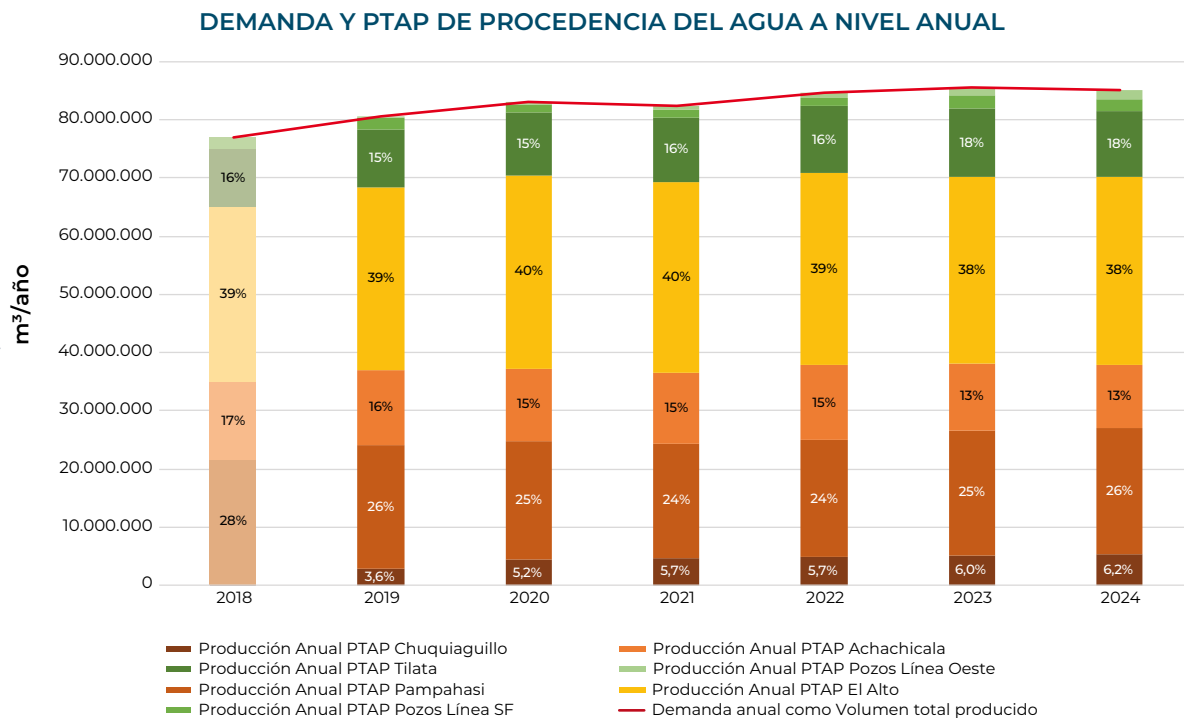


Figura 29. Evolución de la demanda (gráfico de línea) y el agua producida por cada planta o línea de pozos (gráfico de barras acumuladas) a nivel anual desde 2018. El porcentaje representado de agua subterránea es suma de todas las líneas de pozos.

6. El número de meses activando unas medidas u otras es clave para estabilizar las reservas o ralentizar su velocidad de disminución

La construcción del PGS contempló determinar unos umbrales que cambian los estados hidrológicos o de sequía y eso implica reglas de operación distintas. Además, ese umbral cambia entre entrada y salida para garantizar una recuperación clara sin retrocesos inmediatos.

En las figuras 30 y 31 se mide el impacto de la sequía por el **número de meses permaneciendo en un estado de sequía** u otro a lo largo del año. Aunque en el 2020 y 2021 cada UT presentó algún mes en situación de alerta, en líneas generales, los periodos secos **se pudieron superar con las medidas de prealerta**. En cambio, en el 2022 y 2023, los subsistemas tienen una amplia estadía de meses en situaciones críticas, y esa proporción de meses en Alerta es distinta en los dos subsistemas, siendo peor para la UTE el año 2022 y, en cambio, la UTO permaneció un mes más en alerta en el año 2023. Esta asimetría también es fruto de los movimientos de recurso entre uno y otro subsistema, siendo el trasvase de **Estrellani un mecanismo que beneficia a la UTE por tratarse de aguas externas** que se incorporan en su conjunto de embalses.

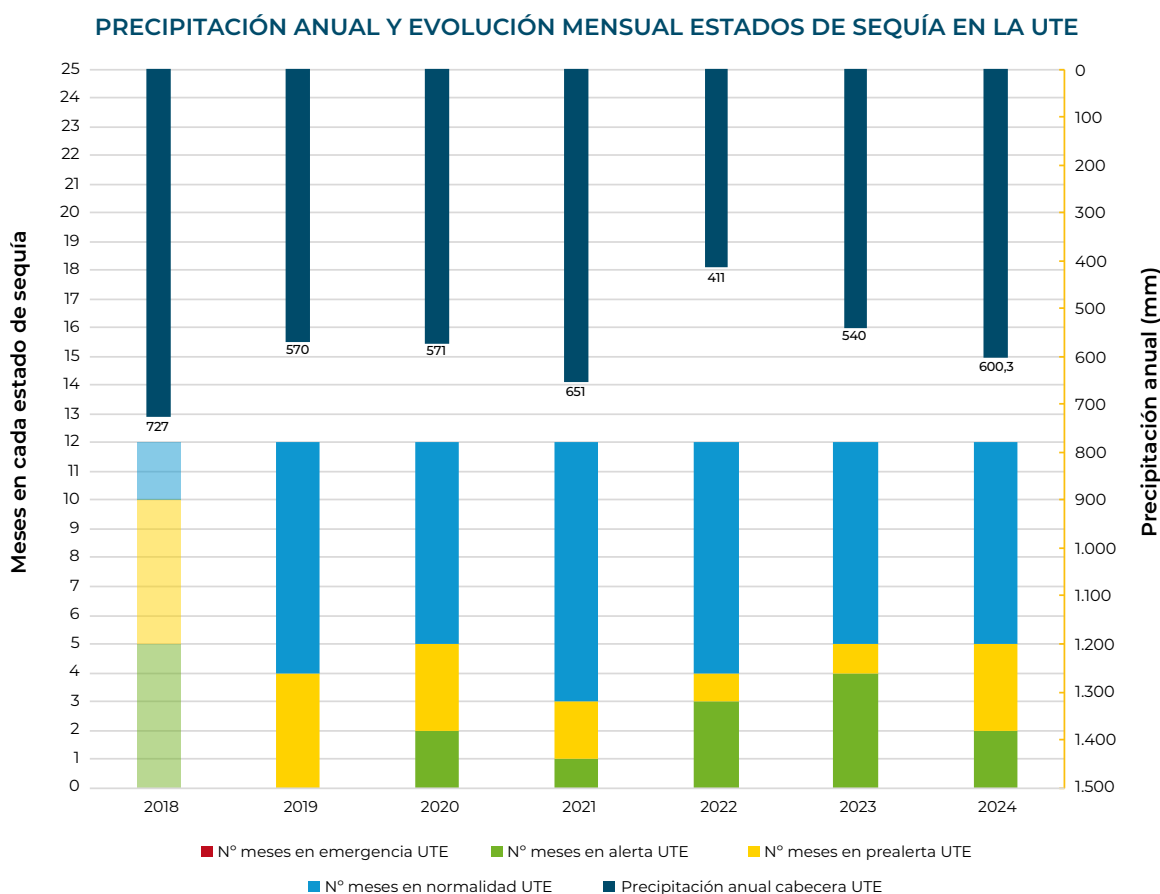


Figura 30. Evolución anual desde 2018 en la UT Este de la precipitación y el número de meses en cada estado o situación de sequía.

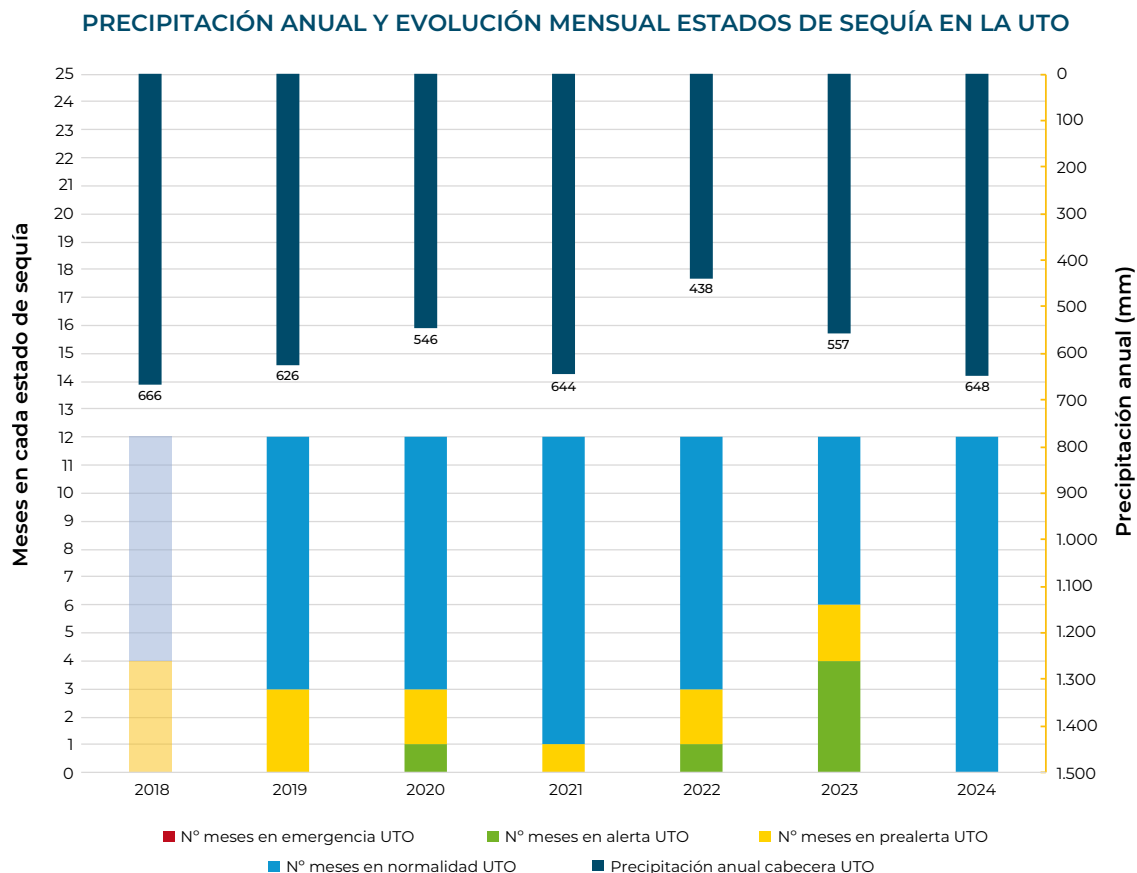


Figura 31 Evolución anual desde 2018 en la UT Oeste de la precipitación y el número de meses en cada estado o situación de sequía.

