



Producto 1

Estado actual del uso y gestión hídrica en el sector agropecuario en países de América Latina y el Caribe (ALC).

Claudio Balbontín, Liliana Ríos, Roberto Martínez, Fernando González, Claudio García, Álvaro Otero, Claudia Bavestrello, Britt Wallberg.

Proyecto Plataforma de gestión del agua en la agricultura 2030, ATN_RF-17950-RG



FONTAGRO



Códigos JEL: Q16

ISBN:

FONTAGRO (Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria) es un mecanismo único de cooperación técnica entre países de América Latina, el Caribe y España, que promueve la competitividad y la seguridad alimentaria. Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), FONTAGRO, de sus Directorios Ejecutivos ni de los países que representan.

El presente documento ha sido preparado por Claudio Balbontín, Liliana Ríos, Roberto Martínez, Fernando González, Claudio García, Álvaro Otero, Claudia Bavestrello.

Copyright © 2022 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial- SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas. 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 CNUDMI (UNCITRAL). 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 CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional. Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Esta publicación puede solicitarse a:

FONTAGRO

Correo electrónico: fontagro@fontagro.org

www.fontagro.org



Tabla de Contenidos

Tabla de contenido

Resumen	8
Abstract.....	10
1. Estado actual del uso y gestión del agua en el sector agropecuario de ALC (América Latina y el Caribe).....	13
1.1 Introducción	13
1.2 Recursos hídricos y la agricultura en los países ALC.....	16
1.2.1 Superficie agrícola en las regiones ALC	19
1.2.2 Brechas en el manejo de los recursos hídricos en los países ALC.	21
1.2.3 Conclusiones acerca de brechas y la modernización del riego	29
2. Gestión hídrica desglosada por países participantes en proyecto.....	31
2.1 Gestión de los recursos hídricos para agricultura en la zona de estudio - Colombia	31
2.1.1 Principales fuentes hídricas en Colombia	36
2.1.2 Distrito de riego RUT.	37
2.2 Gestión de los recursos hídricos para agricultura en la zona de estudio - Chile.....	41
2.2.1 Principales fuentes hídricas y su infraestructura de distribución	41
2.2.2 Caracterización del sistema de distribución de agua	42
2.2.3 Formas de administración del recurso hídrico.	44
2.2.4 Cultivos principales: superficies y consumo de agua actual por cultivo.....	47
2.2.5 Brechas tecnológicas en los sistemas productivos	49
2.3 Gestión de los recursos hídricos para agricultura en la zona de estudio Uruguay.....	50
2.3.1 Principales fuentes hídricas y su infraestructura de distribución	52
2.3.2 Formas de administración	53
2.3.3 Eficiencia en el uso del agua actual (%)	53
2.3.5 Demanda de riego: volumen de recursos hídricos utilizados por agricultura (Mm ³ /área año).....	53
2.3.6 Estacionalidad de la demanda.....	54
2.3.7 Cultivos principales: superficies y consumo de agua actual por cultivo.....	55
2.3.8 Brechas tecnológicas en los sistemas productivos	56



2.4 Gestión de los recursos hídricos para agricultura en la zona de estudio - Argentina.....	58
2.4.1 Condiciones agroclimáticas	59
2.4.2 Principales fuentes hídricas.....	60
2.4.3 Caracterización del sistema de distribución de agua	68
2.4.4 Metodología de la distribución recursos hídricos	70
2.4.5 Formas de administración del recurso hídrico.	72
2.4.7 Demanda de riego: volumen de recursos hídricos utilizados por agricultura.....	66
2.4.8 Cultivos principales: superficies y consumo de agua actual por cultivo para San Juan y Rio Negro	77
3. Conclusiones	80
4. Referencias Bibliográficas	81



Tabla de figuras.

Figura 1. Contribución de la agricultura primaria al PIB y al empleo en los países de América Latina y el Caribe. Se destaca los países piloto (Fuente: Adaptado de Banco Mundial, 2020). El tamaño del círculo representa el tamaño de la población de cada país, Brasil y México son los países con mayor población en América Latina.....	13
Figura 2. Superficie total y porcentaje de la superficie bajo condiciones hidroclimáticas en la región ALC (Fuente: Verbist et al., 2010).	14
Figura 3. Superficie total y población en las subregiones de los países ALC-FONTAGRO. Fuente: Adaptado de FAO, 2016a.....	16
Figura 4. Recursos hídricos renovables anuales y extracción de agua para riego en el mundo (Bruinsma, 2009).....	16
Figura 5. Nivel de estrés por escasez de agua en América Latina y el Caribe según último año disponible (S. Saravia Matus y otros, 2020).	17
Figura 6. Precipitaciones promedio y volumen total disponible. Adaptado de Adaptado de FAO, 2016a.	17
Figura 7. Evolución del porcentaje de la superficie bajo riego en los países ALC. Fuente: Recursos de agua por país. FAO 2014 AQUASAT, http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/queries/show.html?id=35	20
Figura 8. Mapa de escasez mensual promedio anual de agua azul en la región de ALC para el período de diez años 1996-2005. (Mekonnen et al., 2015).....	21
Figura 9. Eficiencia del riego en las regiones del mundo. Fuente: Josef Schmidhuber, 2010. Disponible en https://slideplayer.com/slide/10297895/	23
Figura 10. Porcentaje de implementación de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) en el mundo y ALC (CEPAL, 2020).	23
Figura 11. Riego tecnificado con equipos de bombeo, riego localizado y emisor.....	24
Figura 12. Instalación pozo profundo y monitoreo del nivel freático (Región de Coquimbo, Chile). Datos propios.	25
Figura 13. Ejemplo Compuertas telemétricas y tipo de información disponible en la Junta de Vigilancia del Río Elqui (Coquimbo, Chile).	27
Figura 14. Modelamiento de la demanda hídrica en la cuenca del Río Elqui (Coquimbo, Chile) con modelos HIDROMORE © y WEAP.	27
Figura 15. Esquema del proyecto, túnel trasandino, nuevas zonas de riego.....	28
Figura 16. Esquema de metodologías para la determinación de las necesidades de riego de los cultivos basada en el uso de información satelital y registros meteorológicos.	29
Figura 17. Monitoreo estado hídrico interno de los cultivos, dendrómetro de tronco, cámara de presión tipo Scholander y sensor de temperatura infrarroja.....	29
Figura 18. Ubicación piloto distrito de riego RUT.	38



