

PLAN MAESTRO PARA EL SECTOR HÍDRICO DE LA PROVINCIA DE SAN JUAN

Informe 7

Reporte Final

Octubre 2025

Contenido

CAPITULO 1: Propósito y Alcance del Plan	4
1.1 Resumen Ejecutivo.....	4
1.2 Resumen Ejecutivo extendido	4
Diagnóstico de la crisis hídrica estructural	4
Ejes estratégicos de intervención	5
Costos y beneficios esperados por fase (2025–2035–2050)	7
Recomendaciones clave para decisión política	8
1.3 Contexto Provincial. Crisis Hídrica Estructural.....	9
1.4 Objetivos del Plan Maestro	10
1.5 Alcance, Cobertura y Horizonte Temporal.....	11
CAPITULO 2: Situación Actual	12
2.1 Disponibilidad actual de los recursos hídricos.....	12
Recursos Hídricos Superficiales	12
Recursos Hídricos Subterráneos.....	14
2.2 Demanda hídrica actual	15
2.3. Déficit y riesgo hídrico actual	17
CAPITULO 3: Situación Proyectada a futuro.....	21
3.1 Disponibilidad futura de los recursos hídricos	21
Generalidades	21
Oferta sostenible Río San Juan.....	21
Oferta sostenible Río Jáchal.....	24
Potencial de uso del agua tratada.....	26
3.2 Demanda hídrica proyectada	27
3.3. Déficit y riesgo hídrico proyectado.....	29

CAPITULO 4: Estrategias de Intervención	32
4.1 Contexto general	32
4.2. Estrategia de intervención.....	33
Mejora de la eficiencia en el riego.....	33
Modernización de la infraestructura	33
Alternativas evaluadas	33
4.3. Escenarios y prioridades por cuenca	34
4.4. Escalabilidad de las inversiones	35
Fases de implementación.....	36
CAPITULO 5: Rentabilidad y demanda de los cultivos	40
5.1 Generalidades.....	40
5.2 Demanda hídrica relativa entre cultivos.....	41
5.3 Rentabilidad relativa entre cultivos	42
5.4 Impacto del costo de inversión en la rentabilidad.....	45
5.5 Implicancias para la Planificación y Prioridades de Inversión.....	46
CAPITULO 6: Conclusiones y recomendaciones.....	48
6.1 Acciones Inmediatas	49
6.2 Acciones de Mediano Plazo (hasta 2035)	50
Acciones de Largo Plazo (hasta 2050)	52

Índice de Figuras

Figura 2-1: Agua superficial disponible. Río San Juan. Período 2000 a 2022.....	12
Figura 2-2: Agua superficial disponible. Río Jáchal. Período 2016 a 2022	13
Figura 3-1: Proyección de caudales anuales en el río San Juan.	21
Figura 3-2: Río San Juan variación de, (a) Probabilidad de Abastecimiento, para 2020, 2030, 2040 y 2050.	22
Figura 3-3: Río Jáchal-Iglesia variación de, (a) Probabilidad de Abastecimiento.....	24
Figura 4-1: Eficiencia de aplicación, conducción y global pretendida hacia 2050. Cuenca río San Juan.....	35
Figura 5-1: Impacto del costo de inversión en la rentabilidad	46

Índice de Tablas

Tabla 2-1: Superficie cultivada Cuenca río San Juan.	15
Tabla 2-2: Superficie cultivada Cuenca río Jáchal.	16
Tabla 2-3: Balance hídrico. Situación actual Río San Juan.	18
Tabla 2-4: Superficie cultivada por fuente y tipo de riego. Cuenca río San Juan.	18
Tabla 2-4: Balance hídrico. Cuenca Río Jáchal. Situación actual.	19
Tabla 3-1: Nivel de Abastecimiento. Cuenca del Río San Juan.	23
Tabla 3-2: Nivel de Abastecimiento, Abastecimiento Promedio y Déficit Promedio en la cuenca del Río Jáchal-Iglesia para Niveles de confiabilidad del 90 y 80% (2020, 2030, 2040 y 2050), 192 Mm ³	25
Tabla 3-3: Balance hídrico. Situación proyectada. Río San Juan.	30
Tabla 3-4: Balance hídrico. Cuenca Río Jáchal. Situación actual.	31
Tabla 4-1: Costo anual de total de implementar un riego por mangas hacia 2035. Cuenca río San Juan.....	36
Tabla 4-2: Costo total anual para implementar un riego por goteo comunitario en la superficie irrigada con mangas de fuentes superficiales.....	37
Tabla 4-3: Costo anual total para implementar un riego por goteo comunitario en la superficie irrigada con riego por goteo individual, de fuentes subterráneas.	38
Tabla 5-1: Demanda de cultivos relativa en %. Cuenca río San Juan.	41
Tabla 5-2: Rentabilidad relativa en % entre los distintos cultivos.	43

CAPITULO 1: Propósito y Alcance del Plan

1.1 Resumen Ejecutivo

Problema identificado: Proyecciones climáticas indican una fuerte reducción de la oferta hídrica mientras la eficiencia actual del riego es baja. Esta tendencia genera riesgo de déficit hídrico futuro y vulnerabilidad ante escenarios críticos.

Resumiendo: *La provincia de San Juan enfrenta una crisis hídrica estructural marcada por un desbalance creciente entre oferta y demanda de agua.*

Acción propuesta: Basar el plan en una diversificación de fuentes y mejoras de eficiencia. Se recomienda incluir la reutilización de aguas residuales tratadas como recurso alternativo, junto con inversiones en infraestructura (riego por goteo, mejor conducción) y revisión de regulaciones para incentivar el uso eficiente. Estas medidas forman el eje central del Plan Maestro provincial.

Impacto esperado: Reducir la presión sobre fuentes naturales críticas mejorando la confiabilidad del suministro y reduciendo las demandas brutas. En el corto plazo, estas acciones generarían resultados visibles en la reducción de brechas hídricas; a mediano y largo plazo, estabilizarían la disponibilidad de agua manteniendo la rentabilidad agrícola.

1.2 Resumen Ejecutivo extendido

Diagnóstico de la crisis hídrica estructural

Debido al cambio climático, se proyecta una reducción del ~40% en la disponibilidad media de agua superficial hacia 2050. Si se mantiene el 42% de eficiencia global (estimada en la actualidad), se generará una situación a futuro de déficits crónicos, con pérdidas de productividad y sobreexplotación de acuíferos subterráneos (bombeo excesivo para cubrir la brecha).

En síntesis, con menos agua entrando al sistema y un uso poco eficiente, el riesgo de déficit hídrico se agrava y aumenta la vulnerabilidad ante sequías extremas. Debido a esta situación, urge a tomar medidas inmediatas para evitar impactos severos en la producción, el abastecimiento urbano y permitir nuevos usos a futuro.

Principales déficits hídricos por cuenca: San Juan se organiza en tres oasis o cuencas principales, cada una con realidades hídricas distintas:

Cuenca Río San Juan: Es la cuenca crítica, donde se concentra la mayor población y agricultura. Presenta un déficit estructural $\sim 532 \text{ hm}^3/\text{año}$ en su balance hídrico actual. La demanda total ($\approx 1.882 \text{ hm}^3/\text{año}$) supera con creces la oferta superficial sostenible ($\sim 1.350 \text{ hm}^3$ al 80% de garantía).

En la práctica, alrededor de 30% de la demanda agrícola no se satisface con agua superficial y debe cubrirse parcialmente con bombeo de aguas subterráneas.

Cuenca Río Jáchal: Actualmente no registra déficit hídrico estructural. Su disponibilidad promedio ($\sim 192 \text{ hm}^3/\text{año}$ superficiales) es menor que la del San Juan, pero las demandas también lo son aún más. Con unas 3.530 ha cultivadas y usos poblacionales e industriales reducidos, las extracciones totales ($\sim 120 \text{ hm}^3$) se mantienen por debajo de la oferta.

Existe incluso un excedente anual ($\sim 288 \text{ hm}^3$ en 2020), lo que brinda un margen de seguridad. No obstante, esta situación podría cambiar con expansiones mineras o agrícolas futuras; para sostener el equilibrio a largo plazo se recomienda aumentar la eficiencia y monitorear de cerca los usos, aprovechando la brecha favorable existente hoy en día.

Valle Fértil: Es la cuenca más limitada y aislada. Su disponibilidad hídrica es muy baja (caudales del río del Valle $\sim 15 \text{ hm}^3/\text{año}$ en promedio) y sustenta principalmente usos poblacionales y ganaderos de pequeña escala. La demanda actual es mínima dado el reducido desarrollo agrícola en la zona.

Ejes estratégicos de intervención

Para revertir esta situación, el Plan Maestro propone tres ejes de acción complementarios: **infraestructura, eficiencia y gestión**. Estos conforman una hoja de ruta integral para equilibrar el sistema hídrico hacia 2050:

Infraestructura: Modernizar y expandir las obras hídricas para reducir pérdidas y aumentar la capacidad de micro regulación. Incluye el revestimiento de canales principales y secundarios para evitar filtraciones, la construcción de reservorios y mejoras en redes de distribución (canales terciarios y tomas). Mejoras en las estructuras de derivación permitan distribuir el agua de forma flexible y precisa según la demanda. La infraestructura de riego intrapredialm se actualizará con tuberías y equipos modernos.

Eficiencia: Elevar drásticamente la eficiencia del riego es el núcleo del plan. Se busca pasar del ~42% actual a 85% o más de eficiencia global hacia 2050. Para ello se masificará la tecnificación del riego: conversión de riego por inundación/manto a sistemas presurizados como riego por goteo y aspersión en toda el área cultivada. Paralelamente, se reducirán pérdidas en conducción mediante canales revestidos y tuberías.

Aumentar la eficiencia significa que la misma agua podrá regar más superficie con igual o mayor productividad o destinar el agua a nuevos usos.

Las metas intermedias apuntan a alcanzar ~70–75% de eficiencia de aplicación al 2035 (con tecnologías simples como riego por “manga” o cañerías flexibles) y luego dar el salto al 90% en campo hacia 2050 con riego por goteo generalizado.

Gestión del agua: Implementar una gestión hídrica integrada y proactiva que complemente a la infraestructura. Esto abarca varias acciones: medición y monitoreo en tiempo real de caudales (instalación de medidores en pozos, canales y tomas), y el desarrollo de esquemas de distribución dinámicos que se ajusten a la disponibilidad (en lugar de turnos fijos poco flexibles). También implica actualizar el marco normativo: por ejemplo, establecer incentivos al ahorro de agua.

Diversificación de fuentes: intensificar la reutilización de aguas residuales tratadas para riego. Un pilar clave de la gestión será el apoyo a los productores: capacitación técnica y financiamiento para adopción de tecnología (ej. créditos/subsidios para equipos de riego), de modo que los agricultores puedan sumarse al cambio sin quedar atrás.

En resumen, se trata de gobernar el agua con información, reglas claras y participación de usuarios.

Costos y beneficios esperados por fase (2025–2035–2050)

El Plan Maestro escalona las intervenciones en fases temporales, maximizando impactos graduales con inversiones asumibles. A continuación, se resumen las metas y retornos esperados en cada hito clave:

2025: Inicio - inmediato

Acciones de choque y preparatorias. En el muy corto plazo se implementarían medidas de bajo costo y alto impacto inmediato para aliviar la crisis mientras se sientan las bases del plan.

Esto incluye reparar infraestructura crítica (canales y compuertas que pierden agua), limpiar cauces, y comenzar programas flexibilización en las entregas de agua. La inversión aquí es relativamente menor, pero genera ahorros de agua visibles en 1–2 años y demuestra los beneficios de la flexibilización de la gestión, ganando apoyo entre los usuarios.

2035: Fase I – Eficiencia intermedia

Este es el salto cuantitativo inicial: modernizar el 100% de las hectáreas actualmente bajo riego tradicional por superficie (unas 37.800 ha en la cuenca San Juan) hacia 2035. Se adopta riego por mangas/tubos de baja presión en todas esas áreas, elevando la eficiencia de aplicación del ~50% a ~70–75% en dichas parcelas.

Al mismo tiempo, se habrán ejecutado obras de distribución para alcanzar >80% de eficiencia de conducción en canales principales.

Resultado: la eficiencia hídrica global provincial subiría a ~59–60%, reduciendo pérdidas y liberando unos cientos de hm³ de agua por año que antes se desperdiciaban.

Esto permitirá cerrar gran parte del déficit actual: para 2035 la brecha hídrica se reduciría sustancialmente, recuperando quizá más de 20.000 ha hoy afectadas por falta de agua. En términos de suministro, las mejoras podrían asegurar el riego pleno de casi toda la superficie cultivada vigente (73.000 ha) en años normales. La

superficie con déficit se minimiza y el sistema gana resiliencia ante sequías moderadas. (Metas 2035: eficiencia de aplicación ~74%, eficiencia de conducción ~81%, déficit reducido >50%.)