Hay que tener en cuenta que la capacidad de regulación de la UTE es menor e inició el 2023 con reservas máximas, mientras que el conjunto de los embalses de la UTO no llegó a superar el 70% de su capacidad al finalizar la época húmeda del 2023 (finales de mayo).

7. Las dinámicas de seguimiento permanente y pronóstico establecidas por el PGS, mediante el Comité permanente, permiten ajustar las medidas a aplicar en cada momento

Por último, podemos ver durante los últimos años la **evolución de mínimos del indicador de sequía** global y del indicador de escasez coyuntural en cada UT, tanto a fin de año como el mínimo durante el ejercicio. En los tres últimos años (de 2022 a 2024) se compara también con el valor previsto para fin de año, que se había pronosticado al inicio del mes de abril (ver figura 17) en los documentos de seguimiento sistemático de los episodios de sequía que genera la Gerencia Técnica y se comparten con el regulador AAPS y el ente sectorial. Desde el Proyecto de Eficiencia Hídrica y Alerta Temprana, que hace las funciones de observatorio de sequía, se analiza no solo la evolución del indicador registrada o pasada, sino que se hace el ejercicio de prever una posible evolución futura con modelos para ver cuántos meses quedan para entrar en cada estado de sequía y su posible permanencia. Con esa información se

propone a la gerencia y a las instancias que participan del comité permanente la activación de las medidas preventivas los cambios de regla de operación y otros requerimientos.

Como se puede apreciar en las siguientes figuras, los valores previstos y los valores registrados en 2022 fueron muy similares, y en el caso de la UTE fue ligeramente optimista respecto del finalmente registrado; mientras que en el 2023, los valores previstos hasta final de año son inferiores a los realmente registrados, fruto también de esta gestión contingente establecida en el PGS. **Se ha añadido una línea horizontal roja que representa el menor valor mensual del umbral de Emergencia que se establece en el PGS, para valorar cuán distante estuvo cada sistema de entrar en esa etapa de contingencia extrema.** La escala del indicador (eje y principal) incluye los valores máximos posibles para destacar la proporcionalidad del estado de las reservas en cada caso.

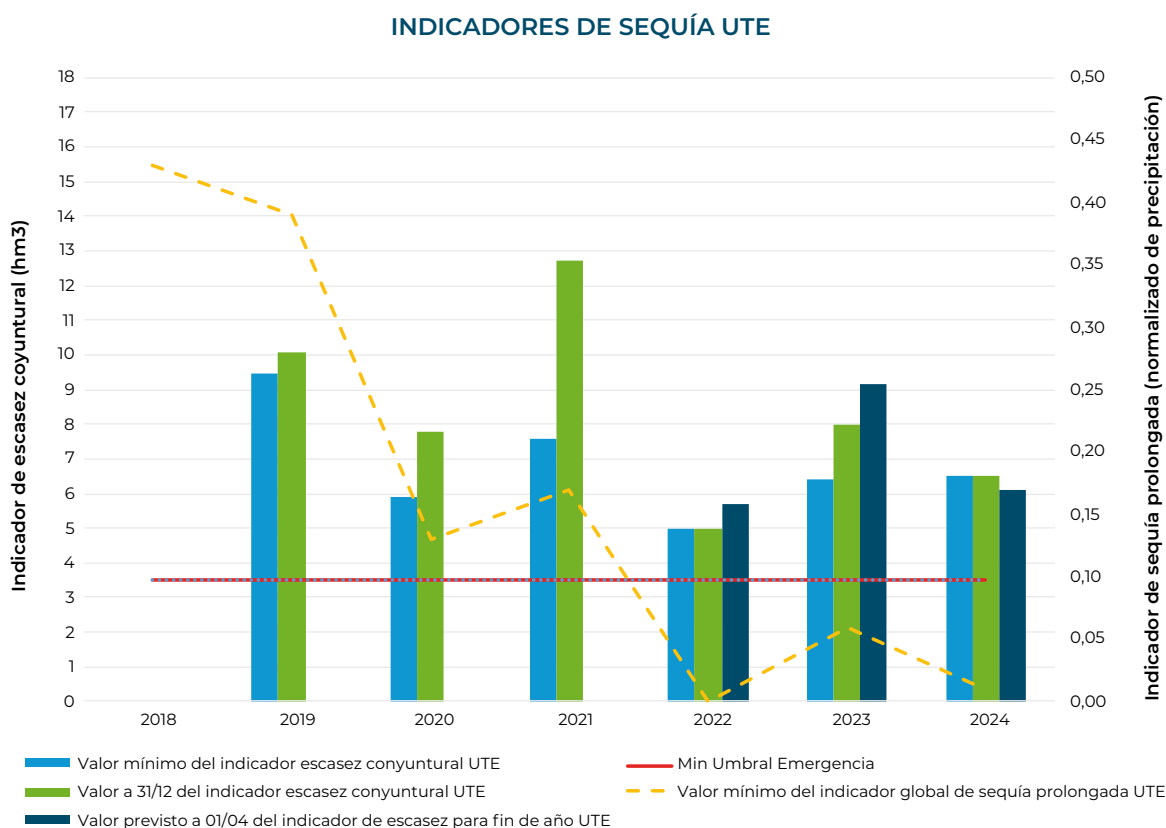


Figura 32. Evolución anual desde 2018 en la UT Este de los valores mínimos del ejercicio de los indicadores de sequía, así como el valor real y pronosticado para final de cada año.

INDICADORES DE SEQUÍA UTO

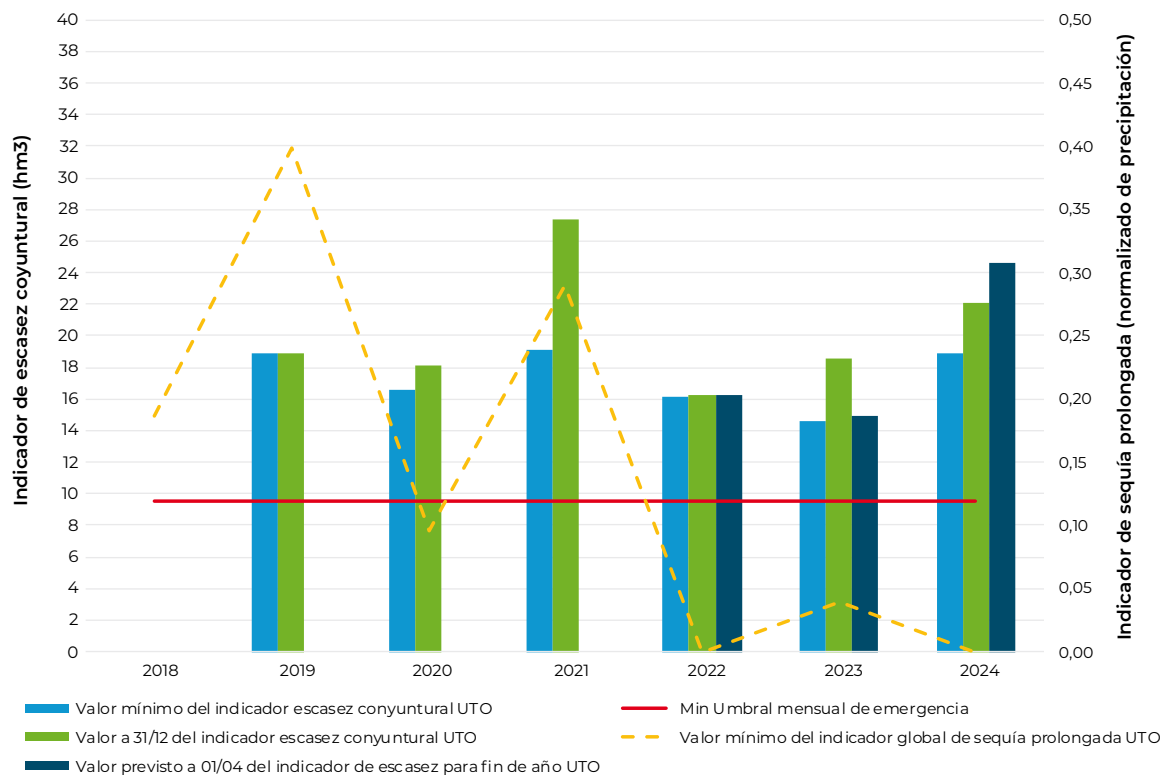


Figura 33. Evolución anual desde 2018 en la UT Oeste de los valores mínimos del ejercicio de los indicadores de sequía, así como el valor real y pronosticado para final de cada año.