Figura 19. Canales pertenecientes a la Junta de Vigilancia de Río Elqui y Afluentes. Fuente: Comisión Nacional de Riego (CNR)	43
Figura 20. Bocatomas de la región de Coquimbo Fuente: Dirección General de Aguas (DGA).44	
Figura 21. Ejemplo de estructura sin aforo de caudal en el canal Pintacura Bajo.	45
Figura 22. Métodos de riego en Chile según el Censo Agropecuario 2021. Cada círculo de colores presenta el desglose de cada método de riego.	46
Figura 23. Distribución de las clases de usos.	47
Figura 24. Cambios pronosticados en la distribución de la lluvia entre 1930-1960 y 1970-2000, Enero-Febrero y Marzo. Giménez, Castaño, Olivera, Baethgen (2008).	50
Figura 25. Evolución de la producción de maíz y soja en Uruguay. DIEA-MGAP, 2021.	50
Figura 26. Estacionalidad del déficit hídrico climático. Diferencia entre precipitación mensual y la evapotranspiración (ETo PM56), para 5 estaciones agroclimáticas de INIA-Uruguay. Elaboración propia.	52
Figura 27. Normales climáticas para el litoral norte de Uruguay (Salto) 1987-2018. Fuente: Instituto Uruguayo de Meteorología (Inumet. https://www.inumet.gub.uy/)	55
Figura 28: Provincia de San Juan, principales Áreas de Regadío.	69
Figura 29. Compuertas en el km 89 que dan inicio al distrito de riego. Fuente: Montenegro et al., 2021.	65
Figura 30. Red de canales y desagües del distrito de Villa Regina. Elaboración propia.	66
Figura 31. Volúmenes de riego distribuido.	78
Figura 32. Volúmenes de riego distribuidos en el Valle de Tulum.	79

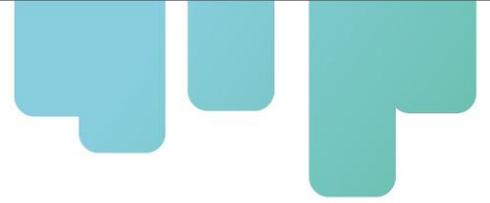
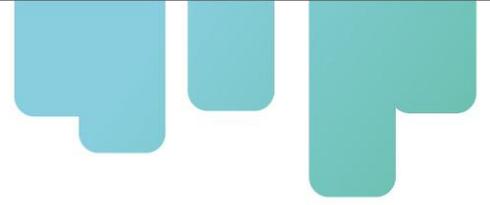


Tabla de cuadros

Cuadro 1. Recursos hídricos renovables anuales, disponibilidad y dependencia regional.	18
Cuadro 2. Origen de los recursos hídricos en las subregiones ALC.	19
Cuadro 3. Superficie acondicionada para el riego en los países ALC.	20
Cuadro 4. Recursos hídricos renovables y consumo en riego en el mundo.	22
Cuadro 5. Extensión de los distritos de riego en Colombia. Fuente IGAC (2017)	34
Cuadro 6. Formas de acceso al agua. Tomado de Fedesarrollo (2019)	35
Cuadro 7. Métodos de riego en el D. RUT (Fuente: ASORUT, 2022).	39
Cuadro 8. Eficiencia de riego de diferentes métodos de riego.	46
Cuadro 9. Resultados de la Clasificación 2018/2019 a nivel provincial. Datos propios.	47
Cuadro 10. Área cultivada en la temporada 2018/2019 por provincia. Datos propios	47
Cuadro 11. Área cultivada en la temporada 2018/2019 por provincia y comuna.	48
Cuadro 12. Resultados de distribución de superficie agrícola por grupo de cultivo en las provincias de Coquimbo.	48
Cuadro 13. Área de cultivos en secano y bajo riego según estadísticas públicas y proyección de las áreas bajo riego a 2030 (MGAP, 2015).	54
Cuadro 14. Número de represas y tomas directas autorizadas en la cuenca del río Uruguay. DINAGUA, MA. 2018.	54
Cuadro 15. Cultivos principales: superficies y consumo de agua actual por cultivo. Informe sobre Riego Uruguay, 2018.	55
Cuadro 16. Sistema de caudales.	70
Cuadro 17. Distribución por Dotación y Coeficiente.	71
Cuadro 18. Orden de Turnado en Ramo Comunero.	71
Cuadro 19. La administración del riego en San Juan. Planos administrativos y físicos.	72
Cuadro 20. Distribución de superficies según región, riego y sistemas.	64
Cuadro 21. Principales cultivos. Censo Nacional Agropecuario, 2018.	77
Cuadro 22. Cultivos y rendimiento económico.	67

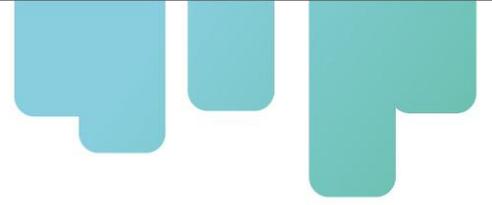


Resumen

La economía regional en América Latina y el Caribe (ALC) depende en gran medida de la agricultura. No obstante, esta vital industria se enfrenta a desafíos considerables debido a cambios en las condiciones ambientales y aumento de las necesidades de alimentos. La gran variabilidad climática presente en la región genera también amplia variabilidad en la disponibilidad y por tanto en la gestión de los recursos hídricos. Aunque la región posee el 34% de los recursos hídricos renovables del planeta, su distribución en el continente es desigual. Desde zonas hiperhúmedas con grandes superávits hídricos, hasta zonas hiperáridas con balances hídricos negativos. En este contexto, el agua disponible se utiliza principalmente en la agricultura (71%), en la cual el 87% de los cultivos dependen de las lluvias naturales (secanos). Hoy en día y producto de los cambios en las condiciones ambientales, estas zonas están enfrentando niveles de déficit hídrico que obligan al aporte de riego, lo cual sumado a una mayor demanda por alimentos está aumentando la presión sobre el uso de los recursos hídricos disponibles.