2050: Fase II – Sostenibilidad plena

Corresponde a la ejecución completa del plan a largo plazo. Supone la transición al riego presurizado en toda la cuenca del río San Juan.

instalación de redes de riego por goteo comunitario en las 73.000 ha cultivadas, con sistemas de bombeo y filtrado. Al 2050 se alcanza la eficiencia global $\geq 80\%$ (con $\approx 90\%$ en campo y 95% en distribución).

Beneficios: Aun con 40% menos de agua superficial disponible, San Juan podrá eliminar el déficit hídrico estructural. Todo el territorio irrigado operará con control de volúmenes entregados, asegurando el agua con un elevado nivel de confiabilidad, aún en escenarios críticos.

En términos productivos, se recuperan ~50.000 ha que hacia 2050 hubieran quedado con fuertes déficits hídricos (es decir, se evita la pérdida de más de la mitad del oasis cultivado).

Además, el agua ahorrada podrá destinarse a nuevos desarrollos de alto valor. La seguridad hídrica quedará garantizada para la población de San Juan y su economía, incluso bajo condiciones climáticas mucho más secas que las actuales

Recomendaciones clave para decisión política

En base al análisis, el Plan Maestro recomienda a las autoridades provinciales tomar decisiones inmediatas y sostenidas en los siguientes puntos prioritarios:

Liderar un programa agresivo de eficiencia hídrica: Declarar la eficiencia en el uso del agua como política de Estado, asignando recursos para modernizar el riego agrícola a gran escala. Esto incluye lanzar programas masivos de tecnificación (primero riego por mangas, luego goteo) con financiamiento público-privado y asistencia técnica, priorizando valles con mayor déficit. La meta estratégica es lograr >85% de eficiencia para 2050, por lo que cada año cuenta.

Fortalecer la gestión y el monitoreo del recurso: Implementar de inmediato un sistema integrado de gestión hídrica provincial. Esto abarca: medir extracciones (caudalímetros en pozos y canales), monitorear niveles de acuíferos, y usar telemetría para conocer en tiempo real la disponibilidad. Con esa información, adoptar una distribución flexible que ajuste entregas según la oferta y necesidades prioritarias.

Inversiones en infraestructura: Asegurar financiamiento para las obras clave (revestimientos, reservorios, redes presurizadas) e incorporar componentes de automatización y control en todos los proyectos. Cada nueva obra debe venir equipada con tecnología para administrar el agua eficientemente multiplicando el impacto de la inversión.

Instrumentos económicos y normativa para uso sostenible: Establecer un marco regulatorio moderno que incentive el ahorro. Se sugiere implementar gradualmente esquemas de tarificación o cobro por volumen de agua de riego una vez instalados los medidores. Esto creará conciencia del valor del agua y fomentará que el productor invierta en eficiencia.

En conclusión, San Juan tiene la oportunidad de transformar su crisis hídrica en un modelo de gestión ejemplar. Las acciones detalladas —si se ejecutan con decisión política, financiamiento adecuado y participación de los usuarios— permitirán asegurar agua para las próximas generaciones, protegiendo tanto el oasis productivo como el consumo humano, aún bajo las condiciones desafiantes del cambio climático.

1.3 Contexto Provincial. Crisis Hídrica Estructural

San Juan es una provincia que depende del agua de la cordillera para su desarrollo. Su geografía se ubica dentro de la llamada “diagonal árida” Latinoamericana, una franja extensa de territorio semiárido, donde las lluvias son escasas, las temperaturas y la demanda de los cultivos son muy elevadas. En este entorno, la producción, la vida urbana y el desarrollo sólo son posibles gracias a un sistema de oasis irrigados, que ocupan menos del 3% del territorio provincial, pero concentran más del 90% de la población y la actividad económica.

Estos oasis dependen casi exclusivamente de dos ríos: San Juan y Jáchal, ambos alimentados por nieve acumulada en la cordillera de los Andes. La dependencia de los oasis a los ríos es total: sin ellos, no hay agricultura, ni agua potable, ni energía hidroeléctrica. Existen, además, el oasis generado por el río del Valle, que alimenta la zona de valle Fértil, también dependiente de los escurrimientos de este último.

Las condiciones naturales sobre las que se basa este modelo de uso del agua de deshielo es frágil, y el cambio climático las está llevando al límite. Las proyecciones muestran una reducción de hasta 40% en la oferta de agua disponible al año 2050, producto de la menor acumulación de nieve, cambios en los patrones de deshielo, y mayor evaporación por temperaturas extremas.

A esto se suma un uso ineficiente: el sistema de riego agrícola, que absorbe más del 90% del agua disponible, tiene hoy una eficiencia global promedio de apenas 42%. El resto del recurso se pierde en fugas, infiltraciones y evaporación. Este nivel de ineficiencia no es sostenible: genera déficits estructurales cada vez mayores, y obliga a una explotación de los acuíferos subterráneos, para cerrar la brecha, generando una importante extracción de agua subterránea.

1.4 Objetivos del Plan Maestro

El Plan Maestro del Sector Hídrico es una hoja de ruta para transformar la gestión del agua en la Provincia de San Juan. Es un estudio técnico exploratorio que busca ser una herramienta de gestión, diseñada para orientar decisiones, inversiones y acciones que lleven al sistema a ser sostenible de aquí a 2050.

Sus objetivos estratégicos son claros y medibles:

- **Garantizar la seguridad hídrica** en todos los sectores, priorizando la sostenibilidad a largo plazo por encima de respuestas reactivas.
- **Equilibrar la oferta y la demanda**, anticipando el crecimiento poblacional y económico, y evitando crisis futuras.
- **Elevar la eficiencia del sistema** hídrico integral —desde la captación hasta el uso final—. La meta es pasar de **42% de eficiencia actual a más del 85%**, a través de inversiones en infraestructura, riego tecnificado y gestión integrada.

- **Priorización inteligente de los usos del agua:** mantener y mejorar la productividad agrícola, asegurar el abastecimiento poblacional y planificar el crecimiento industrial y minero.
- **Orientar inversiones públicas y privadas** con criterios de rentabilidad.

1.5 Alcance, Cobertura y Horizonte Temporal

Este plan abarca todas las variables críticas del sistema hídrico de la provincia y se concentra en tres cuencas clave:

- **Cuenca del Río San Juan:** es el eje del sistema hídrico y productivo de la provincia. Aquí se localiza la mayor parte de la superficie irrigada, los grandes diques y canales, y las principales ciudades.
- **Cuenca del Río Jáchal:** abastece zonas con fuerte desarrollo agroindustrial y enfrenta desafíos específicos de calidad de agua y crecimiento de la actividad minera.
- **Valle Fértil:** enfrenta desafíos asociados a la escasez y manejo del recurso hídrico, con una alta dependencia del río del Valle y de acuíferos de limitada capacidad.

El horizonte temporal se extiende desde 2025 hasta 2050. Este periodo permite planificar con realismo la ejecución de obras, la modernización del sistema y los procesos de adopción tecnológica.

CAPITULO 2: Situación Actual

2.1 Disponibilidad actual de los recursos hídricos

Recursos Hídricos Superficiales

El río San Juan se desarrolla en un ambiente semiárido, donde las precipitaciones son escasas (menos de 200 mm anuales en gran parte de la cuenca) y se concentran principalmente en la Cordillera, con valores algo superiores a 300 mm.

Su régimen es nival, con mayores caudales en primavera y verano debido al deshielo, y con disminuciones en sus caudales en invierno.

En la zona precordillerana, el río recibe aportes de cauces temporarios asociados a tormentas estivales, que generan torrentes y abanicos aluviales de considerable extensión.

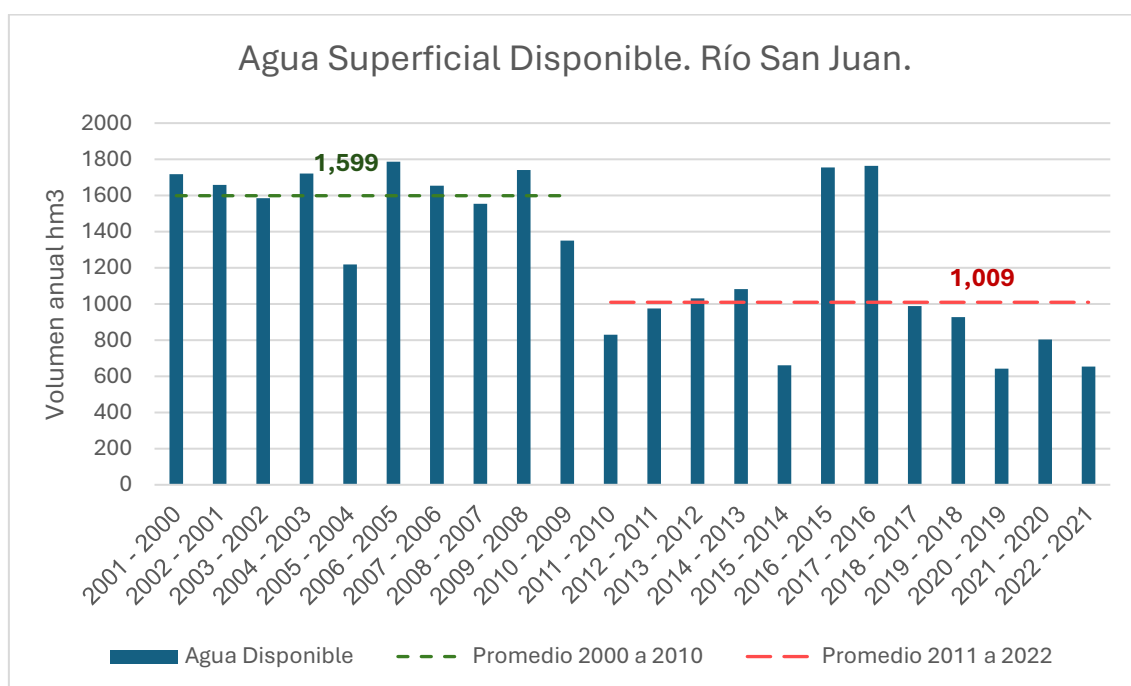


Figura 2-1: Agua superficial disponible. Río San Juan. Período 2000 a 2022

Durante el periodo 2000-2022 el río San Juan presentó un derrame medio anual del orden de 1.300 hm³. Esta oferta presenta una alta variabilidad interanual: en años húmedos los derrames pueden acercarse a 1.800 hm³/año mientras que en años muy secos los valores mínimos han caído por debajo de 800 hm³ (incluso cercanos a 650 hm³ en sequías extremas).

Al desagregar en dos etapas se observa una clara tendencia: entre 2000–2010 el volumen promedio anual fue del orden de 1.600 hm³/año, mientras que entre 2011–2022 disminuyó a valores cercanos a 1.000 hm³/año. Esta marcada fluctuación y descenso en la oferta hídrica tensiona el sistema de riego y demás usos del agua: En la práctica esto implica presiones crecientes sobre los recursos disponibles y dificulta la planificación a largo plazo, pues la incertidumbre en las nieves obliga a ajustar continuamente las asignaciones para uso agrícola.

A pesar de que la cuenca presenta una gran capacidad de embalse en comparación con otras cuencas similares en la República Argentina, esta capacidad de almacenamiento no fue suficiente para amortiguar las fluctuaciones interanuales.

El río Jáchal se desarrolla en un ambiente árido y semiárido, con precipitaciones medias anuales muy bajas. Este contexto limita los aportes locales y hace que el río dependa en gran medida de las nieves cordilleranas, las cuales determinan su caudal.

Su régimen es predominantemente nival, con mayores caudales en primavera y verano producto del deshielo, mientras que en períodos de estiaje el caudal disminuye de forma significativa

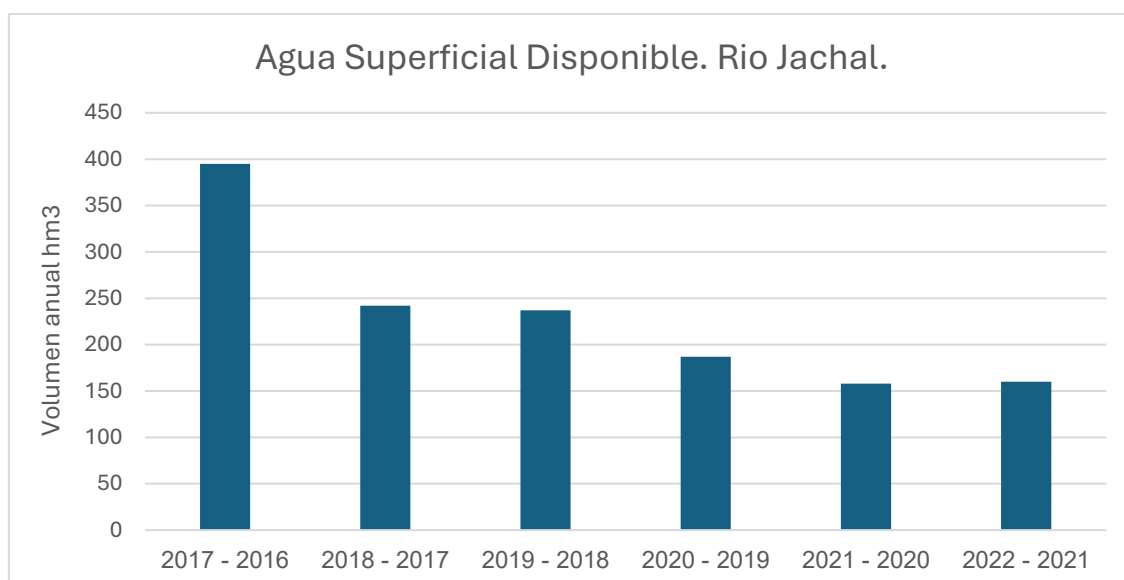


Figura 2-2: Agua superficial disponible. Río Jáchal. Período 2016 a 2022

En la cuenca del río Jachal se ha observado una fuerte disminución en los derrames en los últimos años, tal como se puede apreciar en el gráfico adjunto. Esta tendencia sugiere que la cuenca del río Jachal también está experimentando cambios significativos en su régimen hídrico, lo que podría tener implicaciones importantes para la gestión de los recursos hídricos en la región

Recursos Hídricos Subterráneos

El agua subterránea representa una fuente importante en el sistema hídrico de San Juan, tanto como complemento de la oferta superficial como en zonas donde los caudales superficiales son escasos o inexistentes. Su uso ha crecido sostenidamente en las últimas décadas, en parte por el déficit estructural del sistema de riego, pero también por la expansión de actividades productivas en regiones con baja cobertura de redes de distribución. Esta presión creciente ha generado procesos de sobreexplotación en varias cuencas, con descensos de niveles freáticos y riesgos de degradación cualitativa.