8. En la contención de la demanda, las campañas de comunicación juegan un papel esencial

En cuanto a las **medidas para la contención o reducción de la demanda**, EPSAS realizó un control exhaustivo de presiones y campañas de sensibilización y comunicación de la situación de sequía. No se requirió llegar a prohibiciones específicas o sectoriales ni a restricciones horarias, debido a que los estados de sequía alcanzados (pre alerta y alerta) no fueron tan severos como para aplicarlos según lo establecido en el PGS.

Con la información registrada no se pudo correlacionar las acciones con efectos en la demanda, más allá de constatar que las acciones se realizaron y que la demanda, aunque en crecimiento, se ralentizó y hoy sufre un estancamiento en valores similares al 2023. Esta estabilización del agua, abastecida desde 2023, es muy meritoria ya que se da en un entorno de crecimiento constante de la población servida, ya que el área de distribución de EPSAS sufre un crecimiento sistemático en la provisión fruto del incremento de población y una tendencia al incremento de dotación en alguno de los barrios o distritos de suministro. La política del operador, hasta disponer de nuevos recursos, es mantener presiones reducidas, seguir monitoreando las válvulas reductoras de presión en la red e incrementando la micromedición domiciliaria, en el marco de la implementación de la Unidad Centro de Control de Recursos Hídricos.

9. EPSAS dispone de un presupuesto anual de sequías que le ha ayudado a financiar los posibles sobrecostos de hacer frente a estas situaciones por la activación de medidas previstas en el PGS.

Desde la aprobación del PGS, EPSAS tiene un presupuesto anual acumulativo de medio millón de bolivianos para hacer frente a sequías. De los diversos costos de explotación extraordinarios que puede generar una sequía, el más destacable y que se monitorea es el costo energético del bombeo de Huayllara. Este trasvase representa un **impacto económico muy importante en los servicios de explotación de la compañía, muy variable en función de los días de funcionamiento. En 2023 representó 7,7 millones de bolivianos.**

“

Queda ampliamente demostrado que el sistema EPSAS La Paz y El Alto sufrió una sequía durante los años 2022 y 2023 más severa que el evento anterior de 2016 y 2017, pero en esta ocasión el sistema superó el episodio sin incidencias sobre los usuarios. El análisis detallado permite establecer que, además del efecto de las nuevas presas construidas posterior a la emergencia de 2016 y 2017, y que entraron en funcionamiento entre 2018 y 2019, la gestión inducida por el PGS, implementado desde inicios de 2019, ya hubiese dotado al sistema de herramientas para superar el episodio sin afecciones graves al servicio. En todo caso, fue una herramienta fundamental en la compensación de recursos entre UT de operación y el mecanismo clave para alargar las reservas superficiales el máximo tiempo posible.

”

3.4. Hallazgos

En este apartado de hallazgos, se comentan los aspectos más destacados a través de una matriz FODA de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas, tanto de aspectos organizativos como operativos del plan.

3.4.1. Fortalezas

- El **PGS está incorporado de forma normalizada en la gestión** y operación de todas las infraestructuras de regulación, transporte, tratamiento y distribución del agua de EPSAS.
- Se hace **un seguimiento permanente de los** indicadores de sequía. Además, cuando se superan los umbrales definidos en el plan, se activan las acciones que están contempladas para alargar la disponibilidad del recurso el máximo tiempo posible.

- Las infraestructuras y acciones preexistentes necesarias ante un posible episodio de sequía peor a los anteriores se han complementado a través de un nuevo **Plan de Contingencias de 2023**. Por tanto, también se ha reforzado a los episodios valorados para definir numéricamente el plan. Eso ha hecho imprescindible poder incorporar nuevas fuentes de recursos extraordinarios o realizar acciones complementarias en la gestión de la demanda.
- **Se ha conseguido conformar una especie de Comité Permanente interno** a la empresa a través de la coordinación de las diversas gerencias por parte del gerente general. Dentro de la Gerencia Técnica existen las rutinas y procesos necesarios para el cálculo y seguimiento permanente de los indicadores de sequía y la medición de los efectos de la mayoría de las medidas implementadas.
- Existen **procedimientos de comunicación permanentes hacia las autoridades**, ya sea el regulador AAPS como al ente sectorial o los gobiernos autónomos municipales de El Alto y La Paz donde EPSAS da servicio.
- Los técnicos perciben el plan como una herramienta útil que les permite la **implementación planificada, secuencial y progresiva de medidas** preestablecidas para hacer frente a las sequías a partir del nivel intensidad que se detecten en cada momento.
- Existe una **fuerte conciencia en el equipo técnico** sobre la necesidad de mantener la herramienta, ampliarla y ajustarla a los cambios que ya se han producido o los que están previstos.
- La herramienta está tan incorporada en la gestión que ya ha recibido modificaciones respecto a la versión aprobada en el 2018, realizándose **ajustes en alguno de sus apartados para mejorar su eficacia**, como es el caso del cambio de los límites de la capacidad o el orden de llenado de los embalses en cada una de las unidades territoriales.

3.4.2. Oportunidades

- La bondad en el uso de la herramienta ha generado una imagen favorable en el regulador que ve la necesidad de generalizar este tipo de herramientas a otros operadores del país, justo en un año (2024) donde la sequía ha hecho nuevamente estragos en muchas ciudades de Bolivia.
- Internamente, los últimos interventores que han asumido las funciones de Gerencia General han tenido interés en fortalecer el PGS y actualizarlo con las nuevas demandas y necesidades del sistema, así como las nuevas infraestructuras que este regula, ya que varias se han incorporado con posterioridad al 2018.
- Dentro de los recientes proyectos impulsados por la Gerencia Técnica está la construcción de un edificio de **Centro de Telecontrol** del conjunto del sistema en la actual planta de Achachi-

cala. Se trata de un edificio separado de las oficinas de producción, cuyo objetivo es anidar los servidores de descarga de datos en tiempo real, los equipos de almacenamiento de la información hidrológica y de producción y todos los desarrollos y datos que requiere la Unidad Centro de Control de Recursos Hídricos. Dentro de la información a incorporar, hay datos de nuevas estaciones hidrológicas provenientes de la radio, la telefonía, la comunicación satelital y la posible ampliación de la telemetría a nuevas variables de interés.

- Desde el punto de vista organizativo, también se está replanteando la figura del supervisor de **recursos hídricos** como un **nuevo departamento**, el cual incorporará un especialista de aguas superficiales y reagrupará al especialista de aguas subterráneas o hidrogeólogo, que en estos momentos se encuentra en el Departamento de Estudios y Proyectos de la Gerencia Técnica fortaleciendo al equipo de monitoreo.
- También existe la oportunidad de mejorar el conocimiento sobre el acuífero Purapurani, clave en la búsqueda de nuevas capacidades y recursos hídricos, a través de un nuevo modelo numérico que se está desarrollando con el instituto francés IRD¹². Este **modelo de aguas subterráneas** se está realizando en la plataforma *Modflow* como una mejora al modelo conceptual que ya dispone EPSAS y que fue trabajado en anteriores años. Con este modelo numérico se quieren comprobar los límites de explotabilidad de acuífero. También se pretende probar a hipótesis de ampliar las zonas de extracción y establecer el régimen en el que se deben hacer las extracciones para que estas sean sostenibles y puedan mejorar sus aportaciones en periodos secos, pero a la vez relajar la explotación en periodos de fuerte presencia de agua superficiales. Con el modelo numérico del acuífero también se estudiará la posibilidad de implementar sistemas de recarga que favorezcan la recuperación de este cuerpo de agua en caso de que sea necesario.
- Hay que añadir que desde el MMAyA se están desarrollando herramientas de apoyo al seguimiento de sequías para operadores que EPSAS puede integrar en su sistema de monitoreo y toma de decisiones, como el proyecto de mejora y puesta a punto de módulos **Monitor Nacional de Sequías**, el sistema de monitoreo de embalses (**SIMHEB**) y el **sistema de monitoreo de aguas subterráneas**, todos ellos integrados en el portal SIARH (Sistema de Información Automática de Recursos Hídricos).
- El plan de gestión de sequías elaborado **para EPSAS La Paz-El Alto** mostró su utilidad durante 2022–2023 y resulta claramente **replicable en otros operadores del país**, en especial a **núcleos urbanos intermedios** que ya vivieron crisis de abastecimiento y conflictividad (tanto en 2016-17 como en 2022-23). No obstante, la conceptualización del sistema debe ser proporcional a la capacidad local y a medida. El modelo siempre debe existir, pero puede ir desde reglas escritas o tablas (trasladables a una hoja de cálculo) hasta un modelo numérico de

12 IRD: Instituto de Investigación para el Desarrollo en sus siglas en francés.

gestión con simulación de escenarios, cuando la calidad y continuidad de datos lo permitan. Sea cual sea el nivel de sofisticación, el modelo debe reproducir y comparar escenarios de operación de forma objetiva, para optimizar indicadores, umbrales y reglas y así consolidar un protocolo fiable, aplicable y sostenible en cada contexto urbano.