Paradójicamente, la eficiencia en el uso del agua en la agricultura ALC es muy baja (25% en riego, comparado con el 42% en países desarrollados), lo cual representan una problemática, pero a la vez una oportunidad de mejora. La falta de implementación de una Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH), las brechas tecnológicas en el control y distribución del agua, así como la falta de marcos conceptuales para el manejo del riego intrapredial, han sido identificadas como deficiencias en los sistemas agrarios actuales. En este espacio, la modernización del sector agrícola representa una estrategia de mejora. La actualización de los marcos conceptuales, las tecnologías y las herramientas de gestión de los recursos hídricos son fundamentales. Mejorar las fuentes de información abiertas para el monitoreo de los cultivos y el ambiente, con objeto de implementar metodologías para la contabilidad rutinaria de la oferta y demanda de recursos hídricos, junto con el uso de tecnologías para el monitoreo de la disponibilidad hídrica en el suelo a escala intrapredial, parecen obligatorios de cara a la sustentabilidad de la actividad agrícola en ALC.

Los países participantes del proyecto, también presentan grandes diferencias en las necesidades de gestión de los recursos hídricos. La gestión hídrica en Colombia se enfoca en mejorar la eficiencia del uso del agua en un sector agrícola tropical que recién comienza tener necesidades de riego. El distrito de riego RUT, ubicado en el Valle del Cauca, enfrenta desafíos en términos de acceso al agua, monitoreo ambiental y tecnificación del riego. A través del proyecto, se busca implementar tecnologías que permitan monitorear las condiciones ambientales y gestionar los aportes de riego en cultivos como caña de azúcar, maíz, frutas tropicales, entre otros. El enfoque incluye implementación de sensores de humedad del suelo, análisis climáticos y seguimiento de la fenología de los cultivos para definir los instantes de déficit, optimizar el uso del recurso hídrico y mejorar la productividad agrícola.



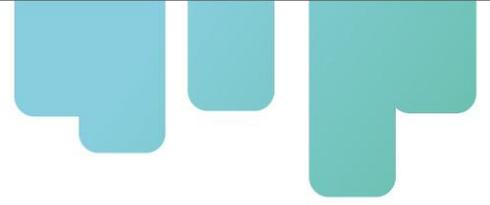
En el caso del piloto en Chile ubicado en una región árida (Coquimbo), la gestión de los recursos hídricos es fundamental debido a su escasez. Diversos programas de instituciones gubernamentales como el Ministerio de Obras Públicas, la Dirección General de Aguas y la Comisión Nacional de Riego entre otras, trabajan en fomentar el uso eficiente del agua en la agricultura de la región de Coquimbo. En esta zona, los requerimientos de riego provienen del cultivo de frutales y hortalizas. La distribución del agua de riego se realiza con la participación de comunidades de aguas y asociaciones de canalistas. Los métodos de riego van desde los tradicionales con baja eficiencia (surcos, tendido) hasta presurizados (goteo, aspersión) con eficiencia en torno al 85%. Sin embargo, la eficiencia global es muy baja debido a la falta de infraestructura para la distribución, el mantenimiento de los equipos de riego y la falta de métodos estandarizados para la definición de las necesidades hídricas de los cultivos.

En Uruguay las mayores necesidades productivas y el contexto de cambio climático, han incrementado la instalación de equipos de riego. La falta de lluvias observada las últimas temporadas han tenido un impacto negativo en los sistemas productivos, especialmente en la producción de soja y maíz y en la ganadería. La región noroeste, donde se centra el piloto tecnológico del proyecto, enfrenta déficits hídricos durante la primavera-verano, afectando los cultivos y ganadería. A pesar de la existencia de fuentes de agua para riego, la mayoría de los sistemas productivos dependen de la lluvia. La infraestructura de riego se basa en represas y tomas directas de ríos, pero los sistemas intraprediales son escasos, con escasas tecnologías de riego y la limitada adopción de métodos, generando brechas tecnológicas significativas. Por esto, la investigación en el piloto apunta a mejorar la eficiencia en el uso del agua y evaluar el impacto económico y productivo del aporte de riego en diversos cultivos y sistemas agropecuarios.

En Argentina por su parte, tres son las regiones abordadas por el proyecto; Mendoza, San Juan y Río Negro. En estas zonas climáticamente áridas, la agricultura bajo riego es crucial para la economía local. Al igual que en los otros sitios la implementación de prácticas sostenibles y la adopción de tecnologías modernas para el monitoreo de los cultivos y el riego son incipientes, pero vitales para abordar los desafíos futuros del agua en la agricultura. La inclusión de una mayor infraestructura de riego tecnificado (solo un 10% de la superficie regada se encuentra tecnificada), la disponibilidad de fuentes de información meteorológica abierta y de calidad y la implementación de metodologías para el modelamiento del consumo hídrico por la agricultura para la gestión de los recursos hídricos, pueden ser el camino de mejora de la eficiencia hídrica.

En este trabajo se realiza un diagnóstico del estado del arte del riego en cada zona participante de la iniciativa, como primer paso para definir la línea base y brechas en el manejo del riego. De este modo, se busca identificar espacios para la implementación de una agricultura que utilice fuentes de información abierta para la toma de decisiones en la administración y el uso de los recursos hídricos.