El balance general muestra una disponibilidad teórica total superior a los 670 hm³/año, distribuida de manera heterogénea entre las principales cuencas. Sin embargo, la disponibilidad efectiva está condicionada por la recarga natural, la infraestructura de captación, los niveles de explotación histórica y la calidad del recurso.

La cuenca del Río San Juan concentra la mayor disponibilidad subterránea, estimada en 470 hm³/año, especialmente en el acuífero del Valle de Tulum. Sin embargo, su nivel de explotación es crítico: el descenso sostenido de los niveles piezométricos en los últimos años confirma un desequilibrio entre extracción y recarga. La tendencia es descendente, con riesgo creciente de deterioro del acuífero, incluyendo salinización, descenso de niveles y pérdida de presión.

En el caso del Río Jáchal, la disponibilidad subterránea ronda los 120 hm³/año, utilizada principalmente para complementar el riego agrícola en zonas alejadas del oasis principal. Aunque el nivel de explotación es moderado, la tendencia es estable y no se reportan situaciones de estrés grave, aunque sí existe vulnerabilidad a contaminaciones puntuales.

La cuenca de Valle Fértil presenta una disponibilidad mucho más limitada, estimada en 15 hm³/año, y un uso intensivo en actividades agropecuarias. El nivel de explotación es alto, con tendencia descendente, dado que el acuífero no tiene capacidad de recarga suficiente para sostener la extracción actual sin comprometer su sostenibilidad.

Otras zonas del norte y oeste provincial, como Huaco, Hualilán o Calingasta-Barreal, muestran valores de disponibilidad más acotados. En estos casos, la explotación es baja o moderada y las tendencias son estables, pero la calidad del agua puede ser limitante para ciertos usos productivos

2.2 Demanda hídrica actual

La evaluación de la demanda hídrica actual en la provincia de San Juan permite comprender el peso relativo de cada sector (agrícola, poblacional, industrial y minero) en las distintas cuencas, así como las presiones existentes sobre los recursos. Este diagnóstico es fundamental para orientar la planificación de infraestructura, eficiencia de uso y priorización estratégica.

La cuenca del río San Juan concentra la mayor proporción de la demanda total de agua a nivel provincial, tanto por su densidad poblacional como por su importancia agrícola. La demanda agrícola actual alcanza los 1.681 hm³/año, representando el 89% de la demanda total. Este volumen está asociado a una amplia superficie bajo riego, con predominancia de cultivos permanentes como vid, olivo, pistacho y hortalizas.

Tabla 2-1: Superficie cultivada Cuenca río San Juan.

Cultivo	Riego por Manto (Superficial tradicional)	Riego por mangas (Riego tecnificado superficial)	Riego por goteo (Riego tecnificado fuente subterránea)	Total Cultivado (ha)
Vid	30.954	7.730	1.000	39.684
Olivo	825	3.635	12.040	16.500
Pistacho	300	300	5.400	6.000
Tomate	60	2.940	0	3.000
Ajo y Cebolla	1.200	800	0	2.000
Semilla	435	1.015	0	1.450
Otros	4.050	450	0	4.500
Total	37.824	16.870	18.440	73.134

El uso poblacional también tiene un peso considerable en esta cuenca, con una demanda de 192,05 hm³/año, un 10% del total, impulsada principalmente por la concentración urbana del Gran San Juan, donde se localiza la mayor parte de la población de la provincia. Esta demanda incluye tanto el uso doméstico como las pérdidas en el sistema de distribución.

Los usos industriales alcanzan un volumen de 9,04 hm³/año un 0.5% de la demanda total. Se trata principalmente de establecimientos vinculados a la agroindustria (vitivinícola, olivícola, procesamiento de frutas y hortalizas) y otras actividades manufactureras que dependen del acceso al recurso hídrico. Por su parte, la actividad minera registra una demanda actual de 0,16 hm³/año, siendo aún poco significativa en términos comparativos, pero importante como uso puntual en zonas puntuales de la cuenca.

La cuenca del río Jáchal presenta una estructura de demanda distinta, con menor volumen absoluto pero creciente complejidad sectorial a futuro. La demanda agrícola asciende actualmente a 111,26 hm³/año, un 91% del total, abasteciendo una superficie de menor extensión en comparación con la cuenca del río San Juan. La actividad agrícola incluye cultivos como vid, nogales, frutales y hortalizas, dependiendo en gran medida de las disponibilidades del río Jáchal y sus afluentes.

Tabla 2-2: Superficie cultivada Cuenca río Jáchal.

Cultivo	Riego por Manto (Superficial tradicional) (ha)
Vid	20
Membrillo	500
Semilla	550
Alfalfa	2.000
Ajo y Cebolla	60
Otros	400
Total	3.530

En cuanto al uso poblacional, se estima una demanda actual de 8,48 hm³/año uno 7%, correspondiente a centros urbanos y localidades dispersas de los departamentos de Jáchal e Iglesia. La cobertura de agua potable en esta región depende de fuentes superficiales y subterráneas.

La demanda industrial es marginal, con solo 0,05 hm³/año, pero se destacan pequeñas industrias asociadas al procesamiento local de productos primarios. En cambio, el uso minero adquiere mayor relevancia, con una demanda actual de 2,37 hm³/año, un 2% del total, vinculada a operaciones en Iglesia y Jáchal, donde se desarrollan actividades extractivas con consumo de agua para procesos industriales.

El Valle Fértil presenta una estructura de demanda hídrica mucho más acotada. La única demanda cuantificada en esta cuenca corresponde al uso poblacional, con 2,19 hm³/año. Esta cifra refleja el bajo nivel de urbanización y desarrollo productivo en la región, así como su limitada disponibilidad hídrica superficial. No se reportan usos agrícolas, industriales ni mineros con demanda significativa en esta cuenca. La situación estructural del Valle Fértil evidencia una menor presión sobre el recurso, pero también una capacidad limitada para expandir usos sin comprometer la sostenibilidad local.

En resumen, la demanda hídrica actual en San Juan está fuertemente concentrada en el uso agrícola el 89.4% del total, con altos volúmenes requeridos en las cuencas de San Juan y Jáchal. Los usos poblacionales, aunque de menor volumen un 10%, son estratégicos por su localización en zonas densamente habitadas. Las demandas industriales y mineras aún representan un porcentaje reducido del total un 0,6%, pero con un importante potencial de expansión en determinadas regiones. La comprensión detallada de esta situación de base permite proyectar con mayor precisión los escenarios futuros de presión sobre el recurso.

2.3. Déficit y riesgo hídrico actual

El balance hídrico en la cuenca del río San Juan es deficitario. Frente a los 1.882 hm³ de demanda brutal total anual (considerando usos industriales, mineros, poblacionales y agrícolas) se tiene un valor de 1.350 hm³ de oferta (oferta sostenible

con un 80% de probabilidad). Esto genera un déficit estructural en la cuenca de 532 hm³ por año. En términos prácticos, significa que, para los niveles actuales de eficiencia, existe un 30% de la demanda agrícola que no es satisfecha en su totalidad con agua superficial y es cubierta con agua subterránea y con un cierto nivel de déficit en los cultivos.

Tabla 2-3: Balance hídrico. Situación actual Río San Juan.

Situación Actual y tendencial	2020	2030	2040	2050
Oferta Hídrica Sostenible 80% (Total)	1.350	1.210	990	810
Demanda Poblacional sin Cambio	192	206	222	238
Demanda Industrial	9,04	9,04	9,04	9,05
Demanda Minería	0,16	20,55	24,49	24,49
Oferta Hídrica Sostenible 80% (Descontando uso industrial, minero y poblacional)	1.149	974	735	538
Demanda Agrícola Bruta	1.681	1.765	1.782	1.798
Total Hectáreas Cultivadas	73.134	73.134	73.134	73.134
Demanda neta media de los cultivos mm/año	977	1.026	1.036	1.046
Déficit Bruto	532	791	1.047	1.260
Déficit Neto	226	336	445	536
Déficit expresado en superficie cultivada (ha)	23.148	32.766	42.971	51.254
Superficie a cultivar con déficit cero (ha)	49.986	40.368	30.163	21.880

Las causas de este déficit son múltiples: la fuerte dependencia de los recursos superficiales y subterráneos (sobreexplotación de acuíferos), la baja eficiencia de los sistemas de riego y los efectos del cambio climático.

Tabla 2-4: Superficie cultivada por fuente y tipo de riego. Cuenca río San Juan.

Fuente de suministro	Superficie (ha)	Eficiencia de aplicación (%)	Eficiencia de conducción (%)
Agua superficial, riego por gravedad	37.824	50%	66%
Agua superficial, riego tecnificado	16.870	70%	66%
Agua subterránea riego tecnificado	18.440	85%	100%

Actualmente, apenas la mitad del agua llevada al campo riega eficazmente el cultivo. La eficiencia global de riego en la cuenca se estima en solo 42%, pues el 52% del área regada todavía usa sistemas por manto (inundación) con eficiencia

típica ~50%. En la cuenca existen unos 73.134 ha cultivadas (vid, olivo, pistacho, etc.) con 37.824 ha bajo riego tradicional por manto y 16.870 ha por riego tecnificado. Esa baja eficiencia de conducción y aplicación significa que gran parte del agua derivada se pierde antes de llegar a la raíz.

En contraste, **la cuenca del río Jáchal** no presenta, actualmente, déficits estructurales en su balance hídrico. Su derrame medio es menor frente al del río San Juan (se estima en torno a 192 hm³ disponibles), pero las demandas son proporcionalmente mucho más reducidas. El área cultivada asciende sólo a 3.530 ha (dominada por alfalfa, membrillo y algunos frutos de porte tradicional), y prácticamente todo el riego es por inundación (“riego por manto”).

Esto implica que, aunque la eficiencia de aplicación también es baja (~50%), los volúmenes requeridos son modestos. Para la década del 2020, según el balance hídrico elaborado para la cuenca, la oferta sostenible (al 80% confiabilidad) es de 410 hm³ y la demanda agrícola bruta sólo de 111 hm³. Además, los requerimientos poblacionales e industriales son mínimos (8–9 hm³ población y ~9 hm³ industria). En conjunto, las demandas totales están cubiertas holgadamente. De hecho, el balance integrado muestra un excedente hídrico de 288 hm³ en 2020.

Tabla 2-5: Balance hídrico. Cuenca Río Jáchal. Situación actual.

Mejora de la eficiencia de Aplicación	2020	2030	2040	2050
Oferta Hídrica Sostenible 80% (Total)	410	370	300	250
Demanda Poblacional	8	9	9	9
Demanda Industrial	≈0	≈0	≈0	≈0
Demanda Minería	2	29	31	31
Oferta Hídrica Sostenible 80% (Descontando uso industrial, minero y poblacional)	400	332	260	210
Demanda Agrícola Bruta	111	115	115	116
Total hectáreas cultivadas	3.530	3.530	3.530	3.530
Demanda neta media de los cultivos mm/año	977	1.026	1.036	1.046
Excedentes en la cuenca	289	217	145	94

Por ello, en la cuenca del Jáchal no existe actualmente déficit hídrico, sino superávit, situación que se prolonga hacia adelante aún bajo escenarios de

crecimiento. El rol del principal embalse (Cuesta del Viento) ha ayudado a estabilizar caudales estacionales, similar a las presas en San Juan.

CAPITULO 3: Situación Proyectada a futuro

3.1 Disponibilidad futura de los recursos hídricos

Generalidades

El concepto de oferta hídrica sostenible implica evaluar la cantidad de agua que puede ser utilizada en cada década futura (2030, 2040, 2050) bajo niveles de confiabilidad aceptables, considerando la variabilidad climática esperada, las capacidades de infraestructura de captación y almacenamiento, y las eficiencias de uso actuales y proyectadas.