- Las fuentes que alimentan el **abastecimiento municipal** suelen ser **compartidas** con otros **usuarios** (riego, hidroeléctrica, industria, usos locales), por lo que el **PGS** debe concebirse como una herramienta **multiusuario/multipropósito** cuando los volúmenes de esos usos compiten de forma relevante y pueden poner en riesgo el suministro poblacional. Solo en contextos donde el abastecimiento urbano es claramente prioritario y dominante (como ocurre con EPSAS frente a pequeñas comunidades colindantes) cabe modelar el sistema como un único gran usuario, respetando convenios y restricciones pero sin detallar nodos y arcos menores en el modelo numérico. En casos con demandas significativas (p. ej. riego o hidroeléctricas que comparten recursos o infraestructura de regulación), el PGS debe articular la gobernanza y gestión coordinada de la oferta y la demanda.
- Las sequías, cada vez más frecuentes e intensas por el cambio climático, exigen un **enfoque sectorial nacional** que **unifique criterios y procedimientos**. Se presenta la oportunidad de generar un **Protocolo Marco Nacional de Gestión de Sequías**, incluyendo la definición de indicadores, métodos de cálculo, umbrales y medidas, así como la gobernanza interinstitucional mediante un Comité Permanente de Sequías (CPS) y la vigilancia técnica de un Observatorio de la Sequía (OS)¹³ con monitoreo abierto y pronósticos integrados. Este marco establece criterios de lineamientos para que sistemas—incluidos los multipropósitos—elaboren sus PGS siguiendo la metodología común, y provean indicadores de referencia para “anidar” los locales, facilitando que abastecimientos municipales y usuarios críticos ajusten reglas y medidas a la realidad hidrológica del momento y fortalezcan su resiliencia.
- En la misma línea podría complementarse la información con las tendencias o previsiones, tanto del SENAMHI como de **instituciones regionales** o globales que permitan adelantar ciertas tendencias o pronósticos de sequías inminentes y que ya están siendo utilizadas por países vecinos, como por ejemplo el proyecto SISSA¹⁴, del que Bolivia es miembro.

3.4.3. Debilidades

- Aunque existen los mecanismos para poder hacer el seguimiento y gestión permanente de la sequía en EPSAS, no está institucionalizado un **comité permanente** con estas funciones específicas junto con otras autoridades, y no se incorporan las tareas ni las funciones en el MOF de la entidad, mismo que debería ser actualizado.

¹³ En la actualidad el MMAyA cuenta con un portal web abierto denominado Monitor de Sequías.

¹⁴ SISSA: Sistema de Información sobre Sequías para el sur de Sudamérica.



- Aunque el Plan de Contingencias complementario establece medidas y costos de las actuaciones urgentes para hacer frente a la sequía peor registrada hasta el momento en lo que va a siglo XXI, existen un conjunto de costos adicionales vinculados a la operación, como la energía del bombeo del río Huayllara a la laguna Estrellani, que se tendrán que incorporar a tarifa, así como otras partidas de CAPEX que no quedarán cubiertas con el posible presupuesto complementario de 5 millones de bolivianos que se gestionó con el VAPSB para ese episodio. Esto se debe a que en el presupuesto de EPSAS, la partida de imprevistos de sequías solamente dispone de medio millón de bolivianos cada año. Esta partida se acumula de un año para otro en el caso de que no sea utilizada, pero a todas las luces es insuficiente, no solamente para la implementación de nuevas medidas, sino para la asunción del propio **sobrecosto de operación del sistema** durante los procesos de sequía (más energía, más insumos químicos, más intensificación de horas hombre por m³ producido, etc.).
- Existen **cambios en la infraestructura** como la incorporación de nuevos pozos y algunos aportes de aguas no reguladas, recrecimientos de presas existentes, etc. que no están incorporados en el modelo numérico del PGS y, por tanto, en la determinación del protocolo actual.
- En consecuencia de lo anterior se han producido algunos **cambios en el orden de llenado** de las represas en las unidades técnicas territoriales, ajustando los umbrales para cambiar el orden. Este es fruto de la experiencia de los operadores que tampoco están incorporados en el proceso con el que se determinó el protocolo de sequías actual. Con todo, parece necesario validar los umbrales existentes o cambiarlos después de incorporar estos cambios en la regla de operación. Esto es un aspecto clave que determina los umbrales mínimos para activar las medidas especiales que contienen estos documentos.

- Ante el cambio de tendencia hidrológica y la intensificación de las sequías que afecta al sistema de EPSAS, juntamente con una demanda que se espera que siga creciendo en los próximos años¹⁵, se hace imprescindible la incorporación de una nueva fuente que aumente la robustez del sistema, como es el aporte de agua del proyecto **Multipropósito Batallas (PMB)**. Al incorporarse el PMB, que conlleva sus propias demandas, restricciones ambientales y limitaciones operativas¹⁶, se deberá modificar el PGS actual y determinar los ajustes necesarios en unidades territoriales, indicadores, umbrales y medidas.
- El plan de gestión de sequías no incorpora **ningún indicador específico del acuífero** Purapurani y durante los últimos cinco años se ha ido aumentando los niveles de extracción. Siendo este cuerpo de agua el más representativo para poder compensar la pérdida sistemática de recurso superficial que están padeciendo las cuencas reguladas por el sistema de EPSAS, parece lógico incorporar algún indicador piezométrico para el seguimiento y vigilancia de los efectos de la posible sobreexplotación, aun cuando este acuífero tiene otros usuarios dependientes.
- En el Plan de Desarrollo Quinquenal se está trabajando **la prognosis de demanda a medio plazo**, como se tenía en el 2017-18. Hasta el momento se está trabajando con indicadores secundarios como ratio de personas por acometida para redactar el plan quinquenal 2024-2028. Se requiere un análisis detallado de las dotaciones por barrios, distritos e incluso zonas de uso diferencial, como industria o servicios, para valorar medidas específicas y proyecciones sectoriales para la nueva revisión del PGS.
- Aunque el Centro de Telecontrol ha mejorado en mucho la comunicación y registro de la información sin manipulación humana, siguen existiendo algunos procesos manuales en el registro de información y transmisión de la misma, en la utilización de planillas papel y en la duplicidad de información a través de llamadas telefónicas. A nivel de cálculos y elaboración de informes, se sigue conviviendo tecnológicamente con acciones desarrolladas y registradas en computadoras de profesionales.

3.4.4. Amenazas

- Los devenires institucionales deben garantizar la estabilidad y continuidad del equipo técnico responsable de la gestión de recursos hídricos y que hoy se encarga de gestionar el PGS. Se requiere de un alto grado de entrenamiento y conocimiento específico difícilmente subcontratable y que debe ser incorporado en profesionales específicos de la institución y consolidado en las estructuras organizativas y procedimentales, ya habiéndose vivido en los últimos años periodos de abandono parcial o de pérdida de recursos para su seguimiento.

15 Así lo prevé el Plan de Desarrollo Quinquenal de EPSAS y el Plan Maestro Metropolitano de La Paz.

16 El PMM dispone de una propuesta de protocolo de operación de los usos múltiples que contempla restricciones a los usos en el caso de sequías, también a la derivación de agua por parte de EPSAS.

- En el PGS, complementado en 2023, se especifica que se informará a las gobernaciones afectadas: Gobernación Autónoma Departamental La Paz, Gobernación Autónoma Municipal y las Comunidades que correspondan según la UT afectada por la sequía, y conviene asegurar qué procedimiento se cumple.
- En el mismo documento del PGS 2023, se especifica que se deberá realizar una **Reunión del Observatorio de Sequías** para hacer el seguimiento del evento y valorar la eficacia de las medidas llevadas a cabo. El Observatorio de Sequías valorará la oportunidad de solicitar al Gobierno Nacional a través del MMAyA la adopción de medidas extraordinarias, pero en el procedimiento se ha detectado que no está constituido este observatorio de sequías. En concreto, se especifica la constitución y las funciones del Observatorio de Sequías, y aunque existe una coordinación interna de afectados y transmisión de información del evento, no todos los propuestos en ese apartado están hoy representados en los foros y procedimientos existentes, por ejemplo, SENAMHI. En apartados de organización administrativa y de activación de escenarios, no se plantea que su comunicación sea automática, que sería lo más recomendable, sino que EPSAS avise discrecionalmente a quién considera.
- Existe una **opacidad hacia el exterior del plan y sus contenidos** y acciones, siendo una herramienta de gestión interna, pero que no tiene visibilidad generalizada, lo que en algún momento puede generar la pérdida de recursos y el interés de las autoridades por su mantenimiento y consolidación permanente.
- Es probable que la adecuación del sistema a un modelo más robusto ante episodios de sequías no se pueda realizar desde los **presupuestos** de la propia entidad. Puede requerir de inversión por parte de otras autoridades, como el MMAyA para **contener la tarifa** delante de los nuevos retos a los que se enfrentará el sistema. En concreto, a nivel tarifario y como presupuesto interno de la entidad, parece necesario fortalecer el **fondo de sequías** hasta cubrir la totalidad sobrecostos y desbalances que pueda generar la operación del sistema en periodos de sequía severa y extrema, donde hay un porcentaje importante de meses en estado de alerta o emergencia. En estos estados, las medidas que se llevan a cabo representan un sobrecosto muy importante a la explotación en situación de normalidad hidrológica.
- La **información técnica** que se maneja en el seguimiento sigue siendo altamente críptica para la ciudadanía en general, y parecería necesario replantear la fórmula y visualización de algunos de los indicadores, en especial el de sequía prolongada para hacerlos más inteligibles y de amplia difusión.

04

Hacia un PGS 2026

4.1. Plan de Contingencias 2023

Alguna de las acciones de las que se está beneficiando el sistema son fruto de la ampliación del Plan de Contingencias (2023) a través de un documento complementario que se hizo llegar a la AAPS en el mes de abril de ese año y que incorporó nuevas actuaciones. Dentro del capítulo de la determinación de riesgos del Plan de Contingencias, en la fase preventiva, se establecen acciones adicionales en la gestión 2023 vinculadas a reforzar el PGS¹⁷ y hacer frente a nuevos desafíos del cambio climático.