Finalmente, el estudio destaca la necesidad de modernización en la gestión del agua para la agricultura en ALC. La implementación efectiva de tecnologías avanzadas y prácticas sostenibles



es crucial para maximizar la productividad con la menor cantidad de agua posible. La colaboración entre gobiernos, agricultores y organizaciones de investigación es esencial para un futuro sostenible en la agricultura de riego en estas regiones.

Palabras Clave: América Latina, gestión hídrica, agricultura, recurso agua.

Abstract

The regional economy in Latin America and the Caribbean (LAC) depends largely on agriculture. However, this vital industry faces considerable challenges due to changes in environmental conditions and increased food needs. The great climatic variability present in the region also generates wide variability in the availability and therefore in the management of water resources. Although the region has 34% of the planet's renewable water resources, its distribution on the continent is uneven. From hyper-humid areas with large water surpluses, to hyper-arid areas with negative water balances. In this context, the available water is mainly used in agriculture (71%), in which 87% of the crops depend on natural rains (dry lands). Nowadays and as a result of changes in environmental conditions, these areas are facing levels of water deficit that require irrigation, which, added to a greater demand for food, is increasing the pressure on the use of available water resources.

Paradoxically, water use efficiency in LAC agriculture is very low (25% in irrigation, compared to 42% in developed countries), which represents a problem, but at the same time an opportunity for improvement. The lack of implementation of Integrated Water Resources Management (IWRM), and the technological gaps in the control and distribution of water, as well as the lack of conceptual frameworks for the management of intra-farm irrigation, have been identified as deficiencies in current agrarian systems. In this space, the modernization of the agricultural sector represents an improvement strategy. Updating conceptual frameworks, technologies and water resources management tools are essential. Improve open information sources for monitoring crops and the environment to implementation of methodologies for routine accounting of the supply and demand of water resources join the use of technologies for monitoring water availability in the soil intrafarm scale, seem mandatory for the sustainability of agricultural activity in LAC.

The countries participating in the project also present great differences in the management needs of water resources. Water management in Colombia focuses on improving the efficiency of water use in a tropical agricultural sector that is just beginning to have irrigation needs. The RUT



irrigation district, located in Valle del Cauca, faces challenges in terms of access to water, irrigation infrastructure, environmental monitoring and irrigation technology. Through the project, the aim is to implement technologies that allow monitoring environmental conditions and managing irrigation contributions to crops such as sugar cane, corn, tropical fruits, among others. The approach includes implementation of soil moisture sensors, climate analysis and monitoring of crop phenology to define moments of deficit, optimize the use of water resources and improve agricultural productivity.

In the case of the pilot in Chile located in an arid region (Coquimbo), the management of water resources is essential due to their scarcity. Various programs of government institutions such as the Ministry of Public Works, the General Directorate of Water and the National Irrigation Commission, among others, work to promote the efficient use of water in agriculture in the Coquimbo region. In this area, irrigation requirements come from the cultivation of fruit trees and vegetables. The distribution of irrigation water is carried out with the participation of water communities and canal associations. Irrigation methods range from traditional with low efficiency (furrows, laying) to pressurized (drip, sprinkling) with efficiency around 85%. However, overall efficiency is very low due to the lack of infrastructure for distribution, maintenance of irrigation equipment and the lack of standardized methods for defining the water needs of crops.

In Uruguay, greater productive needs and the context of climate change have increased the installation of irrigation equipment. The lack of rain observed in recent seasons has had a negative impact on productive systems, especially in soybean and corn production and livestock farming. The northwest region, where the technological pilot of the project is focused, faces water deficits during the spring-summer, affecting crops and livestock. Despite the existence of water sources for irrigation, most production systems depend on rain. Irrigation infrastructure is based on dams and direct river intakes, but intrafarm systems are scarce, with scarce irrigation technologies and limited adoption of methods, generating significant technological gaps. For this reason, the research in the pilot aims to improve efficiency in water use and evaluate the economic and productive impact of the irrigation contribution in various crops and agricultural systems.

In Argentina, for its part, there are three regions addressed by the project; Mendoza, San Juan and Río Negro. In these climatically arid areas, irrigated agriculture is crucial to the local economy. As in the other sites, the implementation of sustainable practices and the adoption of modern technologies for crop monitoring and irrigation are incipient, but vital to address future water challenges in agriculture. The inclusion of greater technical irrigation infrastructure (only 10% of the irrigated surface is modernized), the availability of open and quality meteorological information sources and the implementation of methodologies for modeling water consumption by agriculture for the management of water resources, can be the way to improve water efficiency.

In this work, a diagnosis of the state of the art of irrigation is carried out in each area participating in the initiative, as a first step to define the baseline and gaps in irrigation management. In this



way, the aim is to identify spaces for the implementation of agriculture that uses open information sources for decision-making in the administration and use of water resources. Finally, the study highlights the need for modernization in water management for agriculture in LAC. Effective implementation of advanced technologies and sustainable practices is crucial to maximizing productivity with the least amount of water possible. Collaboration between governments, farmers and research organizations is essential for a sustainable future in irrigated agriculture in these regions.

Keywords: Latin America, water management, agriculture, water resource.

1. Estado actual del uso y gestión del agua en el sector agropecuario de ALC (América Latina y el Caribe).

1.1 Introducción

En la región, la agricultura utiliza más de un tercio de la superficie total, consume prácticamente tres cuartos de los recursos de agua dulce y genera casi la mitad de las emisiones de gases de efecto invernadero de la región (Banco Mundial, 2020). Dependiendo del país, el sector agrícola primario aporta entre el 2% y el 17 % al PIB nacional y un promedio de 14 % de los empleos de la región (Morris et al., 2020) (Error! Reference source not found.).