Oferta sostenible Río San Juan

En el gráfico a continuación, se presentan las proyecciones realizadas para el río San Juan, bajo el escenario SSP5.85 del cambio climático. En la cuenca del Río San Juan la capacidad de almacenamiento actual es de 1.358 hm³.

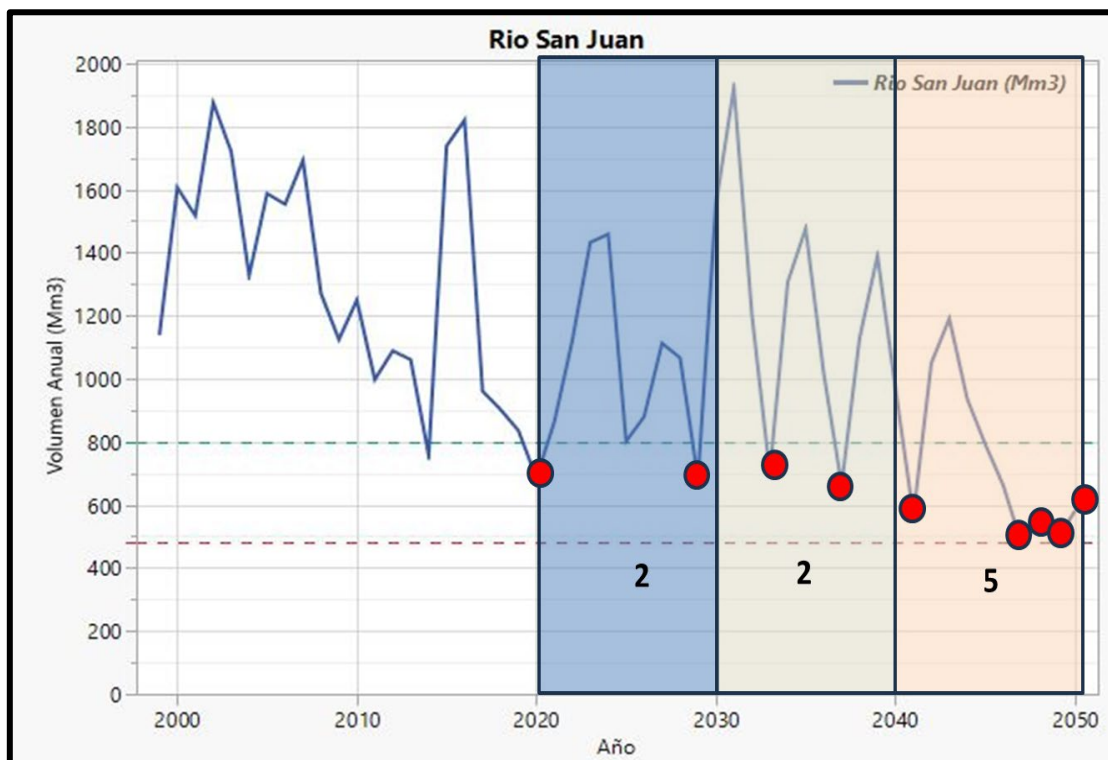


Figura 3-1: Proyección de caudales anuales en el río San Juan.

Las proyecciones de derrames muestran una situación compleja a futuro. Bajo un escenario de alta variabilidad en la presentación de los derrames, algo

característico de los ríos de San Juan, se observa una tendencia decreciente en los derrames a futuro, eso se observa en el gráfico anterior donde los mínimos cada vez son menores, independiente de que existan años con derrames considerables

El análisis siguiente se centra en establecer niveles de abastecimiento, definido como volúmenes anuales que el sistema es capaz de abastecer, para diferentes niveles de confiabilidad, considerando la capacidad de almacenamiento actual del sistema.

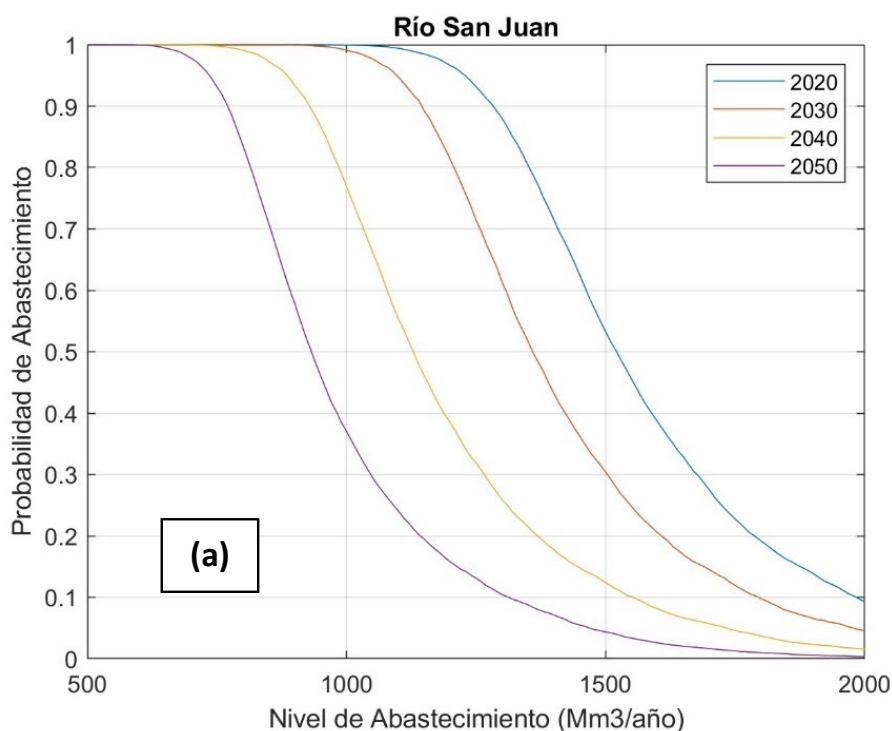


Figura 3-2: Río San Juan variación de, (a) Probabilidad de Abastecimiento, para 2020, 2030, 2040 y 2050.

El gráfico muestra la probabilidad de abastecimiento (eje vertical) en función del nivel de abastecimiento anual ($\text{hm}^3/\text{año}$) (eje horizontal), simulada para los años 2020, 2030, 2040 y 2050, considerando una capacidad de almacenamiento fija de 1.358 hm^3 . Se destaca que:

- A medida que se incrementa el nivel de abastecimiento requerido, la probabilidad de cumplirlo disminuye.

- Las curvas se desplazan progresivamente hacia la izquierda con el paso de las décadas, lo que indica una reducción sostenida de la disponibilidad hídrica bajo los escenarios de cambio climático (SSP5-8.5).
- En 2020, un nivel de abastecimiento cercano a 1.300 hm³/año puede sostenerse con una probabilidad del 80-90%.
- En 2050, para alcanzar esa misma probabilidad, el nivel máximo de abastecimiento posible se reduce a entre 750 y 800 hm³/año, reflejando una pérdida del orden del 40 % respecto del valor actual.

Este comportamiento resume el impacto del cambio climático y la disminución de los caudales proyectados, donde la mayor frecuencia de años secos reduce la confiabilidad del sistema incluso manteniendo constante la infraestructura de almacenamiento

Tabla 3-1: Nivel de Abastecimiento. Cuenca del Río San Juan.

Nivel de Confiabilidad	90%				80%				
	Década	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Nivel de Abastecimiento (hm ³)		1.280	1.150	930	770	1.350	1.210	990	810
Abastecimiento Promedio (Hm ³)		1.259	1.129	911	755	1.303	1.164	946	778
Déficit Promedio (hm ³)		215	197	182	156	242	225	209	170

Como conclusiones generales se tiene:

- El río San Juan experimentará una disminución marcada de los caudales disponibles, con reducciones del orden del 12 %, 30 % y 43 % para 2030, 2040 y 2050 respectivamente
- En consecuencia, los niveles de abastecimiento sostenible se reducen en proporción, afectando la confiabilidad del suministro.
- Con la capacidad actual de almacenamiento (1.358 hm³), no es posible mantener los niveles de abastecimiento actuales a mediano y largo plazo.
- Aumentar la capacidad de embalse mejora la confiabilidad, pero no incrementa sustancialmente el volumen medio abastecido (menos de 10

hm³ adicionales), por lo que las soluciones estructurales por sí solas no compensan la tendencia climática.

- Para garantizar la sostenibilidad, se recomienda reducir progresivamente la demanda total, mejorando la eficiencia en la conducción y aplicación del riego, aunque incluso con máximas eficiencias persistirá un déficit estructural en la cuenca.

Oferta sostenible Río Jáchal

El río Jáchal, aunque con menor volumen que el San Juan, reviste gran importancia para el abastecimiento del norte de la provincia y la actividad agrícola y minera de la zona. El embalse Cuesta del Viento desempeña un rol fundamental para el almacenamiento y la regulación de caudales de esta cuenca.

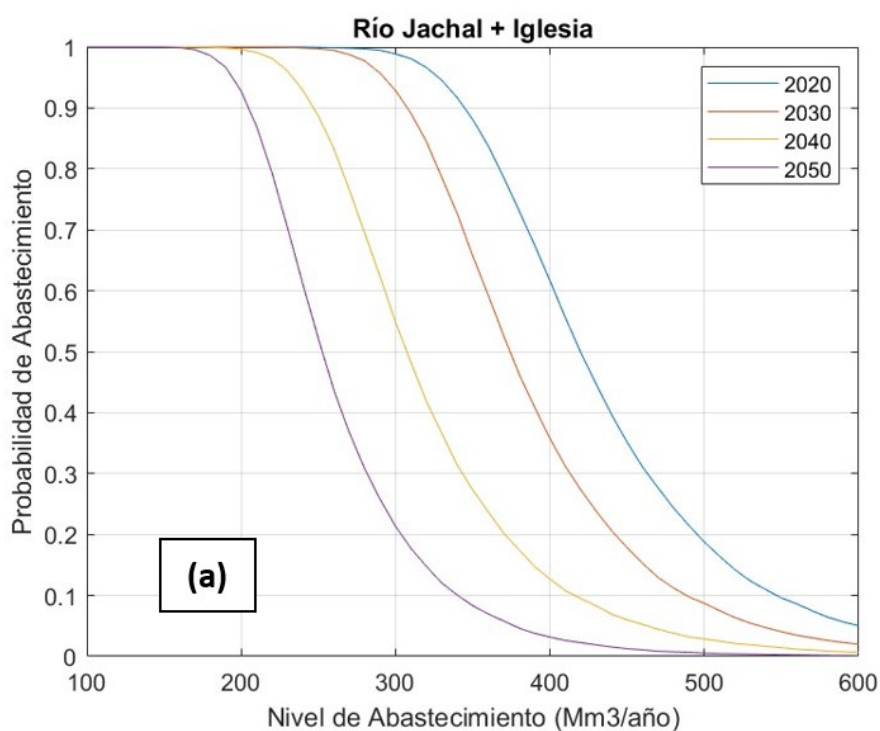


Figura 3-3: Río Jáchal-Iglesia variación de, (a) Probabilidad de Abastecimiento

El gráfico representa la probabilidad de abastecimiento (eje vertical) frente al nivel de abastecimiento anual (hm³/año) (eje horizontal), simulada para los períodos 2020, 2030, 2040 y 2050, considerando una capacidad de almacenamiento fija de 192 hm³ (presa Cuesta del Viento).

- Las curvas muestran una tendencia descendente y progresivamente desplazada hacia la izquierda, lo que refleja una reducción del caudal medio disponible y una menor confiabilidad del sistema a lo largo del tiempo.
- En 2020, un nivel de abastecimiento del orden de 340–370 hm³/año puede sostenerse con una confiabilidad del 90–80%, respectivamente.
- Para 2050, el mismo nivel de confiabilidad sólo puede alcanzarse con volúmenes de 200–220 hm³/año, lo que implica una caída cercana al 40 % en la oferta sostenible

La tabla complementa el gráfico cuantificando los resultados simulados para niveles de confiabilidad del **90 % y 80 %**.

Nivel de Confiabilidad	90%				80%			
Década	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Nivel de Abastecimiento (hm ³)	340	310	250	200	370	330	260	220
Abastecimiento Promedio (hm ³)	336	305	245	198	357	318	252	211
Déficit Promedio (hm ³)	44	44	42	32	59	54	47	42

Tabla 3-2: Nivel de Abastecimiento, Abastecimiento Promedio y Déficit Promedio en la cuenca del Río Jáchal-Iglesia para Niveles de confiabilidad del 90 y 80% (2020, 2030, 2040 y 2050), 192 Mm³.

Como conclusiones generales se tiene:

- Las proyecciones muestran una reducción progresiva de la oferta hídrica del orden del 40 % hacia 2050, coherente con las tendencias climáticas estimadas para la región andina norte de San Juan.
- Pese a esta disminución, la cuenca no presenta déficit estructural significativo en el horizonte analizado, ya que la demanda actual y proyectada se mantiene por debajo de los niveles de abastecimiento sostenible.
- El sistema Jáchal-Iglesia muestra una resiliencia mayor que el río San Juan debido a su menor presión de demanda.