1. **Contención de la demanda** a través de la instalación de reductores de presión y mejora de la micromedición con seguimiento expreso de la Unidad Centro de Control de Recursos Hídricos.
2. **Ampliar bombeos del trasvase del Huayllara a 24 horas al día** partiendo de una propuesta original de bombeo de 17 horas diarias, establecido en el PGS. Esta restricción horaria original obedecía a una contención del gasto por energía eléctrica durante un periodo de tiempo limitado a la época de lluvias, pero la situación hizo necesario incorporar este recurso permanentemente, lo que supone para la empresa incrementar un **gasto de explotación valorado inicialmente en unos 13 millones de bolivianos durante el ejercicio, a un valor que estará cercano finalmente a los 20 millones de bolivianos en la totalidad del 2023.**
3. Derivar al embalse de Milluni una de las subcuencas del río Milluni, que hasta ahora no drenaba directamente. Además, también se procedió a la derivación del **sector Llaullini** a través de la construcción de unos canales de tierra y tuberías. Históricamente el agua de esta subcuenca era desviada por la Compañía Boliviana de Energía Eléctrica S.A. Más allá de todo esto, esta operación ha podido realizarse gracias a los nuevos acuerdos con las comunidades de Milluni.

¹⁷ EPSAS presenta el PGS como parte del Plan de Contingencias al que está obligada por la AAPS.

4. **La captación del río Seco** es otra medida que permite incorporar nuevos recursos al canal de Milluni. Esta actuación y la anterior refuerzan la disponibilidad de recursos al sistema El Alto.
5. **Refuerzo de la captación Estrellani** incorporando una nueva aducción en el sector La Cumbre que permite mejorar los aportes hacia dicha laguna.
6. Incorporación de agua del **Huaripampa hacia la PTAP ChuquiagUILlo**.
7. **Elevación de los vertederos** de las presas **Pampalarama y Ajuankhota**.
8. Construcción de **3 nuevos pozos** para la planta de **Tilata**.
9. Construcción de un **nuevo tanque** en la planta **Tilata**.
10. **Ampliación** de la línea de **pozos Oeste**.
11. **Mejoras** de mantenimiento y equipos de los **pozos existentes**.
12. **Optimización de las presiones** de servicio en los sistemas de distribución (red), variando las presiones nocturnas para reducir pérdidas y contener dotaciones en determinadas zonas.
13. **Trasvase por bombeo de Jankokhota a Milluni**, lo que representa un nuevo consumo energético cercano a 2 millones de bolivianos.
14. Adquisición de **plantas compactas de potabilización** para incorporar agua de manantiales existentes en la ciudad de La Paz.
15. Petición para utilizar las ataguías de las obras de las dos presas del **Multipropósito Batallas** para comenzar a embalsar agua y que pueda ser utilizada de forma urgente en 2024 si la sequía persiste.
16. Se recuerda que está prevista la **ampliación de la planta de Achachicala**, aunque esta no estará en funcionamiento para el actual episodio de sequía.

Estas actuaciones han permitido incorporar aguas superficiales no reguladas inicialmente, como se ha visto en los registros anteriores y, aumentar la movilidad de recursos para compensar los dos subsistemas territoriales de explotación. Otras actuaciones son de más largo plazo y estarían previstas para incorporarse en la implementación del PDQ y el PMM, actualmente en revisión. El PGS se demuestra como una herramienta más dinámica, guiada por la operación adaptativa a las circunstancias de cada momento y, por tanto, permite incorporar las acciones puntuales que se requieran para superar un evento.

4.2. Mejoras en el PGS y nuevas necesidades

Durante el año 2023, a raíz del evento extremo que se estaba produciendo, el equipo de la Gerencia Técnica de EPSAS revisó el plan de gestión de sequías del 2018 y generó una nueva versión llamada 2023-2024 que ya incorpora algunas de las modificaciones necesarias en el protocolo, aun cuando estas modificaciones no se han realizado en el modelo de gestión de recursos hídricos que hay dentro del PGS. En concreto se ha incorporado:

1. Las capacidades y curvas de las tres presas nuevas en la cuenca Khaluyo: Pampalarama, Alpaquita y Chacaltaya que, aunque se tuvieron en cuenta en el proyecto del PGS 2018, se hicieron con otros valores.
2. En la regla de llenado y vaciado de la UTE, como se puede observar en la Figura 34:
 - Se ha modificado la reserva estratégica del sistema Pampahasi que aparece en el régimen de desembalse como regla de estricto cumplimiento, siendo un valor cambiante entre 1,5 y 1,8 hm³, cuando anteriormente se contemplaba 1,8 hm³ como valor fijo.
 - Se ha cambiado la norma de mantener Hampaturi al 80% de su capacidad a mantenerlo al valor mensual de su reserva estratégica.



- Se ha cambiado el orden de preferencia, intentando guardar el agua en Hampaturi Alto primero y llenar más tarde Ajuankhota por tener este embalse más evaporación (más lámina y a más altura).

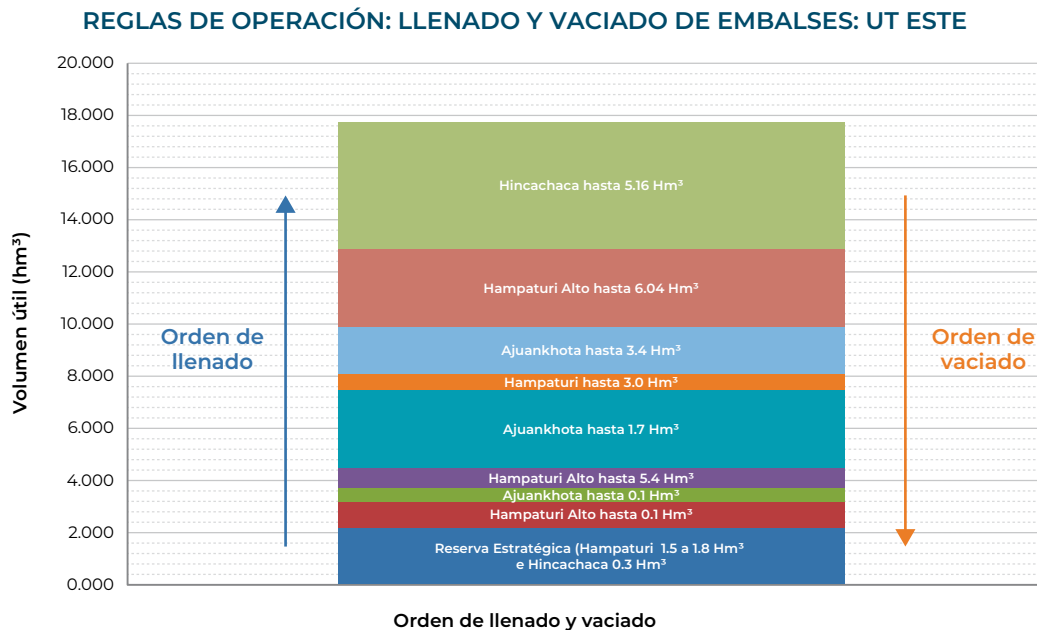


Figura 34. Nueva regla de llenado y vaciado de los embalses de la UT Este.

- Cambio del periodo de captación de aguas de Palcoma hacia el sistema de EPSAS, ampliándose al mes de mayo (hasta 1 de junio), como regla de operación de conducciones del sistema Pampahasi de la UTE.
- En la regla de llenado y vaciado de la UTO, como se puede observar en la Figura 34:
 - Se ha cambiado la norma que aparece en el régimen de desembalse como regla de estricto cumplimiento, de mantener el sistema Achachicala y El Alto al 50% a mantenerlo ahora al 25%.
 - Se ha cambiado el orden de prelación. En el sistema Achachicala y El Alto ahora se usarán preferentemente los tramos superiores de Jankho Khota (hasta el 90% - 2,870 hm³) y Milluni (hasta el 25% - 2,099 hm³), donde antes Milluni era el 50%.
 - Se establecen condicionantes de calidad de las aguas que no estaban antes y que obligan a desembalsar de cada origen en las proporciones que permitan considerar la mezcla controlada con el aporte de Milluni en el ingreso de la planta Achachicala a través de los aportes de las presas de Khaluyo.

5. Los cambios en las proporciones de agua de cada fuente en la UTO llevan a modificar la regla de las conducciones de agua cruda entre los sistemas El Alto y Achachicala, anticipando la conducción desde Tuni cuando Milluni esté sobre el 25% de su capacidad y Tuni bajo el 50% (anteriormente Milluni era al 50%).

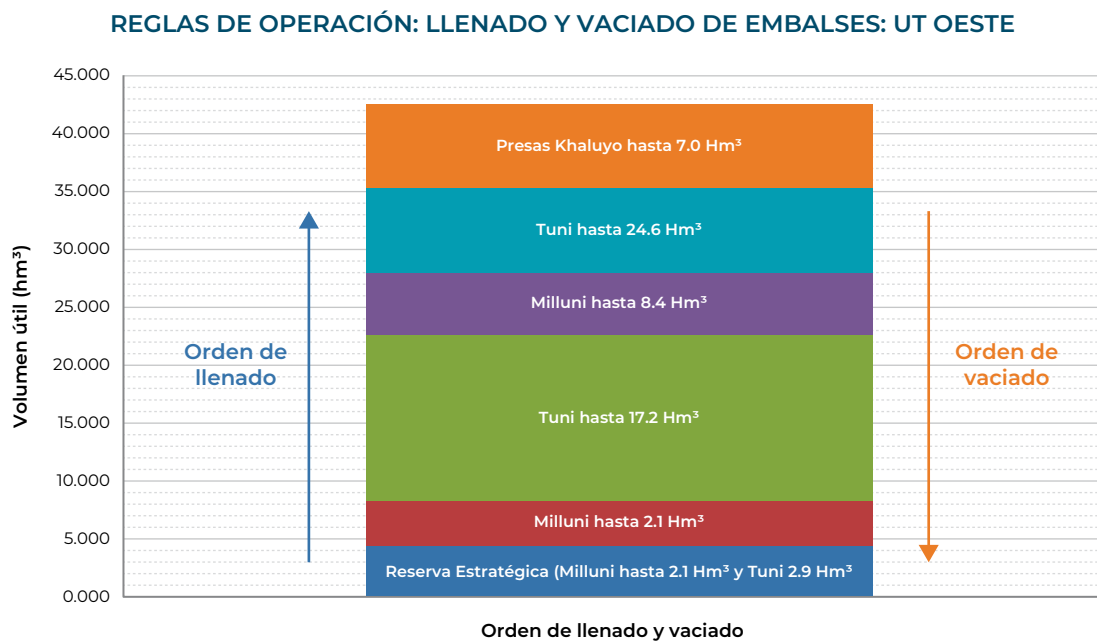


Figura 35. Nueva regla de llenado y vaciado de los embalses de la UT Oeste.