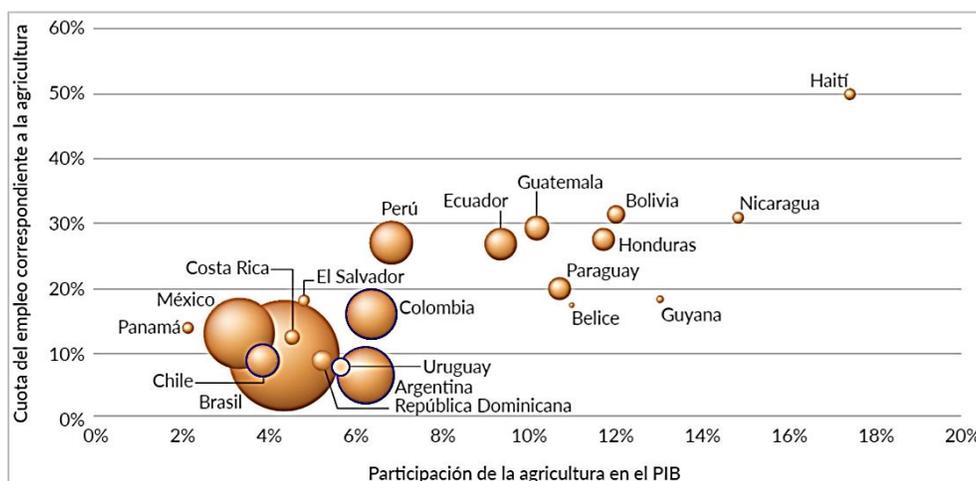


Figura 1. Contribución de la agricultura primaria al PIB y al empleo en los países de América Latina y el Caribe. Se destaca los países piloto (Fuente: Adaptado de Banco Mundial, 2020). El tamaño del círculo representa el tamaño de la población de cada país, Brasil y México son los países con mayor población en América Latina.

Así mismo, la región es la mayor exportadora neta de alimentos del mundo y es uno de los principales proveedores del mercado mundial de productos básicos como el café de Colombia, la soja del Brasil, el trigo de Argentina, la carne vacuna de Uruguay, los plátanos de Ecuador, la tilapia de Honduras, el vino de Chile, las frutas de Haití, la quinua de Perú y las hortalizas de Guatemala. En este contexto económico, la superficie agrícola total de ha crecido fuertemente y hoy es de aproximadamente 760 millones de hectáreas, de las cuales 400 millones están dedicadas a la agricultura familiar y 360 millones a explotaciones agrícolas comerciales de gran escala.

La gran extensión latitudinal y longitudinal de la región, conllevan a una amplia gama de climas y condiciones ambientales en las que se desarrollan las actividades agrícolas. Esto unido a las también variadas condiciones socioeconómicas presentes en América Latina, plantean que la gestión de los recursos hídricos sea también muy variada y compleja. La disponibilidad de recursos hídricos superficiales y/o subterráneos, su acumulación en cuerpos de agua, acuíferos o

altas cordilleras, así como su distribución a las zonas de riego, varía significativamente dentro de la región. Desde los climas tropicales, con balances hídricos positivos y grandes reservas de agua dulce (incluso las más grandes del mundo en la cuenca del río Amazonas), hasta los climas desérticos, con condiciones de balance hídrico negativo y condiciones de aridez.

Justamente, en estas condiciones ambientales áridas, donde el monto de lluvias es inferior a la demanda ambiental y por tanto se genera un déficit hídrico, el aporte de riego (total o suplementario) a los cultivos es obligatorio si se desea obtener productividades comerciales. Se estima que en un 36% de la superficie total de la región se presenta algún grado de aridez (Verbist et al., 2010) (**Error! Reference source not found.**).

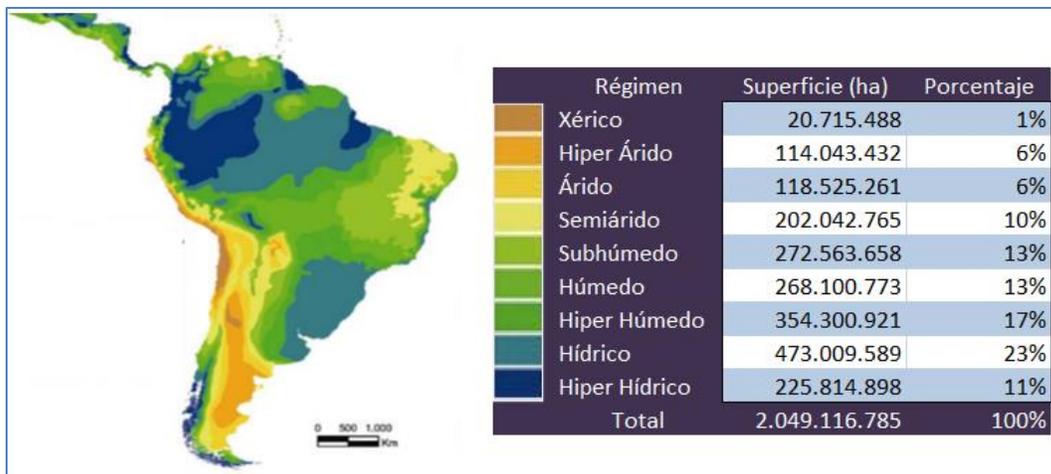
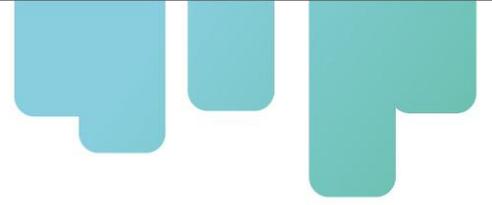


Figura 2. Superficie total y porcentaje de la superficie bajo condiciones hidroclimáticas en la región ALC (Fuente: Verbist et al., 2010).

En este contexto, la agricultura es responsable del **70% de las extracciones de agua**, mientras que la industria del 20% y el consumo de la población del 10%, respectivamente (FAO, 2019a). Estas estadísticas muestran que la agricultura es el principal consumidor de agua y por tanto tiene alta responsabilidad sobre su correcto uso y consumo. Adicionalmente, el mayor porcentaje de uso del agua en las actividades agrícolas es del tipo consuntivo (es consumida en el proceso de evapotranspiración), por lo que es una salida de agua del sistema, marcando gran diferencia con los ciclos del agua en de otras actividades.