- Las proyecciones confirman que no se prevén déficits hídricos críticos hasta 2050, siempre que se mantenga el régimen de demanda actual. Sin embargo, para permitir una expansión futura de la demanda (ya sea por incremento de la actividad minera o por ampliación de la superficie agrícola) será imprescindible aumentar la eficiencia del sistema, tanto en la conducción como en la aplicación del riego.

En síntesis, el análisis del río Jáchal-Iglesia muestra que, aunque el cambio climático reducirá los volúmenes medios anuales, el sistema mantendrá una alta capacidad de abastecimiento hasta mediados de siglo, presentando condiciones de sostenibilidad mucho más favorables que la cuenca del río San Juan.

Potencial de uso del agua tratada

El Plan Maestro para la Gestión Hídrica de San Juan tiene como uno de sus ejes centrales la diversificación de fuentes y la mejora integral de la eficiencia del sistema. En ese marco, el uso de agua tratada (proveniente de efluentes cloacales y otras aguas residuales urbanas o industriales) representa una alternativa con alto potencial, particularmente en un escenario de reducción estructural de la oferta superficial y creciente presión sobre los acuíferos.

Fundamentos para su desarrollo:

- El sistema hídrico provincial se enfrenta a un contexto adverso:
- Reducción proyectada del 40% en la oferta superficial a 2050.
- Eficiencia global del riego inferior al 42%.
- Dependencia crítica de aguas subterráneas, con acuíferos sobreexplotados y tendencia descendente de los niveles piezométricos en zonas clave como el Valle de Tulum.

Ante este escenario, el uso de agua tratada se presenta como una fuente complementaria viable, especialmente en áreas periurbanas con infraestructura de saneamiento existente o planificada. Este recurso tiene la ventaja de estar disponible de manera continua, cerca de zonas agrícolas de demanda media o

baja, y con la posibilidad de ser utilizado con tratamientos adecuados según destino (cultivos forrajeros, forestales, áreas verdes o recarga de acuíferos).

Además, su integración permitiría:

- Disminuir la presión sobre fuentes naturales críticas.
- Mejorar la eficiencia general del sistema mediante sustitución de agua de alta calidad en usos no prioritarios.
- Avanzar en prácticas de economía circular y sostenibilidad ambiental.
- Integración en la planificación

El uso de aguas tratadas como fuente alternativa es coherente con los objetivos centrales del Plan Maestro: sostenibilidad, eficiencia, adaptación al cambio climático y rentabilidad en el uso del recurso. El potencial existe, y su desarrollo permitirá a San Juan avanzar hacia una matriz hídrica más diversificada.

3.2 Demanda hídrica proyectada

La proyección de la demanda hídrica al año 2050 permite anticipar los desafíos que enfrentará la gestión del recurso en la provincia de San Juan. El análisis contempla las tendencias demográficas, el crecimiento sectorial y las expectativas de uso productivo, a fin de estimar la presión futura sobre cada cuenca.

La cuenca del río San Juan continuará siendo el centro neurálgico de la demanda hídrica provincial. Se proyecta que la demanda agrícola alcanzará los 1.798 hm³/año, lo que representa un aumento en relación con la situación actual. Este crecimiento está vinculado al aumento de la demanda de los cultivos por el cambio climático, no contempla cambios en la superficie cultivada ni en los cultivos.

En cuanto a la demanda poblacional, se espera un incremento significativo, alcanzando los 238,42 hm³/año. Este crecimiento refleja el aumento proyectado de la población en el Gran San Juan y zonas periurbanas, y consolida la tendencia de urbanización sostenida.

EL cambio esperado más relevante se proyecta en el sector minero, cuya demanda pasará de 0,16 a 24,49 hm³/año, es decir, más de 150 veces el volumen actual. Este

salto responde al desarrollo de nuevos proyectos extractivos, especialmente en zonas de precordillera, que demandarán agua para procesamiento, servicios auxiliares y campamentos.

La demanda industrial, por su parte, se mantendría estable en torno a 9,06 hm³/año, sin cambios significativos esperados.

En la cuenca del río Jachal, la demanda agrícola proyectada será de 115,71 hm³/año, manteniendo la importancia del sector con un crecimiento leve respecto a la actualidad. La proyección indica solamente el cambio por aumento de la demanda de los cultivos referidas al cambio climático.

La demanda poblacional se proyecta en 9,25 hm³/año, también con una tasa de crecimiento moderada.

Sin embargo, el salto más notable corresponde al sector minero, que pasará de 2,37 a 31,17 hm³/año, consolidando su rol como segundo mayor consumidor de la cuenca en el horizonte 2050. Esta expansión está asociada al desarrollo de proyectos mineros metalíferos en zonas altas y medias de la cuenca.

El uso industrial se mantendría sin cambios, con una demanda estable de 0,05 hm³/año.

En términos generales, el escenario proyectado al 2050 muestra:

- Un aumento sostenido de la demanda poblacional en las tres cuencas.
- Estabilidad o crecimiento moderado de la demanda agrícola, siempre y cuando se mantenga la superficie cultivada actual.
- Un crecimiento exponencial de la demanda minera, particularmente en las cuencas del San Juan y del Jáchal, que introduce una nueva dimensión de competencia por el agua.
- Una estabilidad estructural en el Valle Fértil, que se mantendría con niveles bajos de demanda total.

3.3. Déficit y riesgo hídrico proyectado

En la **cuenca del río San Juan** las proyecciones climáticas indican una notable reducción de los caudales hacia mediados de siglo. Según los escenarios evaluados, el incremento de temperaturas y el menor aporte nival llevarían a una caída de alrededor del 40% en los recursos hídricos disponibles para 2050.

En cifras, la oferta hídrica sostenible del río San Juan caería de 1.350 hm³/año actuales a unos 810 hm³/año en 2050. Esta merma del suministro es consecuencia directa de los supuestos climáticos: tendencias de altas temperaturas, menos precipitación en forma de nieve y mayor evapotranspiración.

En paralelo, las demandas futuras tienden a aumentar por factores de crecimiento y clima. Se estima que, manteniendo la superficie actual irrigada, la demanda agrícola bruta podría crecer (por mayor evapotranspiración) de 1.681 hm³/año en 2020 a 1.798 hm³/año en 2050 si no se aplica ninguna mejora en riego. Esto en conjunto con la reducción de la oferta agrava el actual déficit.

El balance proyectado bajo un escenario tendencial (sin inversiones) muestra que el déficit bruto pasaría de 532 hm³/año en 2020 a 1.260 hm³/año en 2050. Dicho de otro modo, hacia 2050 la demanda agrícola y otros usos superarían en más del doble la oferta hídrica disponible.

Este incremento de la brecha (demanda – oferta) se atribuye “a la disminución de la oferta hídrica sostenible (de 1.350 a 810 hm³/año) y al aumento en las demandas, especialmente agrícolas, debido al cambio climático y la baja eficiencia (42%)”. En consecuencia, la superficie que se podría regar sin déficit se reduce drásticamente: del orden de 50.000 ha actuales a apenas ~22.000 ha útiles en 2050 sin intervenciones.

Tabla 3-3: Balance hídrico. Situación proyectada. Río San Juan.

Situación Actual y tendencial	2020	2030	2040	2050
Oferta Hídrica Sostenible 80% (Total)	1.350	1.210	990	810
Demanda Poblacional sin Cambio	192	206	222	238
Demanda Industrial	9,04	9,04	9,04	9,05
Demanda Minería	0,16	20,55	24,49	24,49
Oferta Hídrica Sostenible 80% (Descontando uso industrial, minero y poblacional)	1.149	974	735	538
Demanda Agrícola Bruta	1.681	1.765	1.782	1.798
Total Hectáreas Cultivadas	73.134	73.134	73.134	73.134
Demanda neta media de los cultivos mm/año	977	1.026	1.036	1.046
Déficit Bruto	532	791	1.047	1.260
Déficit Neto	226	336	445	536
Déficit expresado en superficie cultivada (ha)	23.148	32.766	42.971	51.254
Superficie a cultivar con déficit cero (ha)	49.986	40.368	30.163	21.880

Estos resultados remarcan desafíos críticos para la planificación. El creciente déficit implica que, de mantenerse las prácticas actuales, en 2050 la cuenca enfrentará una situación “crítica” con un severo recorte de la producción agrícola sostenible.

En **la cuenca del río Jáchal** también se prevén reducciones en la oferta, aunque la disponibilidad original es menor. El estudio estima que la oferta sostenible (80% confiabilidad) bajaría de 410 hm³/año en 2020 a unos 250 hm³/año en 2050 (aproximadamente un 40% menos, similar al San Juan).

Sin embargo, en Jáchal las demandas también aumentan, en especial debido al crecimiento proyectado del sector minero. En el balance se considera que la demanda minera pasaría de 2,4 hm³ en 2020 a ~31,2 hm³ en 2040, mientras que la demanda agrícola bruta crecería solo marginalmente (de 111 a 116 hm³). Aun bajo estas proyecciones, la cuenca mantiene excedentes significativos. De acuerdo con la tabla de balance, el superávit hídrico se reduciría de 288 hm³ actuales a 94 hm³ en 2050, pero sin llegar a déficit. Dicho de otro modo, incluso con menor oferta y mayor minería, la oferta neta (tras descontar población, industria y minería) sigue excediendo la demanda agrícola en decenas de hm³.

Tabla 3-4: Balance hídrico. Cuenca Río Jáchal. Situación actual.

Mejora de la eficiencia de Aplicación	2020	2030	2040	2050
Oferta Hídrica Sostenible 80% (Total)	410	370	300	250
Demanda Poblacional	8	9	9	9
Demanda Industrial	≈0	≈0	≈0	≈0
Demanda Minería	2	29	31	31
Oferta Hídrica Sostenible 80% (Descontando uso industrial, minero y poblacional)	400	332	260	210
Demanda Agrícola Bruta	111	115	115	116
Total hectáreas cultivadas	3.530	3.530	3.530	3.530
Demanda neta media de los cultivos mm/año	977	1.026	1.036	1.046
Excedentes en la cuenca	289	217	145	94

No obstante, se enfatiza que sería prudente aumentar la eficiencia del uso del agua para preservar esta seguridad hídrica. Por ejemplo, la conversión a riego tecnificado (goteo o mangas) y la reducción de pérdidas en conducción permitirían reducir aún más las demandas brutas, incrementando el caudal disponible para otros usos sin sacrificar cultivos.

Desde el punto de vista de la planificación, el hecho de que los excedentes persistan implica que hay margen para atender nuevas demandas (como minería o expansión agrícola) sin entrar en déficit inmediato. Sin embargo, dadas las proyecciones de sequías más frecuentes, mantener eficiencias altas y considerar asignaciones de agua adecuadas serán claves. En síntesis, los modelos proyectan para la cuenca Jáchal una oferta decreciente, pero una demanda que permanecerá por debajo de dicha oferta, con un excedente previsto de unos 94 hm³ en 2050. Esto indica que, a diferencia del San Juan, la cuenca Jáchal no estaría limitada por el déficit hídrico en el horizonte 2050, aunque requerirá estrategias de gestión para retener ese excedente y atender usos crecientes.

CAPITULO 4: Estrategias de Intervención

4.1 Contexto general

La definición de una estrategia de intervención efectiva requiere articular las proyecciones de la demanda hídrica con las restricciones actuales y futuras de la oferta, bajo los efectos del cambio climático y incremento en los volúmenes de demanda de los demás usos. En este sentido, se han evaluado diferentes alternativas de inversión para responder a la necesidad de alcanzar un equilibrio hídrico sostenible y asegurar la viabilidad productiva y poblacional de los sistemas.

Las proyecciones hídricas al 2050 indican un escenario de creciente presión sobre el recurso. Por un lado, se espera un aumento sostenido de la demanda, tanto por expansión agrícola como por crecimiento poblacional y desarrollo minero. Por otro, se proyecta una reducción de la oferta hídrica del orden del 40%, producto del cambio climático, principalmente debido a la menor acumulación nival que alimenta los ríos San Juan y Jáchal.

En este contexto, el único mecanismo viable para sostener la actividad y mitigar la escasez es la mejora sustancial en la eficiencia del uso del agua. Hoy la eficiencia promedio del sistema es del 42%, y el objetivo estratégico es alcanzar al menos un 85%. Esto implica inversiones en todos los eslabones del sistema: conducción, distribución y aplicación.

La simulación del balance hídrico a futuro, considerando los efectos del cambio climático y diferentes escenarios de eficiencia, permite dimensionar la magnitud de la intervención necesaria. Sin medidas correctivas, el sistema hídrico provincial enfrenta déficits severos en todas las cuencas principales. Por el contrario, si se logra un aumento escalonado de la eficiencia y se implementan mejoras estructurales, es posible acercarse a una situación de equilibrio.