6. Se añade una nueva regla de operación de conducciones de los traspasos en alta o agua cruda. Si la UTO se encuentra en el escenario normal con riesgo a ingresar a alerta, se activará un traspaso desde la UT Este hasta 70l/s desde el sistema Chuquiaguillo al sistema Achachicala si la tubería de Impulsión del Bombeo (Pisagua-Litoral) y el estanque Pisagua permanecen cerrados, salvo que exija su apertura. Esta medida se utilizará en último lugar de las alternativas posibles, solo si los embalses del Incachaca tienen reservas y si El Alto no dispone de recursos de otras fuentes.
7. Fruto de la evolución de los indicadores, estos años se han modificado los umbrales mensuales de las reservas totales del sistema de embalses de la UTE: Ajuankhota, Hampaturi Alto, Hampaturi e Incachaca. En la tabla 7 del nuevo PGS 2023-2024, constan los actuales que son los siguientes valores de los indicadores de la UTE en hm^3 :

Tabla 6. Umbrales de los estados de sequía en la UT Este en el nuevo protocolo del PGS de 2023-2024.

UTE	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dici
Prealerta	10,5	10,5	11,0	11,5	12,0	12,0	12,0	11,5	11,0	10,5	10,0	10,0
Alerta	8,5	8,5	9,0	9,5	10,0	10,0	10,0	9,5	9,0	8,5	8,0	8,0
Emergencia	3,5	4,0	6,0	6,5	6,5	6,0	5,5	4,5	4,0	3,5	3,5	3,5
Reserva estratégica	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2

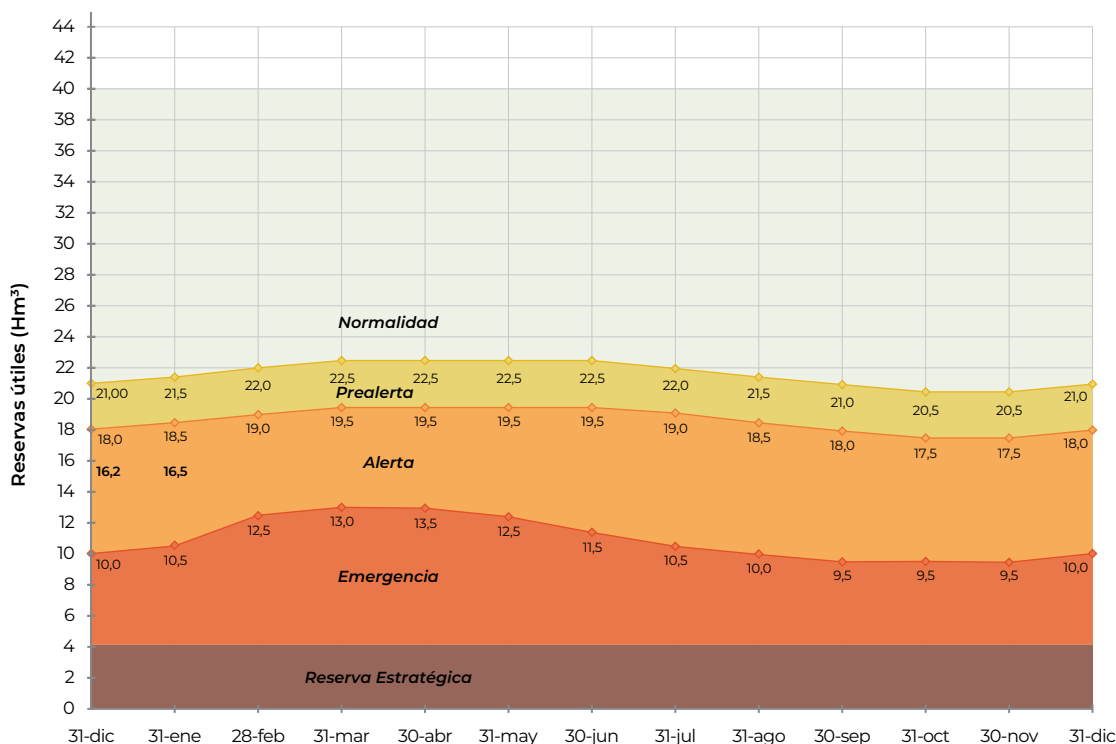
8 Fruto de la evolución de los indicadores estos años, se han modificado los umbrales mensuales de las reservas totales del sistema de embalses de la UTO: Milluni y Tuni. En la tabla 18 del nuevo PGS 2023-2024, constan los actuales que son los siguientes valores de los indicadores de la UTO en hm³:

Tabla 7. Umbrales de los estados de sequía en la UT Oeste en el nuevo protocolo del PGS de 2023-24

UTE	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Prealerta	21,0	21,5	22,0	22,5	22,5	22,5	22,5	22,0	21,5	21,0	20,5	20,5
Alerta	18,0	18,5	19,0	19,5	19,5	19,5	19,5	19,0	18,5	18,0	17,5	17,5
Emergencia	10,0	10,5	12,5	13,0	13,0	12,5	11,5	10,5	10,0	9,5	9,5	9,5
Reserva estratégica	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3

Los cambios que EPSAS ha incorporado en la versión del PGS de 2023 mayoritariamente responden a ajustar las medidas de gestión a las situaciones de desbalance entre sistemas que se han venido experimentando a lo largo de los últimos años: mayor flexibilidad en los movimientos de agua cruda, incorporación de nuevas capacidades infraestructurales fruto de inversiones realizadas o preservación de las reservas en la UT Oeste de la que depende El Alto, actualmente el sistema más tensionado hasta que lleguen los recursos del Sistema Multipropósito Batallas, ya que la población sigue creciendo.

UMBRALES DE LOS ESCENARIOS DE ESCASEZ COYUNTURAL ZONAS DE OPERACIÓN EN SEQUÍAS DE LOS EMBALSES DE LA UT OESTE



UMBRALES DE LOS ESCENARIOS DE ESCASEZ COYUNTURAL ZONAS DE OPERACIÓN EN SEQUÍAS DE LOS EMBALSES DE LA UT OESTE

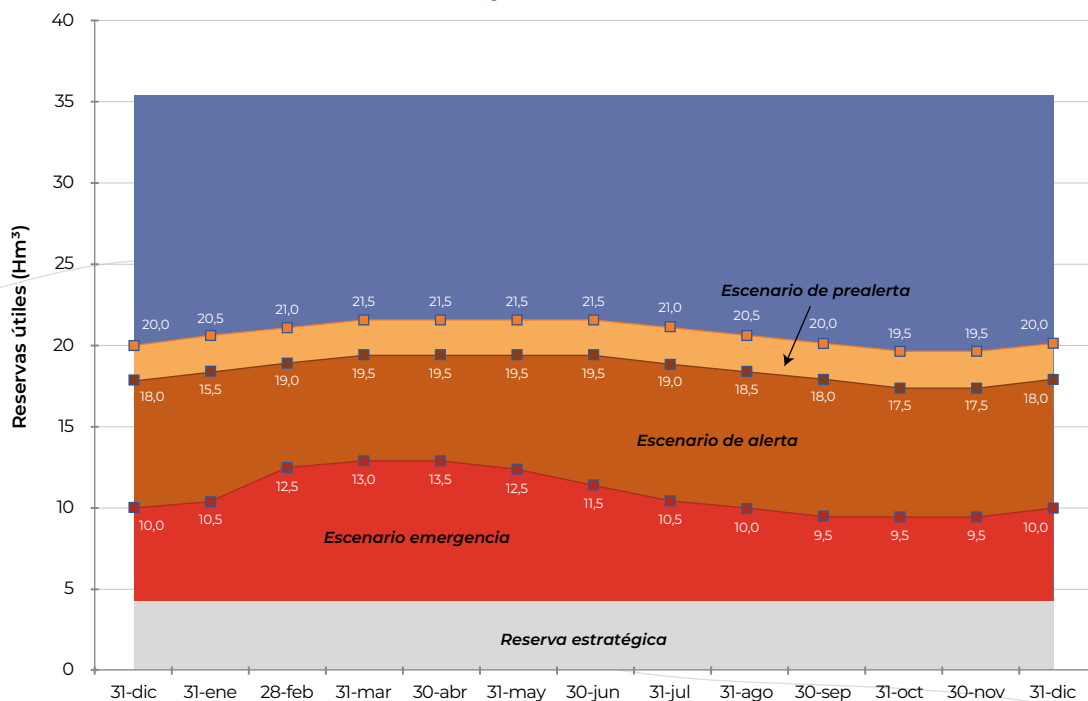


Figura 36. Ejemplo del cambio de umbrales de cada estado de sequía UT Oeste. A la izquierda la propuesta original del PGS1018 y a la derecha los ajustes incorporados en la versión de 2023.

4.3.Recomendaciones evolutivas

A continuación, se presentan las mejoras y recomendaciones que deberían integrarse en una revisión completa del PGS, más allá de lo que ya se ha cambiado en la versión interna de 2023-2024.