Adicionalmente, el cambio climático global está imponiendo modificaciones ambientales que afectan de manera disímil el ciclo del agua y las demandas ambientales en las distintas regiones del continente. De acuerdo a la OMM (2021), la tendencia al calentamiento en América Latina y el Caribe continuó durante el 2021 con una tasa de aumento de las temperaturas de 0,2°C entre 1991 y 2021. Por su parte, los glaciares en Los Andes tropicales han perdido al menos un 30% de su superficie desde 1980 y presentan un balance de masas negativo lo cual corresponde a pérdida de masa de hielo, afectando la disponibilidad hídrica. Desde el año 2000 se ha registrado un importante retroceso en las nieves permanentes y glaciares de la región. Este es el caso del Glaciar



Ventorrillo en México o el Chacal Taya en Bolivia. En el extremo sur de los Andes, entre marzo de 2000 y abril de 2018, la pérdida de masa de glaciares ascendió a aproximadamente 22,9 giga toneladas por año (Dussailant *et al.*, 2019)

Otra evidencia destacada es la megasequía en la zona central de Chile, con una duración de 13 años a la fecha, poniendo a este país a la cabeza de la crisis hídrica de la región. Por su parte, en la cuenca del Paraná-Plata, los daños a la agricultura causados por la sequía afectaron las cosechas, en especial soja y maíz, afectando los mercados agrícolas mundiales. En el conjunto de América del Sur, las condiciones de sequía provocaron un descenso del 2,6% en la cosecha de cereales de 2020/2021 con respecto a la temporada anterior. Según el IPCC, existe un alto nivel de confianza en que aumente la gravedad e intensidad de la sequía, y en que disminuya la humedad del suelo en el suroeste de América del Sur, el suroeste de América del Norte, el suroeste de Australia, América Central y la cuenca del Amazonas. Se prevé que estas regiones se vuelvan más secas debido tanto a la reducción de las precipitaciones como al aumento de la demanda de evaporación. Entre 2008-2018, ALC experimentó 573 desastres que afectaron a 113 millones de personas, donde el 46% correspondió a sequías y 26% a inundaciones (Salazar, Muñoz, 2018).

Se estima que, producto de los efectos del cambio climático, los eventos derivados podrían empujar a la pobreza extrema a entre 2,4 y 5,8 millones de personas en la región ALC para el año 2030 (Jafino y otros, 2020), lo que supone un aumento de la demanda por alimentos y por tanto de agua. La previsión de este aumento indica que la población pasará de 625 millones de habitantes en el año 2010 a aproximadamente 750 millones para 2030 (Banco Mundial, 2020). Por esto mismo, se prevé que la producción agrícola mundial continúe aumentando durante la próxima década y para el año 2050 la demanda por agua aumente en un 55% para todos sus usos (Connor, R., & Koncagül, E., 2015).

En este contexto, se prevé que el 90% del incremento en la oferta de alimentos resultará de mejoras en la productividad de los sistemas agrícolas, debido a la intensificación y al cambio tecnológico en curso y solo un 10% provendrá de expansión de la tierra cultivada. Por estos motivos y específicamente en el caso de los recursos hídricos en agricultura, es necesario profundizar en la transferencia de métodos, técnicas y tecnologías que sean herramientas operativas para una agricultura bajo nuevas condiciones ambientales (cambio climático) y con una necesidad de producir más alimentos para una población en crecimiento y mejor alimentada.

En este trabajo se hace una caracterización del estado actual del uso y gestión del agua de los sistemas productivos agropecuarios en zonas piloto de Argentina, Chile, Colombia y Uruguay. A partir de este análisis, se realizan comentarios sobre las necesidades y capacidades para la adopción de nuevas tecnologías que mejoren la eficiencia hídrica.

1.2 Recursos hídricos y la agricultura en los países ALC.

La región está compuesta por tres grandes subregiones: la subregión centroamericana (SCA) compuesta por 8 países, que reúnen el 6% de la superficie y un 21% de la población; la subregión andina (SRA), compuesta por 5 países, 50% de la superficie regional y el 52% de la población y la subregión sur (SRS), formada por 4 países, con un 44% de la superficie y el 27% de la población (**Error! Reference source not found.**).

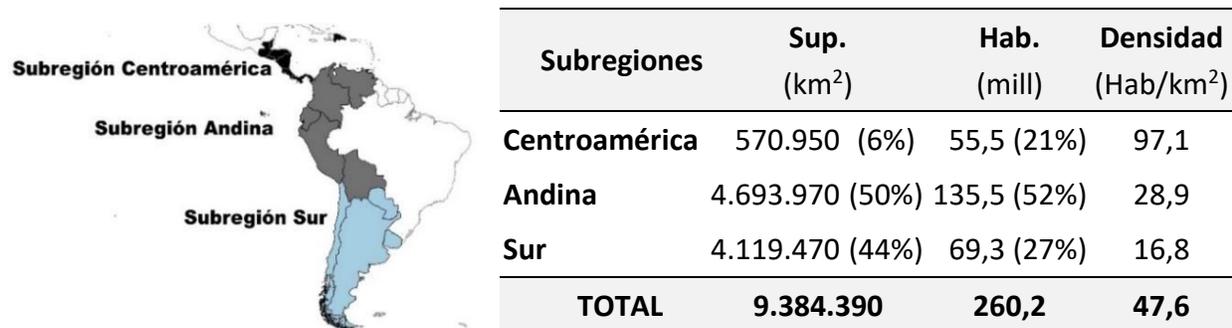


Figura 3. Superficie total y población en las subregiones de los países ALC-FONTAGRO (Adaptado de FAO, 2016^a).

De este modo, la región está compuesta por 33 países, con una disponibilidad total de recursos hídricos de 13.5 billion m³/año, lo cual representa alrededor de 34% de los recursos hídricos del mundo (Bruinsma, 2009). Sin embargo, la distribución dentro de la región no es uniforme y la mitad de estos recursos están concentrados en la rivera del río Amazonas.