4.2. Estrategia de intervención

Mejora de la eficiencia en el riego

Es el eje central de la estrategia. La baja eficiencia actual genera pérdidas de gran magnitud que agravan el déficit y limitan la disponibilidad efectiva del recurso. El objetivo es llevar la eficiencia de aplicación a valores cercanos al 90% mediante tecnologías presurizadas (riego por goteo y aspersión), y mejorar la eficiencia de conducción a través del revestimiento de canales y la automatización.

Modernización de la infraestructura

La infraestructura existente está obsoleta en muchos tramos, con canales sin revestimiento y baja capacidad de flexibilización en la distribución. Las propuestas incluyen:

- Revestimiento de canales principales y secundarios.
- Instalación de estructuras de distribución que permitan un manejo flexible
- Mejora de redes terciarias y prediales.
- Desarrollo de infraestructura moderna de riego intra-predial
- Implementación de sistema de gestión basada en la medición, control y asignación eficiente del recurso.
- Desarrollo de capacidades institucionales para gestionar los sistemas
- Capacitación de recursos humanos destinados a la operación y mantenimiento de los sistemas

Alternativas evaluadas

El análisis técnico-económico del plan maestro contempló tres niveles de intervención que combinan diferentes componentes de mejora. Las alternativas fueron modeladas para distintos escenarios por cuenca, con variaciones en costos, metas y horizontes de implementación.

Alternativa 1: Mejora en la conducción (infraestructura comunitaria)

Componentes: Revestimiento de canales, y modernización de obras de captación y distribución.

Alcance: Infraestructura comunitaria (canales primarios, secundarios y terciarios).

Eficiencia esperada: Valores globales cercanos al 70%

Marco temporal: Corto y mediano plazo.

Objetivo principal: Reducir pérdidas en el transporte del agua, optimizando el uso colectivo.

Alternativa 2: Mejora en la aplicación (riego intrapredial)

Componentes: Sistemas de riego por goteo o aspersión, obras de almacenamiento en finca, sistemas de control de caudal.

Cobertura: Individual (predios productivos).

Eficiencia esperada: Hasta 90%.

Marco temporal: Mediano y largo plazo.

Objetivo: Maximizar la eficiencia de uso en finca.

Alternativa 3: Solución combinada (conducción + aplicación)

Componentes: Suma de las dos anteriores.

Cobertura: Integral del sistema.

Eficiencia esperada: 85–90%.

Marco temporal: Escalonado en tres etapas: corto, mediano y largo plazo.

Objetivo: La eliminación del déficit hídrico a 2050.

4.3. Escenarios y prioridades por cuenca

El diseño de las inversiones contempla particularidades por cuenca, basadas en los niveles de eficiencia actuales y la disponibilidad hídrica y el perfil de la demanda. A continuación se explora sobre los costos que implica la mejora para la cuenca del río San Juan.

Cuenca del río San Juan: se propone un esquema de implementación de riego por goteo comunitario, que combine eficiencia predial con infraestructura compartida. El objetivo es alcanzar una eficiencia del 85% en las zonas de mayor déficit. Se

prioriza la escalabilidad del sistema, comenzando por bloques productivos organizados y áreas con disponibilidad energética; primero con una mejora en la eficiencia a través de un riego tecnificado por mangas para luego migrar a sistemas de riego por goteo y distribución con canales o tuberías.

4.4. Escalabilidad de las inversiones

La escalabilidad de las inversiones constituye un eje esencial para garantizar la viabilidad financiera y operativa de la estrategia hídrica provincial. El enfoque adoptado combina la progresividad en la implementación con la optimización del rendimiento de cada etapa, priorizando aquellas intervenciones que generen el mayor impacto en la eficiencia del uso del agua.

El análisis técnico-económico de las inversiones realizadas para la cuenca del Río San Juan demuestra que es posible alcanzar una **eficiencia global cercana al 81–85% al año 2050**, mediante una secuencia escalonada de acciones en conducción, distribución y aplicación. Este esquema permite distribuir los costos en el tiempo y asegurar la adaptabilidad del sistema ante distintos escenarios climáticos y económicos.

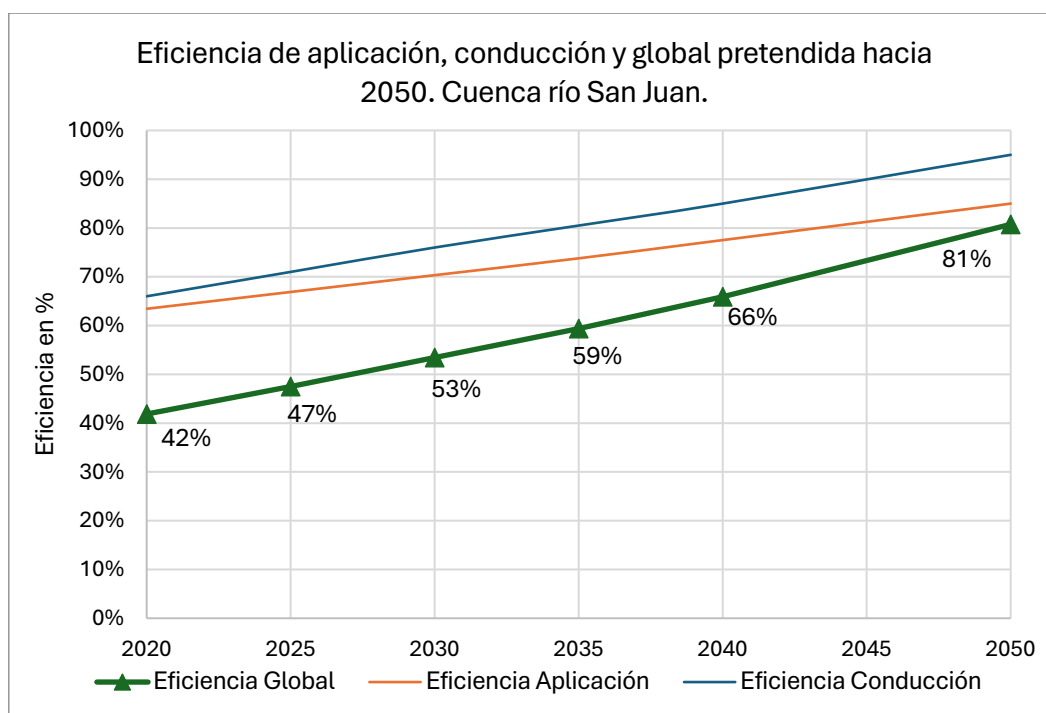


Figura 4-1: Eficiencia de aplicación, conducción y global pretendida hacia 2050. Cuenca río San Juan

Fases de implementación

Fase I (2020–2035): Tecnificación con riego por mangas

- Esta etapa prioriza la modernización de las áreas actualmente irrigadas por gravedad, mediante la adopción de riego por mangas de baja inversión.
- Aumentar la eficiencia global al 59%, con una eficiencia de aplicación del 74%, y eficiencia de conducción del 81%.
- Inversión estimada: **12,8 millones de USD**, considerando obras, materiales y un 20% de contingencia, para tecnificar 12.700 ha hacia 2035.
- Costo anual por hectárea: entre **360 y 400 USD/ha**, con un periodo de recuperación de 30 años y una tasa de interés del 5%.
- Esta fase actúa como una transición económica y técnica hacia sistemas presurizados.

Tabla 4-1: Costo anual de total de implementar un riego por mangas hacia 2035. Cuenca río San Juan.

Años	Superficie a tecnificar con mangas	Pagos Anuales	Mantenimiento	Costo Anual Total	Costo Anual Total
	ha	US\$	US\$	US\$	US\$/ha
2020	0	0	0	0	0
2025	12.608	831.651	95.884	13.712.047	363
2030	12.608	1.663.302	95.884	14.543.698	385
2035	12.608	2.494.953	95.884	15.375.348	406

Fase II (2035–2050): Transición al riego por goteo comunitario

- Corresponde a la reconversión progresiva de los sistemas de mangas hacia redes de riego por goteo presurizadas, integradas de manera comunitaria.
- La eficiencia global asciende a 81%, ya que la eficiencia de conducción aumenta entorno al 95%.

- Incluye redes presurizadas, reservorios de 40.000 a 80.000 m³, estaciones de filtrado, presurización, telemetría, automatización y sistemas eléctricos de soporte.
- Inversión total estimada: 247 millones de USD por etapa, con un incremento sostenido hasta completar la tecnificación total de las 73.134 hectáreas cultivadas al 2050.
- Costos anuales totales: de 16 a 64 millones de USD/año, según la superficie incorporada en cada etapa.
- Costo operativo y de mantenimiento: entre 320 y 1.300 USD/ha/año.
- Esta fase representa el salto tecnológico clave para garantizar la eficiencia de aplicación cercana al 90% y la sostenibilidad del sistema.
- Se pretende la modernización de las zonas irrigadas con aguas subterráneas y las zonas irrigadas por agua subterránea exclusiva, estas últimas se integran a los sistemas de distribución comunitaria.

Tabla 4-2: Costo total anual para implementar un riego por goteo comunitario en la superficie irrigada con mangas de fuentes superficiales

Años	Superficie tecnificada con Riego por goteo comunitario	Pagos Anuales	Mantenimiento	Energía RPG	Costo Anual Total	Costo Anual Total
	ha	US\$	US\$	US\$	US\$	US\$/ha
2035	0	16.066.158	1.543.601	0	17.609.759	322
2040	18.231	32.132.316	1.543.601	2.438.579	36.114.496	660
2045	36.463	48.198.474	1.543.601	4.942.523	54.684.598	1.000
2050	54.694	64.264.632	1.543.601	7.413.784	73.222.018	1.339

Tabla 4-3: Costo anual total para implementar un riego por goteo comunitario en la superficie irrigada con riego por goteo individual, de fuentes subterráneas.

Años	Superficie tecnificada con Riego por goteo comunitario	Pagos Anuales	Mantenimiento	Energía RPG	Costo Anual Total	Costo Anual Total
	ha	US\$	US\$	US\$	US\$	US\$/ha
2035	0	3.885.577	373.318	0	4.258.895	231
2040	6.147	7.771.155	373.318	822.163	8.966.636	486
2045	12.293	11.656.732	373.318	1.666.364	13.696.414	743
2050	18.440	15.542.310	373.318	2.499.546	18.415.174	999

Fase transversal: Mejora en la conducción y gestión

- Comprende el revestimiento de canales secundarios y terciarios, modernización de obras de distribución, e instalación de caudalímetros y sistemas de control.
- Longitud total estimada de obras: 208 km.
- Inversión total: 36,8 millones de USD, con mantenimiento anual equivalente al 0,75% del monto invertido.
- Se prevé la integración de estas mejoras a lo largo de las dos fases principales, en paralelo con el fortalecimiento de los sistemas de medición y asignación de caudales.

Tabla 9-1: Total de inversiones. Mejora de la eficiencia de conducción.

Década	Longitud de canal (km)	Costos de impermeabilización	Contingencia	Costos de la inversión
	km	US\$	US\$	US\$
2030	69	10.212.000	2.042.400	12.254.400
2040	69	10.212.000	2.042.400	12.254.400
2050	69	10.212.000	2.042.400	12.254.400
Total	208	30.636.000	6.127.200	36.763.200

Tabla 4 -2: Costo anual total. Mejora de la eficiencia de conducción

Década	Costo inversiones	Pagos Anuales	Mantenimiento	Costo Anual Total	Costo Anual Total
	US\$	US\$	US\$	US\$	US\$/ha
2030	12.254.400	797.166	91.908	889.074	12
2040	12.254.400	1.594.333	91.908	1.686.241	23
2050	12.254.400	2.391.499	91.908	2.483.407	34

Conclusiones generales de las inversiones

El esquema propuesto permite una implementación gradual, modular y escalable, adaptable a la disponibilidad presupuestaria y a la capacidad institucional de ejecución. La inversión inicial en sistemas de bajo costo genera una mejora temprana en la eficiencia, mientras que la transición hacia tecnologías presurizadas consolida la sostenibilidad del sistema en el largo plazo.

La combinación de obras de infraestructura, modernización predial y gestión eficiente del recurso configura un camino realista para eliminar el déficit hídrico provincial hacia 2050, asegurando la resiliencia del sistema productivo y el abastecimiento para la población.

CAPITULO 5: Rentabilidad y demanda de los cultivos

5.1 Generalidades

El análisis conjunto de la rentabilidad y la demanda hídrica permite establecer criterios de asignación prioritaria del recurso. En un contexto de escasez creciente, se impone la necesidad de redirigir progresivamente el uso del agua hacia cultivos con mayor retorno económico por unidad de volumen consumido.

En términos agregados, se observa que cultivos tradicionales como la vid o el olivo tienen rentabilidades aceptables pero una baja productividad hídrica, especialmente cuando se gestionan con tecnologías convencionales. Esto se agrava en explotaciones de pequeña escala, donde los márgenes operativos son muy reducidos y el uso del agua no está optimizado.

Por el contrario, cultivos emergentes como el pistacho y ciertas hortalizas intensivas, cuando son tecnificados, muestran una alta productividad del agua, con ingresos netos por m³ que superan los USD 0.60, llegando a 1.6 USD por m³ (caso del pistacho). Esta cifra contrasta con los valores de la vid tradicional, que en promedio se sitúan por debajo de los USD 0.20 por m³.