- Lo primero y más necesario es el **recálculo de los umbrales y revisión de los indicadores definidos en el 2018**, a través del modelo numérico desarrollado en ese momento, pero con los condicionantes actuales que tiene el sistema. Deben incorporarse como mínimo las siguientes infraestructuras y datos técnicos:
 - Captaciones de agua superficiales que se han sumado ya sea en infraestructuras existentes (nuevos acuerdos como Palcoma) o como nuevas conexiones de afluentes y cuencas laterales (Río Seco, por ejemplo).
 - Nuevas represas o captaciones que están previstas, que se incorporarán de forma inminente en los próximos 12 a 24 meses, como a la represa de Palcoma o la nueva represa de Huayllara.
 - Nueva capacidad de extracción de aguas subterráneas (actualizar pozos línea oeste).
 - Nuevas batimetrías y curvas de relación niveles: superficie, volúmenes y capacidades útiles de las lagunas y represas del sistema.



- Nuevas capacidades en alguna de las conducciones de transferencia, simuladas en el modelo a través de arcos.
- Nuevos convenios establecidos con las comunidades para utilización de aguas en las cabeceras.
- Nueva programación y uso del bombeo del Huayllara a la laguna Estrellani.
- Nueva transferencia en alta de Chuquiaguillo a Achachicala.

Incorporar la conexión del Multipropósito Batallas y la nueva planta de El Alto, con la regla de operación propia de ese sistema (**Protocolo de Operación Objetivo del 2022**). Esto requerirá el alta de una **nueva** unidad territorial de operación, **UT Batallas**.

Actualización de la serie de aportaciones históricas a través del modelo que se esté utilizando en la empresa actualmente en materia de generación de caudales de agua superficiales.

Establecer los **nuevos indicadores de escasez de cada UT** y los umbrales para cada estado de sequía, así como la adecuación de acciones y reglas.

Establecer la **nueva regla de operación**, optimizando el llenado y vaciado del conjunto de represas de cada una de las unidades territoriales de explotación (**UT Este, Oeste y Batallas**).

Adecuación del indicador de sequía prolongada que actualmente es una serie fenomenológica en el punto de salida de cada una de las subcuencas. Habría que transformarlo a un indicador geográfico de calor, en formato GIS, quizás a través de la generación de una batería de indicadores IPE (SPI en sus siglas en inglés), en diferentes periodos temporales para el cálculo, desde 6 hasta 24 meses. Algunos de estos indicadores pueden obtenerse del actual proyecto y portal web del MMAyA, Monitor de Sequías. Sería recomendable que se realice a través de los criterios del proyecto regional SISA que permitiría enlazar los registros con pronósticos de evolución de estos indicadores y humedad del suelo.

Estudio y generación de un nuevo indicador de acuífero para Purapurani a través de los **piezómetros instalados por el MMAyA** en los últimos años, con la posibilidad de definir los umbrales tras el análisis efectuado con el modelo numérico *Modflow* que se está realizando del acuífero en estos momentos.

Incorporación y actualización de una **nueva demanda objetivo** para el periodo **2024-2030** coherente con la evolución del crecimiento poblacional y el incremento de dotaciones que está registrando EPSAS.

Análisis de comportamientos y grado de flexibilidad de la **demanda** en función de un estudio detallado de los registros que se hayan realizado por cada uno de los usos o sectores, así como las reducciones que ya se hayan detectado en el proyecto de eficiencia hídrica que se está implementando en este momento.

Simular la incorporación de potabilizadoras portátiles para aguas de manantial en La Paz.

Simular la incorporación parcial de caudales tratados en PTAR Puchukollo en El Alto, planta de inminente entrada en servicio entre 2026 y 2027.

En estos momentos se está ultimando la redacción el Plan Maestro Metropolitano, que establecerá la demanda futura a través de nuevas conexiones.

Se recomienda valorar la simulación de casos de aportaciones reducidas no vividas mediante series sintéticas o pesimistas, para poder hacer frente a una sequía peor a la de 2022-2023.

Se debería incorporar en las medidas de **gestión de la demanda** una adaptación de las **tarifas o de los límites de los módulos** de facturación de los consumos que se utilizan para la facturación del agua a los clientes de la red, en función del estado hidrológico en el que se encuentra el sistema en cada momento. Si el conjunto de los usuarios conociera en qué situación se encuentra el sistema en cada momento y que bajo estas circunstancias el precio del agua o el límite subvencionado cambia, las políticas de ahorro se aplicarían de forma casi automática, evitando los primeros niveles de prohibiciones sectoriales.

05

Aprendizajes

En la línea de los hallazgos, se debe destacar una serie de lecciones aprendidas producto del proceso de implementación y uso del PGS en EPSAS desde 2018 y que pueden asumirse como conclusiones de este estudio de análisis del caso de La Paz-El Alto.

LECCIÓN 1: Acompañar la implementación técnica con medidas administrativas internas e interinstitucionales.

Se trata de dar formalidad a los aspectos organizativos, comunicacionales y de seguimiento técnico y operación del plan. En este se tiene pendiente incluir en el MOF de la entidad las tareas específicas del PGS, tanto para su control y actualización (la parte de actualización del modelo numérico de simulación y determinaciones del protocolo y, la parte de registros de datos y cálculo de indicadores y estados de sequía) como la aplicación de las acciones que se proponen: quién hace qué en la organización. Por ejemplo, quién debe cambiar una consigna de vaciado de un embalse o quién debe reportar un informe a la dirección.

También se detecta la necesidad de reorganizar bajo el paraguas de la Gerencia Técnica algunas unidades y departamentos que pueden estar compartiendo procesos clave del seguimiento del plan, como el registro de información, la modelización de recursos hídricos, la implementación de proyectos especiales de eficiencia hídrica, la mejora de la red de telemetría, etc. Sea transversalmente, de forma virtual o como lugar físico concreto, debe constituirse (como establece el PGS) un Observatorio de Sequía, que bien pudiera ser incorporado en el Centro de Telecontrol del que dispone EPSAS, pero que no estaba constituido en el 2018, pues de otra manera hay una debilidad manifiesta en la continuidad del registro de indicadores y datos clave. También es imprescindible que los datos e información se doten de un entorno seguro a nivel de comunicaciones e informática, y que no queden restringidos a una persona o a una computadora personal.

Es imprescindible que estas acciones administrativas de acompañamiento establezcan la constitución formal del Comité Permanente de Sequías (CPS) como autoridad máxima del gobierno del plan, que normalmente supera el ámbito de la entidad, y que en este caso claramente incluye a la AAPS, VAPSB, GAP y GAM de los municipios donde EPSAS presta servicio. Internamente, si bien se ha acomodado al Comité de Gerentes el seguimiento de sequía, esto solo se realiza cuando hay evento declarado, mientras que el concepto del CPS o el órgano equivalente interno a EPSAS debería ser un foro de encuentro periódico, incluso en escenarios de normalidad. Por ejemplo, para analizar las previsiones de sistemas hidrometeorológicos regionales.

Si la organización de la empresa, como es el caso de EPSAS, hace que los agentes implicados en la gestión de los eventos de sequía estén parcialmente en gerencias o departamentos externos a la Gerencia Técnica, es recomendable que el gerente general asuma la dirección de estos encuentros, aunque sea bajo la asistencia del gerente técnico, ya que hay aspectos que no se pueden registrar ni aplicar adecuadamente, como ocurre con la gestión en la demanda mediante los responsables de la operación de la red o las campañas de comunicación y sensibilización ciudadana.

Estos ajustes administrativos, al activar el plan, son también una garantía de continuidad y mayor robustez del sistema ante cambios de dirección o crisis institucionales, como se han vivido en este periodo reciente en el país.

LECCIÓN 2: Mayor necesidad de trascender. Incidir más en la necesidad de transparentar y comunicar.

Aunque el plan es un documento muy técnico, afecta a la actividad de todos los usuarios de la red y, por tanto, desde el servicio de agua potable domiciliario, a las actividades económicas que utilizan el agua como insumo directa o indirectamente. El plan, incluso con una brillante ejecución desde el 2018 como ya se ha comentado, no ha dejado de ser un documento que rige un protocolo a la interna de EPSAS, incluso casi exclusivo de los técnicos de la regulación de fuentes y producción de agua potable.

Una parte fundamental de la eficacia del PGS pasa por el nivel de conocimiento que las instituciones e incluso la población tienen de él. La sequía afecta a todos y el plan es la solución para eso, incluso como elemento clave en el cambio de la cultura del uso y manejo del agua. Todo el mundo debe saber que se está monitoreando el estado de los recursos, que se declaran entradas o salidas de estados de sequía, por primigenios que sean, que hay acciones de oferta extraordinaria (sobrecostos) y de gestión de la demanda (restricciones) y que llegado el momento no hay improvisación, sino se sigue un procedimiento preestablecido y consensuado. Es parte de la migración de la gestión de crisis a gestión del riesgo.

Transparentar los datos en un portal específico no debería asustar a ningún gerente general de EPSAS o viceministro, debería ser un orgullo y ejemplo de buena gobernanza. Un ejercicio que

permite replicar las mismas conclusiones de la gravedad de un evento de sequía o trasladar obligaciones en un sistema corresponsable con los usuarios, especialmente los más importantes. Apoyar esos datos con guías, recomendaciones de ahorro, campañas informativas, etc., es clave para conseguir los resultados requeridos. El episodio 2022-2023 está superándose sin que los usuarios hayan sido muy conscientes de la situación. Además, no se reduzco coercitivamente la demanda, sino que se pusieron todos los esfuerzos en la gestión de la oferta, un verdadero ejercicio de malabarismos que podría haber fallado.

Esta transparencia y cambio de cultura es fundamental para un ejercicio de contención de la demanda a través de una política tarifaria adaptativa, como se recomienda en este informe.

De la misma manera, la escalabilidad social de estos planes los hace visibles, y a sus medidas extraordinarias y de contingencia también. Este es un paso necesario para conseguir recursos presupuestarios. La aplicación de un PGS aumenta los costos porque se aplican mecanismos para evitar daños mayores como el desabastecimiento. Muchas veces la dimensión de estos sobrecostos supera lo que se puede trasladar razonablemente a la tarifa, por lo cual se requieren presupuestos extraordinarios de las instituciones superiores de ámbito nacional o subnacional.