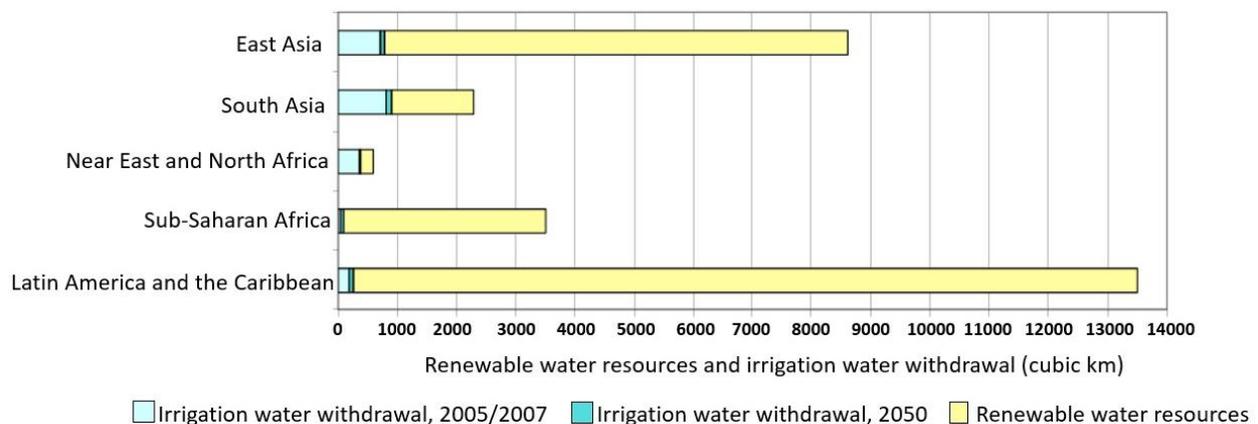


Figura 4. Recursos hídricos renovables anuales y extracción de agua para riego en el mundo (Bruinsma, 2009).

El indicador estrés hídrico, como extracción de agua dulce en las distintas áreas, presenta una tasa promedio de 3%, encontrándose entre los niveles más bajos a nivel global. Sin embargo, en las áreas más pobladas y económicamente activas se encuentra entre alto (40-79%) y extremadamente alto (80-100%) (**Error! Reference source not found.**).

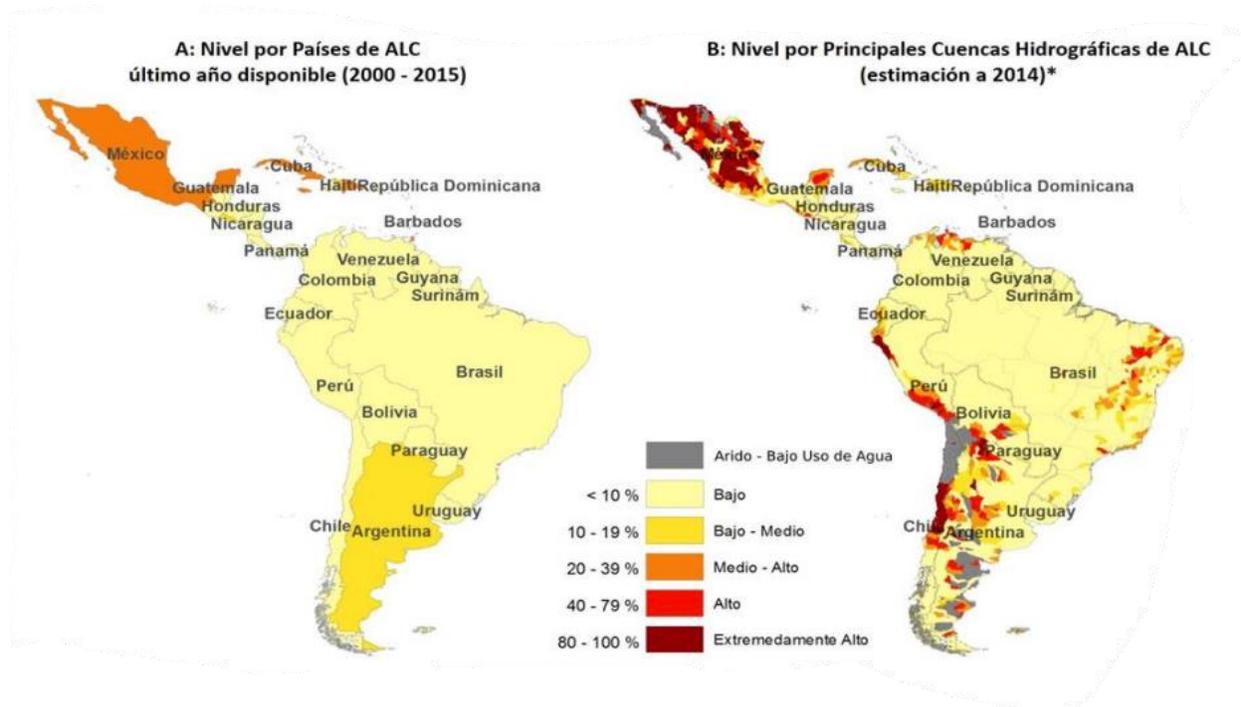
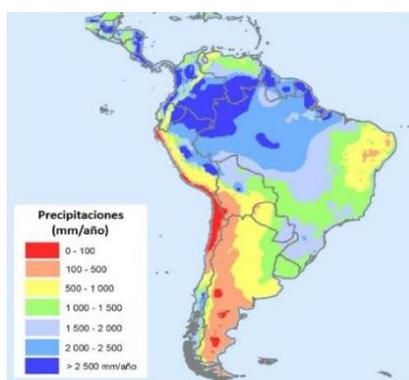


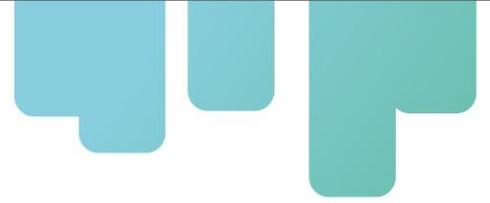
Figura 5. Nivel de estrés por escasez de agua en América Latina y el Caribe según último año disponible (Saravia et al., 2020).