Este diferencial respalda en parte la focalización de las inversiones públicas en zonas donde se concentren cultivos de alta productividad hídrica, así como en productores con capacidad de adopción tecnológica, pero no necesariamente este debe ser el único criterio que justifique la inversión. Asimismo, se recomienda revisar los esquemas de incentivos y tarifas con el objetivo de incentivar el uso eficiente y favorecer el riego tecnificado.

La priorización no implica abandonar cultivos tradicionales, sino orientarlos hacia modelos de mayor eficiencia y diferenciación comercial donde el valor agregado compense el uso intensivo del recurso.

Este análisis técnico-económico respalda la necesidad de una gestión hídrica orientada a la eficiencia productiva como medida para poder sostener los niveles de inversión y lograr transformaciones que perduren en el tiempo.

5.2 Demanda hídrica relativa entre cultivos

Se presenta un análisis comparativo de la demanda de agua entre los principales cultivos representativos de la provincia: **vid, hortalizas, olivo, forrajes y pistacho**. Los resultados expresados en forma relativa (tomando la vid como referencia) muestran diferencias considerables en los requerimientos hídricos por hectárea.

Tabla 5-1: Demanda de cultivos relativa en %. Cuenca río San Juan.

	Vid	Hortalizas	Olivo	Forrajes	Pistacho
Vid	-	0.9	0.7	0.7	0.6
Hortalizas	1.1	-	0.8	0.7	0.7
Olivo	1.4	1.3	-	1	0.9
Forrajes	1.5	1.4	1	-	0.9
Pistacho	1.7	1.5	1.1	1.1	-

La vid es el cultivo menos demandante del conjunto, con una demanda relativa que varía entre el 90 % respecto de las hortalizas y el 60 % de lo que consume el pistacho, evidenciando una notable eficiencia hídrica en comparación con el resto. En el extremo opuesto, el pistacho presenta los mayores requerimientos, con consumos que van desde un 10 % más que los forrajes hasta 1,7 veces lo utilizado por la vid (170 %), lo que lo posiciona como el cultivo de mayor demanda hídrica relativa. Los olivos y los forrajes muestran valores intermedios, con demandas relativas en torno a 1,1–1,4, mientras que las hortalizas se ubican cerca del equilibrio ($\approx 1,0$), aunque con una alta variabilidad según la especie y el ciclo de cultivo.

Estas diferencias no son triviales: una hectárea de pistacho requiere casi el doble de agua que una de vid, lo que en contextos de oferta restringida puede implicar la

necesidad de asignar caudales diferenciados por tipo de cultivo, siempre y cuando sea acompañado por un sistema tarifario que sea acorde a ese cambio.

5.3 Rentabilidad relativa entre cultivos

El análisis económico desarrollado en el plan incorpora la rentabilidad relativa por hectárea, definida como el ingreso neto de cada cultivo respecto al más rentable. Este enfoque permite comparar la eficiencia económica del uso del suelo y del agua en distintos sistemas productivos, bajo condiciones tecnificadas y tradicionales.

Los resultados muestran un contraste aún más marcado que en la demanda hídrica. Mientras la vid tradicional apenas alcanza un 2 % de la rentabilidad del pistacho tecnificado, cultivos como el ajo colorado, las hortalizas intensivas o el olivo para conserva tecnificado pueden alcanzar rentabilidades equivalentes a 4 a 5 veces la de la vid.

En términos absolutos, el pistacho y el olivo tecnificado presentan los mayores retornos económicos por hectárea, superando en varios órdenes de magnitud a los cultivos tradicionales de alfalfa o maíz forrajero, cuya rentabilidad relativa no supera el 0,5.

El plan destaca que, aunque ciertos cultivos como el pistacho presentan una alta demanda hídrica, su rentabilidad por metro cúbico aplicado sigue siendo superior debido a su alto valor de mercado y estabilidad de precios internacionales. Por el contrario, cultivos extensivos y de bajo valor unitario, como los forrajes, consumen grandes volúmenes de agua sin generar un retorno proporcional, lo que reduce drásticamente su productividad hídrica.

Tabla 5-2: Rentabilidad relativa en % entre los distintos cultivos.

	Vid vinificar parral TRAD	Cebolla TRAD	Vid vinificar parral TECN	Ajo colorado TRAD	Olivo conserva TECN	Cebolla TECN	Olivo aceite TECN	Tomate industria TECN	Ajo colorado TECN	Vid mesa parral TRAD	Vid mesa parral TECN	Pistacho TECN
Vid vinificar parral TRAD		68%	40%	22%	21%	20%	19%	15%	14%	9%	6%	2%
Cebolla TRAD	148%		59%	32%	31%	29%	28%	22%	20%	13%	9%	3%
Vid vinificar parral TECN	249%	168%		55%	52%	49%	47%	36%	34%	21%	15%	5%
Ajo colorado TRAD	455%	308%	183%		95%	89%	86%	66%	63%	39%	28%	10%
Olivo conserva TECN	478%	324%	192%	105%		93%	90%	70%	66%	41%	29%	11%
Cebolla TECN	512%	347%	206%	113%	107%		97%	75%	71%	44%	31%	11%
Olivo aceite TECN	529%	358%	213%	116%	111%	103%		77%	73%	45%	32%	12%
Tomate industria TECN	686%	464%	276%	151%	143%	134%	130%		95%	59%	42%	15%
Ajo colorado TECN	726%	491%	292%	160%	152%	142%	137%	106%		62%	44%	16%
Vid mesa parral TRAD	1167%	790%	469%	257%	244%	228%	221%	170%	161%		71%	26%
Vid mesa parral TECN	1642%	1112%	660%	361%	343%	320%	310%	239%	226%	141%		36%
Pistacho TECN	4542%	3075%	1825%	999%	949%	887%	859%	662%	626%	389%	277%	

Respecto a las denominaciones de la tabla:

- TRAD (Tradicional) identifica los modelos productivos de menor escala y baja tecnificación, caracterizados por uso extensivo de mano de obra, rendimientos moderados, menor incorporación de capital y prácticas tradicionales de manejo.
- TECN (Tecnificado) designa modelos productivos intensivos y modernizados, con mecanización, fertirriego, control sanitario y mayor eficiencia en la gestión de insumos y capital.

Según el informe, ambos tipos se modelaron para cada cultivo considerando diferencias en paquete tecnológico, escala y estructura de costos, no únicamente el método de riego

La tabla mostrada corresponde al análisis de rentabilidad relativa entre cultivos y complementa el estudio de demanda hídrica con una comparación económica entre los principales sistemas productivos de la provincia.

La tabla cuantifica cuántas veces un cultivo es más o menos rentable que otro, calculando el cociente entre las rentabilidades por hectárea de cada par de cultivos:

$$\text{Relación relativa} = \frac{\text{Rentabilidad cultivo fila}}{\text{Rentabilidad cultivo columna}} \times 100$$

Por ejemplo, un valor del 2 % en la fila *Vid vinificar parral TRAD* frente a *Pistacho TECN* indica que la rentabilidad de la vid tradicional representa solo el 2 % de la rentabilidad del pistacho tecnificado. De forma opuesta, un valor de 4542 % en la fila *Pistacho TECN* frente a *Vid vinificar parral TRAD* significa que el pistacho tecnificado obtiene una rentabilidad 45 veces superior a la de esa tipología de vid

El análisis revela una enorme dispersión entre cultivos y sistemas:

La vid vinificar tradicional (TRAD) es el sistema menos rentable de todos, con valores relativos que rara vez superan el 40 % frente a sistemas tecnificados.

Las hortalizas tecnificadas (ajo y cebolla TECN) y el olivo de conserva TECN se ubican en un rango medio, con rentabilidades entre 3 y 10 veces mayores que la vid tradicional.

Los sistemas de alta tecnificación y alto valor agregado, como *vid de mesa TECN*, *ajo colorado TECN* y *pistacho TECN*, muestran rentabilidades entre 7 y 45 veces superiores a los sistemas tradicionales, consolidándose como los de mejor retorno por hectárea.

Estos resultados refuerzan la conclusión de que la modernización tecnológica y la escala de gestión son factores determinantes en la productividad agrícola. No solo la especie, sino la adopción de tecnología y la eficiencia de manejo, explican gran parte de la brecha observada en los retornos económicos.

5.4 Impacto del costo de inversión en la rentabilidad

El siguiente gráfico muestra el impacto proporcional de los costos anuales de inversión en mejoras de riego¹ y cómo afectan la rentabilidad por hectárea para diferentes cultivos y tipologías de productores.

Tabla 5-3: Valores promedio de costos anuales de inversión (USD/ha)

Conduccion		Mangas		Goteo	
Tabla 10.2		Tabla 10.6		Tabla 10.9	
USD	23.0	USD	384.7	USD	830.3

Los cultivos analizados incluyen vid, cebolla, olivo, aceite, ajo, vid de mesa, tomate y pistacho, diferenciados entre productores tradicionales (TRAD) y tecnificados (TECNIF). Cada barra representa un cultivo y tipología de productor, con tres colores: gris para la mejora en la eficiencia de conducción (revestimiento de canales), celeste para la inversión en riego por mangas y verde para la mejora en la eficiencia de aplicación (riego por goteo). El eje vertical muestra el porcentaje de impacto en la rentabilidad por hectárea.

¹ Se tomaron los promedios simples de los costos anuales de inversión por superficie.

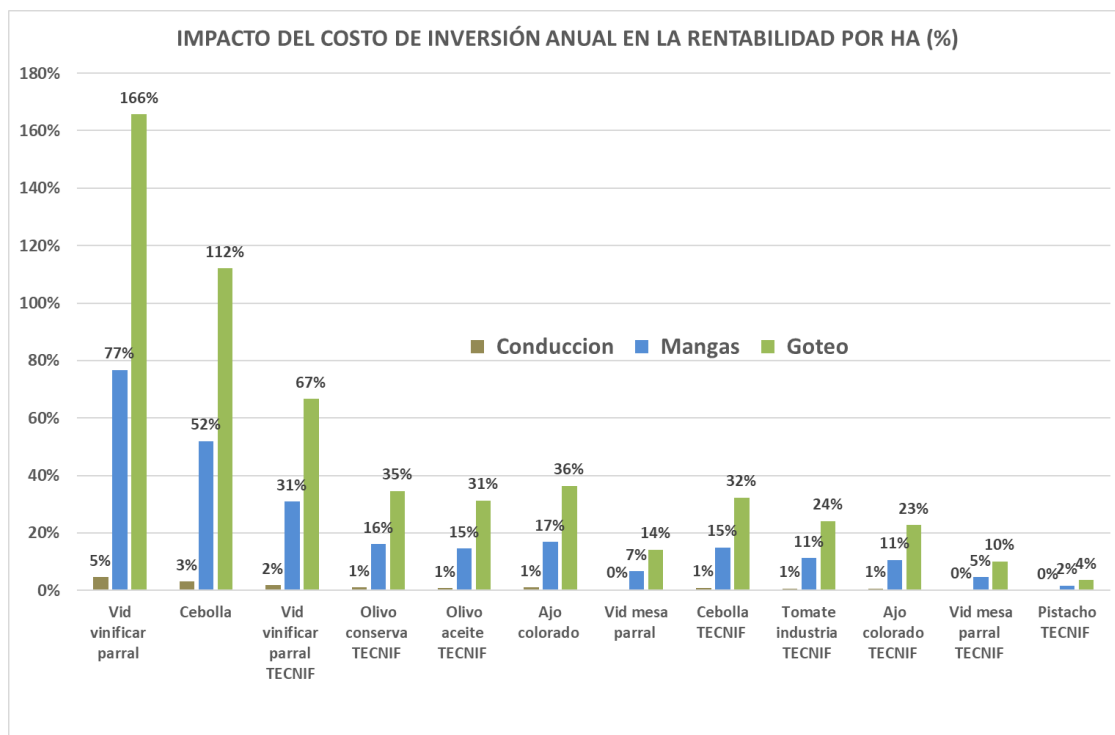


Figura 5-1: Impacto del costo de inversión en la rentabilidad

Los cultivos con mayor rentabilidad por unidad de agua, como el pistacho, y los productores tecnificados en general, tienen una mayor capacidad para asumir los costos de inversión en mejoras de riego sin comprometer significativamente su rentabilidad: los impactos promedios para estos casos son 0,8% en eficiencia de conducción, 12,8% para mangas y 27,6% en goteo. En cambio, los productores tradicionales, especialmente en cultivos de baja rentabilidad como la vid vinificar, enfrentan un impacto desproporcionado, lo que puede dificultar de manera considerable su transición hacia sistemas de riego más eficientes sin apoyo externo.

5.5 Implicancias para la Planificación y Prioridades de Inversión

El Plan concluye que la planificación de inversiones debe basarse en criterios económicos y técnicos, priorizando intervenciones que optimicen la productividad del recurso y reduzcan la presión sobre el sistema.