LECCIÓN 3: Incrementar la coordinación de programas y proyectos, potenciar las sinergias.

Los PGS son elementos muy centrados en la operación de sistemas de regulación y uso de agua, y lo hacen en un usuario o conjunto de usuarios muy concretos, casi aisladamente con el resto del país.

Los hechos demuestran que Bolivia se ha declarado en los últimos años como país fuertemente vulnerable a la variabilidad climática que se está viendo intensificada por efecto del Cambio Climático. La multitud de eventos extremos que azotan el territorio, en especial las recurrentes y cada vez más extremas sequías que han llevado a declarar la emergencia en la mayoría de los departamentos, con muchos abastecimientos urbanos afectados, han hecho proliferar las propuestas de redactar más planes de gestión de sequías, muchos de ellos ya planteados tras el episodio de 2016-2017.

En paralelo, las instituciones del país están ejecutando programas de diversa índole, como la adaptabilidad al cambio climático (PPCR), la transformación digital del ciclo del agua (VAPSB), la participación de las instituciones nacionales (SENAMHI) en proyectos regionales a nivel de Sudamérica en pronóstico de eventos naturales extremos o en clima y seguimiento de recursos hídricos (SISSA), etc. Incluso esto también se replica a nivel de programas y proyectos subnacionales en algunos departamentos y municipios. Existe la necesidad de revisar todos los proyectos que se están llevando a cabo y que puedan tener relación con el nuevo PGS para generar sinergias.

Dentro del capítulo de coordinación está la necesidad de dar soluciones a proyectos de conocimiento del medio y los recursos disponibles que son extremadamente costosos para los pequeños abastecimientos u otro tipo de usuarios. Por ejemplo, los estudios detallados, a poder ser con modelización numérica que permitan la simulación, de los acuíferos clave en el país que son fuente única de muchos usuarios. Incluso estudios que ya se han realizado con esta filosofía, como el *Estudio de recursos disponibles y balance nacional de las cuencas de Bolivia*, no son utilizados en muchos de estos proyectos locales que se realizan, repitiéndose complejos y costosos modelos hidrológicos en vez de realizar *downscaling* de los modelos existentes a nivel nacional.

Además, sería conveniente plantear que los PGS no sean un capítulo menor de los planes de contingencia que las EPSAS de categoría A y B deben presentar al regulador AAPS, sino una tipología de documentos y protocolos de operación que trasciendan el ámbito de la entidad prestadora. Además, deben poder acogerse cualquier usuario vulnerable o cualquier gestor de infraestructura multipropósito con riesgo a tener conflictividad entre sus usuarios llegados a un episodio de falta de recurso. Incluso el tener un PGS específico puede tener un carácter obligatorio como el tamaño del uso o el nivel de demanda conjunta sobre una misma fuente, priorizando usuarios que deben redactar estos planes.

Si se llega a dar este planteamiento, sería conveniente el MMAyA ofrezca una norma paraguas o de carácter nacional, como están haciendo otros países en la zona, que establezca una guía para la redacción, una metodología homogénea y un conjunto de indicadores de sequía nacionales de partida, que permitirían dotar de una referencia a los afectados y a la vez poner en valor varios de los proyectos que se están llevando a cabo en el VAPSB en el entorno a la SIARH. Esta norma nacional también permitiría definir las características de los usuarios que están obligados a tener un PGS específico para ellos y establecería oficialmente los elementos de coordinación interinstitucional que hoy se encuentran a faltar y posiblemente un Observatorio Nacional de la Sequías donde anidar el cálculo de los indicadores específicos de los casos particulares.

LECCIÓN 4: Actualizar el PGS de EPSAS La Paz y el Alto como oportunidad de mejora para la entidad y ejemplo nacional

Por último y como ya se ha recogido detalladamente, el PGS de La Paz y El Alto requiere una actualización que pueda cambiar los umbrales actuales de declaración de sequía, añadir una nueva UT (Batallas), incluir nuevos indicadores de sequía prolongada o de seguimiento del acuífero Purapurani y revisar e incrementar las medidas o acciones ya recogidas en el documento actual. Para ello, hay que incluir los cambios de infraestructura que se han dado, revisar las series de aportaciones de recursos hídricos con la nueva sequía acontecida en 2022-2023, incluir nueva infraestructura prevista o en ejecución fruto de esta nueva situación de escasez, conectarse con el multipropósito Batallas del que se espera su entrada en funcionamiento entre 2024 y 2025 y reproducir los cambios de consignas de llenado o vaciado que se han decidido modificar durante estos años, etc.



Aprovechando esta necesidad, podrían corregirse las limitaciones detectadas y descritas en el documento y que mayoritariamente se han recogido en las lecciones 1 y 2 de este capítulo, dando visibilidad del proyecto a nivel nacional y en máxima coordinación con el resto de los programas y proyectos liderados desde otras entidades, pero con aspectos comunes.

Más allá de repetir el proceso de difusión entre EPSAS como se realizó en la anterior oportunidad, sería conveniente darle difusión a nivel de presidencia y de planeación para favorecer la gestación de un Plan Nacional de Sequías que persiga los objetivos recogidos en la lección 3 anteriormente descrita:

- Difusión del cambio de paradigma y nueva cultura en el uso del agua.
- Homogeneización de procesos y metodologías de redacción de los PGS.
- Listado de candidatos para la redacción de sus protocolos específicos de sequía y calendario de usuarios o sistemas priorizados.
- Constitución de los entes de seguimiento permanente de las sequías a nivel interinstitucional.
- Constitución del observatorio nacional de sequías y alineamiento de programas y proyectos en esta línea.
- Calendarización de hitos y cuantificación de recursos.
- Definición de nuevos programas específicos que generalicen los programas de gestión de la demanda y mejora de la eficiencia que se ha hecho en EPSAS.

PLAN NACIONAL DE GESTIÓN DE SEQUÍAS

Coordinar acciones para potenciar sinergias



06

Recomendaciones para la elaboración de nuevos protocolos de gestión de sequías (PGS) en operadores urbanos de agua potable

1. Alinear los PGS con la estrategia de seguridad hídrica y la planificación general

La planificación hídrica de largo plazo se apoya en tendencias de crecimiento y aportes promedio, mientras que los PGS abordan la gestión a corto y mediano plazo frente a eventos extremos. Ambos instrumentos son complementarios: el primero garantiza sostenibilidad estructural del sistema y el segundo actúa como escudo operativo ante condiciones críticas de escasez.

2. Incorporar la variabilidad y el cambio climático desde una perspectiva operativa

Los PGS deben interpretar los escenarios climáticos futuros a partir de series históricas, identificando una serie pésima consensuada que represente el peor caso de referencia. A partir de esa base, el sistema se blindará con medidas técnicas, operativas y normativas diseñadas para resistir y recuperarse frente a eventos cada vez más intensos y frecuentes.

3. Integrar monitoreo hidrológico, operativo y de cumplimiento normativo

El seguimiento debe combinar información ambiental (precipitaciones, caudales, niveles de embalse) y operativa (producción, demanda, pérdidas), incorporando también el control de las obligaciones derivadas del PGS: declaraciones de consumo, cumplimiento de restricciones y medidas de ahorro. Este sistema integrado permite evaluar en tiempo real la efectividad del protocolo y su grado de cumplimiento.



4. Adecuar los indicadores, umbrales y modelos a la escala local y capacidad técnica

Los indicadores deben ser simples, medibles y adaptados a la realidad del sistema. La modelización puede ser conceptual (tablas, hojas de cálculo) o apoyarse en modelos numéricos de simulación tipo *What-If*, que permiten explorar distintos escenarios operativos y validar decisiones. La clave es lograr herramientas útiles, reproducibles y acordes al nivel técnico disponible.

5. Consolidar mecanismos permanentes de coordinación interinstitucional

Los comités de gestión de sequías y observatorios deben articular no solo las áreas internas de las operadoras, sino también a las instituciones sectoriales especializadas —meteorológicas, ambientales, sanitarias o energéticas— junto con los niveles de gobierno territorial. Este entramado institucional garantiza coherencia, legitimidad y una visión integral en la toma de decisiones.

6. Incorporar la perspectiva multiusuario y multipropósito del recurso

Cuando las fuentes o infraestructuras sean compartidas con otros sectores (riego, energía, industria), los PGS deben promover acuerdos de gobernanza, mecanismos de priorización y reglas de operación coordinadas que equilibren la protección del uso poblacional con la sostenibilidad ambiental y la continuidad de las demás actividades económicas.

7. Desarrollar planes de comunicación preventiva, activa y posevento

La comunicación debe estar presente en todas las fases del ciclo de la sequía: antes (educación y sensibilización), durante (información transparente sobre medidas y restricciones)

y después (evaluación pública y aprendizaje colectivo). Su objetivo es construir una cultura social de adaptación y corresponsabilidad en torno al uso racional del agua.

8. Vincular la gestión de sequías con la planificación financiera y presupuestaria

Los protocolos deben incluir estimaciones realistas de los sobrecostos operativos y de las inversiones extraordinarias requeridas durante los episodios de sequía. Asimismo, deben prever mecanismos de financiación —fondos de contingencia, líneas de crédito o subvenciones— que permitan sostener las medidas sin comprometer la viabilidad económica del servicio.

9. Fomentar la resiliencia social y económica frente a la sequía

La meta última de los PGS no es solo fortalecer a las instituciones operadoras, sino contribuir a que la sociedad y las actividades productivas sean más adaptables ante los eventos extremos. La resiliencia hídrica se alcanza cuando los sistemas, las comunidades y los territorios son capaces de resistir, reorganizarse y recuperarse sin perder funcionalidad.





www.iadb.org/es