La eficiencia global proyectada del riego en San Juan (que incluye conducción y aplicación) puede incrementarse del 42 % actual al 81 % hacia 2050, con

inversiones orientadas al revestimiento de canales, presurización de sistemas y adopción de riego por goteo comunitario

Esta mejora reduciría el déficit hídrico provincial de 750 a 356 hm³/año, pero su impacto real dependerá de la asignación estratégica del agua hacia los cultivos de mayor productividad económica.

De esta manera, la rentabilidad relativa y la demanda hídrica se convierten en variables clave para evaluar la eficiencia social de las inversiones públicas, asegurando que las inversiones en infraestructura hídrica contribuyan a maximizar el beneficio productivo y a sostener la seguridad hídrica provincial en condiciones de cambio climático.

CAPITULO 6: Conclusiones y recomendaciones

La provincia de San Juan enfrenta una crisis hídrica estructural marcada por el desequilibrio entre oferta y demanda de agua.

La disponibilidad de agua superficial, dependiente casi exclusivamente del deshielo andino (ríos San Juan y Jáchal), muestra una tendencia descendente: se proyecta hasta un 40% menos de caudal hacia 2050 debido al cambio climático.

Paralelamente, el sistema de riego actual es ineficiente provocando enormes pérdidas por infiltración en los canales y percolación profunda en los sistemas de riego.

Esto ha derivado en déficits crónicos que se cubren sobreexplotando acuíferos, con descensos sostenidos de niveles y riesgo de degradación.

Con la demanda hídrica en aumento, impulsada por el crecimiento poblacional y un salto proyectado significativo en el uso minero proyectado, un crecimiento en la demanda sin intervenciones evidencia un escenario crítico: el déficit anual en la cuenca del río San Juan se dispararía de $\sim 532 \text{ hm}^3$ en 2020 a $\sim 1.260 \text{ hm}^3$ en 2050, más que duplicando la oferta disponible.

En otras palabras, de persistir las tendencias actuales, para 2050 sólo ~ 22.000 ha podrían regarse sin déficit (contra las 50.000 ha hoy), comprometiendo gravemente la producción agrícola.

Frente a este diagnóstico, el Plan Maestro evaluó medidas para equilibrar la oferta y la demanda hídrica hacia 2050, priorizando eficiencia, sostenibilidad y rentabilidad. Los resultados indican que una transformación integral del sistema de riego, combinando modernización de infraestructuras, mejora de eficiencias y gestión activa de la demanda– puede reducir drásticamente el déficit proyectado.

En el río San Juan, las inversiones propuestas permitirían bajar el déficit a $\sim 356 \text{ hm}^3/\text{año}$ y sostener más del doble de superficie cultivada sin restricciones de agua respecto al escenario tendencial. La clave es aumentar la eficiencia hídrica global del $\sim 42\%$ actual a $\sim 80\%$ hacia 2050, mediante la tecnificación del riego en finca y la

reducción de pérdidas en la distribución. Aun así, incluso con máximas eficiencias, podría persistir un déficit residual en años críticos, por lo que se requiere complementar las mejoras con una gestión estratégica del recurso. En particular, los análisis resaltan la importancia de asignar el agua ahorrada hacia los usos de mayor productividad económica, maximizando el valor generado.

La productividad del agua y la rentabilidad relativa de los cultivos varían ampliamente en San Juan: por ejemplo, pistacho presenta rendimientos económicos extraordinarios por unidad de agua, mientras que cultivos tradicionales como la vid para vinificar muestran baja rentabilidad hídrica. Esto sugiere un enorme potencial de reconversión productiva.

Las recomendaciones combinan medidas de gestión, inversión y apoyo institucional, escalonadas en el tiempo, para elevar la eficiencia hídrica a la vez que se asegura la sostenibilidad económica de los distintos actores. A continuación, se detallan las acciones inmediatas, de mediano y largo plazo propuestas.

6.1 Acciones Inmediatas

Fortalecimiento de la gestión hídrica y monitoreo: Implementar de inmediato un sistema de gestión integrado del agua basado en la medición, control y asignación eficiente del recurso. Esto incluye la medición de niveles de acuíferos, instalación de caudalímetros en pozos de extracción y sistemas de telemetría en puntos clave (canales primarios, tomas, pozos) para cuantificar extracciones en tiempo real, permitiendo detectar y reducir pérdidas.

La información recopilada debe integrarse en una plataforma única de monitoreo hídrico provincial, generando datos abiertos para la toma de decisiones. Asimismo, establecer esquemas de distribución flexibles del agua que prioricen las necesidades según demanda y disponibilidad, en reemplazo del reparto rígido actual, mejorando la capacidad de respuesta a sequías y variaciones estacionales.

Políticas de ahorro y control de la demanda: Declarar la prioridad de uso eficiente en todos los sectores. En el agro, promover prácticas de riego óptimas que disminuyan consumos sin merma significativa en rendimiento. Paralelamente,

regular la extracción de aguas subterráneas para frenar la sobreexplotación de acuíferos críticos.

Planes de contingencia y optimización inmediata: Identificar e implementar obras de bajo costo y alto impacto inmediato. Por ejemplo, ejecutar reparaciones en canales y compuertas deterioradas para eliminar fugas evidentes, limpieza de acequias para restaurar su capacidad, y pequeñas obras de regulación que mejoren el control del caudal. Al mismo tiempo, aprovechar fuentes no convencionales: dar uso productivo a aguas residuales tratadas y analizar proyectos de recarga de acuíferos con efluentes tratados o con excedentes del agua superficial

Apoyo técnico y financiero a productores: Lanzar programas urgentes de asistencia a agricultores para que adopten prácticas eficientes sin dilación. Esto implica líneas de crédito blando y subsidios para la compra de equipamiento de riego tecnificado (ej. kits de riego por surcos entubados o mangas), priorizando a productores de menores recursos o cultivos de baja rentabilidad que por sí solos no pueden afrontar la inversión. Complementariamente, desplegar capacitación y extensión agronómica en técnicas de riego y manejo del agua: talleres a campo con el apoyo de INTA, INA, universidades y otros organismos, demostrando los beneficios productivos de regar con menor lámina. La participación de los productores locales es crucial desde el inicio; se recomienda conformar mesas de trabajo por valle/cuenca que incorporen también a organismos técnicos (INV, Secretaría de Agricultura provincial, etc.) para guiar conjuntamente la transición. Estas acciones inmediatas sentarán las bases sociales y operativas para el éxito de las inversiones posteriores.

6.2 Acciones de Mediano Plazo (hasta 2035)

Tecnificación masiva del riego en finca: Durante la próxima década se propone modernizar el 100% de las hectáreas actualmente bajo riego superficial tradicional, migrándolas a sistemas de riego más eficientes de baja presión (riego por “mangas” o tuberías flexibles). Esta tecnificación incrementará la eficiencia de aplicación del ~50% a ~70% en esas superficies, con relativamente bajo costo por hectárea y rápida adopción.

Como hito, a 2035 deberían quedar convertidas unas 37.800 ha que hoy se riegan por manto o surcos, elevando la eficiencia media de aplicación en la cuenca San Juan a ~74%. Para lograrlo, se ejecutarán programas anuales de inversión (p. ej. tecnificar ~12.600 ha cada 5 años) con financiamiento compartido público-privado. Se priorizarán zonas y cultivos con mayor brecha de eficiencia y estrés hídrico. Esta modernización intermedia redundará en ahorros significativos de agua sin incurrir en costos excesivos, y servirá de puente tecnológico mientras se prepara la transición al riego presurizado total en etapas posteriores.

Mejora de la infraestructura de distribución: En paralelo con la tecnificación parcelaria, ejecutar un plan intensivo de obras en la red de canales para reducir pérdidas por conducción al máximo hacia 2035. La meta es lograr >80% de eficiencia de conducción en la red principal y secundaria en ese horizonte.

Asimismo, se construirán reservorios para optimizar la entrega. Otra acción clave es la sectorización y control: instalar compuertas automáticas y telecontrol en bocas de canales para regular caudales según programación, complementando la medición ya instalada.

Hacia 2035, el sistema deberá operar casi como una red semi-presurizada sectorizada, minimizando derrames y permitiendo entregas más precisas. El sostenido incremento en eficiencia de distribución (de ~66% hoy a ~81% en 2035) liberará un volumen importante de agua que podrá reasignarse a nuevos usos o a la recarga de acuíferos.

Diversificación de fuentes hídricas y recarga: Para 2035 deberán concretarse proyectos de ampliación de la oferta no convencional. En especial, sistemas de reutilización de aguas residuales tratadas a escala significativa: por ejemplo, la puesta en marcha de distritos de riego con efluentes cloacales depurados cerca del Gran San Juan y otras ciudades, destinados a cultivos industriales, forrajeros o forestales.

Consolidación institucional y normativa: Al 2035, muchas de las políticas iniciadas deben afianzarse. Es imperativo contar con un marco tarifario y de incentivos que estimule la eficiencia: por ejemplo, implementar esquemas de pago

por uso de agua en el riego (volumétricos o por dotaciones) una vez instalados los medidores, de forma gradual y con bloques gratuitos básicos, para internalizar el valor del recurso. Los ahorros de agua obtenidos deben ser reasignados con criterio en nuevos emprendimientos productivos de alto valor, evitando simplemente expandir área cultivada con cultivos poco rentables, o destinarse a la recarga de acuíferos como reserva estratégica para años de sequía

Seguimiento de resultados y ajuste adaptativo: Durante este periodo se deberán evaluar rigurosamente los avances. Se propone establecer en 2030 y 2035 evaluaciones técnicas integrales del Plan: auditorías de eficiencia lograda, balances hídricos actualizados, estado de acuíferos, y análisis económico de la rentabilidad agrícola alcanzada vs. esperada. Con esta información, el plan podrá ajustarse (adaptive management) corrigiendo desvíos o incorporando nuevas tecnologías disponibles.

Acciones de Largo Plazo (hasta 2050)

Transición al riego presurizado total: El periodo 2035–2050 estará marcado por la adopción masiva del riego por goteo (u otras tecnologías presurizadas avanzadas) en toda el área bajo riego.

Tras 2035 se proyecta duplicar la superficie con riego por goteo en solo 5 años –de unas ~36.000 ha iniciales a ~73.000 ha hacia 2040– y cubrir el 100% de las 73.134 ha irrigadas para 2050.

Esto implica una “aceleración” en la tecnificación durante la segunda fase del plan, necesaria para contrarrestar la caída más pronunciada de la oferta hídrica prevista después de 2040. El riego presurizado permite alcanzar la máxima eficiencia de uso en campo, elevando la eficiencia de aplicación promedio al orden del 85% en 2050. Combinado con una eficiencia de conducción de ~95% gracias al sistema totalmente entubado, se logrará la optimización total del ciclo de distribución y uso del agua.

La meta estratégica es arribar a 2050 con una eficiencia hídrica global $\geq 80\%$ (vs 42% actual) y pérdidas mínimas, asegurando el abastecimiento a todos los sectores aún bajo condiciones climáticas mucho más estrictas.

Fuertes inversiones en infraestructura: instalación de redes de tuberías presurizadas a nivel terciario y cuaternario (ya previstas parcialmente en etapas previas), estaciones de bombeo y filtrado para riego colectivo, según corresponda y sistemas avanzados de control (automatización parcelaria, sensores de suelo, riego a demanda mediante telemetría).

Maximización de la productividad hídrica y adaptabilidad agrícola: Con el abastecimiento hídrico asegurado en gran medida por las mejoras de eficiencia, el énfasis hacia 2050 estará en optimizar el uso productivo de cada metro cúbico disponible. Esto conlleva afianzar una matriz agrícola de alto valor agregado, priorizando cultivos con mayor rentabilidad por unidad de agua.

Las tendencias actuales ya apuntan en esa dirección (ej., reducción de superficie de uva para vinificar de baja rentabilidad y aumento de variedades para pasa/mosto más rentables).

Por otro lado, mantener margen de adaptabilidad: ante la incertidumbre climática, la agricultura debe diversificarse en lo posible (evitar monocultivos excesivos) y adoptar variedades/respuestas tecnológicas resilientes a estrés hídrico y térmico.

Evaluación final y horizonte adaptativo: Al aproximarse 2050, San Juan deberá realizar un cierre y evaluación integral del Plan Maestro. Si las acciones propuestas se han ejecutado efectivamente, la provincia habrá alcanzado un sistema hídrico mucho más eficiente ($\approx 81\%$ eficiencia global) y equilibrado, capaz de abastecer su oasis productivo y poblacional aún con 40% menos de agua superficial.

Habrán desaparecido los déficits estructurales provinciales, o serán manejables en orden de magnitud menor, reduciendo la vulnerabilidad hídrica incluso bajo cambio climático. No obstante, la planificación debe continuar más allá de 2050. Se recomienda proyectar un nuevo horizonte incorporando las lecciones aprendidas, los cambios tecnológicos (desalinización u otras fuentes si fueran viables económicamente) y las condiciones climáticas actualizadas.

En síntesis, las acciones de largo plazo completan la transformación iniciada, llevando al sistema hídrico sanjuanino a un estado de alta eficiencia, resiliencia y productividad, donde el agua disponible se utiliza con un rendimiento óptimo.