En su totalidad, la región recibe el 28% de la precipitación mundial, por lo que cuenta con el 31,6% de los recursos renovables de agua dulce del mundo. En promedio las precipitaciones anuales en la región alcanzan 1.783 mm/año lo cual, considerada la superficie de cada región, representa en total 14.374 Km³/anuales (**Error! Reference source not found.**). Los datos de precipitaciones de cada subregión fueron calculados agrupando cada subregión como se indicó al inicio de esta sección.



Subregión	Precipitaciones promedio (mm/año)	Volumen Total (millón m ³ /año)
Centroamérica	2.126	1.252.541
Andina	2.088	9.639.170
Sur	1.136	3.482.714
TOTAL	1.783	14.374.425

Figura 6. Precipitaciones promedio y volumen total disponible (Adaptado FAO, 2016a).



La abundante cifra promedio de precipitaciones pone en clara ventaja a la región frente a otras zonas del mundo. Sin embargo, la distribución territorial de las lluvias no es homogénea y coexisten zonas de alta y muy baja pluviometría dentro de una misma región e incluso un mismo país. La mitad los recursos hídricos están concentrados en la rivera del río Amazonas. El caso de Chile es un buen ejemplo donde, la extensa distribución latitudinal del país confiere alta disponibilidad hídrica en la zona sur del país debido a precipitaciones superiores a los 2.000 mm/año, hasta muy baja o nula disponibilidad en la zona norte (Atacama), donde las precipitaciones promedio están en torno a 0 mm/año. Así mismo, la cordillera de Los Andes, sitio de alta acumulación de recursos hídricos sólidos (nieve), también representa contrastes longitudinales de la disponibilidad hídrica entre la cordillera y los valles.

En la región, los recursos hídricos renovables totales suman 9.65 millones m³ anuales, lo cual representa una dotación media de agua por habitante es 26.557 m³/habitante/año, cifra muy superior a la media mundial situada en 6.000 m³/habitante/año (**Error! Reference source not found.**).

Cuadro 1. Recursos hídricos renovables anuales, disponibilidad y dependencia regional.

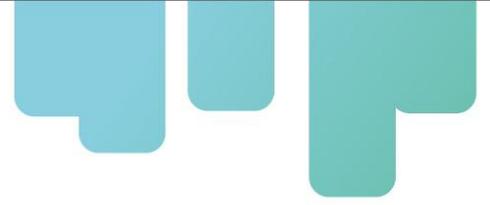
Subregión	Recursos hídricos renovables (10 ⁹ m ³ /año)			Disponibilidad hídrica interna (m ³ /hab)	Dependencia
	Internos	Externos	Totales		
Centroamérica	660	48	708	18.000	7%
Andina	5.337	1.244	6.581	36.288	19%
Sur	1.386	973	2.359	25.384	41%
TOTAL	7.383	2.266	9.649	26.557	23%

Fuente: Adaptado de FAO, 2016a.

Como se puede observar, la dependencia externa por recursos hídricos se aprecia en promedio el 23% de los recursos provendrán de sitios externos a los países, siendo la región sur donde se presentan las mayores dependencias¹. Como se advierte, la mayor dotación de recursos se ubica en la subregión Andina y la mayor dependencia de recursos externos está presente en la subregión Sur.

En cuanto al origen de los recursos hídricos, en promedio en la región un 80% son de origen superficial mientras que el 20% restante es de origen subterráneo (**Error! Reference source not found.**). En la Subregión Sur la disponibilidad de agua de origen subterráneo (25%) es levemente mayor. Sin embargo, estas cifras pueden variar debido a los complejos sistemas de acuíferos que se encuentran parcial o no estudiados.

¹ Se entiende por dependencia externa a los recursos hídricos de cuencas compartidas con otros países.



Cuadro 2. Origen de los recursos hídricos en las subregiones ALC.

Subregión	Agua superficial interna		Agua subterránea interna		Total (10 ⁹ m ³ /año)
	(10 ⁹ m ³ /año)	(% del total)	(10 ⁹ m ³ /año)	(% del total)	
Centroamérica	5.278	80,2%	1.304	19,8%	6.582
Andina	1.370	80,5%	333	19,5%	1.703
Sur	608	74,9%	204	25,1%	812
TOTAL	7.257	80%	1.840	20%	9.097

Fuente: Adaptado de FAO, 2016a.

Mekonnen et al., (2015) señalan que la huella hídrica (HH)² total de producción nacional en ALC en el período 1996-2005 fue de 1.162 mil millones de m³ /año, donde el 87% es verde (lluvia), 5% azul (riego) y 8% gris (agua utilizada). La producción agrícola es la que más contribuye (un 71%), seguido de pasturas (23%), suministro de agua para uso doméstico (4%), producción industrial (2%) y suministro de agua para animales (1%). La contribución de los diferentes cultivos a la huella hídrica total relacionada con la producción de cultivos es liderada por el maíz y la soja que contribuyen con el 18% cada uno, seguidos por la caña de azúcar (11%), los cultivos forrajeros (7%) y café (7%). El trigo y el arroz también son cultivos importantes, cada uno con una participación del 5% del total relacionado con los cultivos. En este sentido el arroz y la caña de azúcar representan la mayor proporción de la huella hídrica azul, cada uno representa el 19%, seguido del maíz (6%) y el trigo (5%). Brasil es el país con mayor HH total, representando el 41% del total ALC. Los otros países importantes en términos de su HH son Argentina (16%) y México (13%). En cuanto a la HH azul³, México sale a la cabeza con el 29% del total, seguido por Brasil (24%), Argentina (10%) y Perú (8%). En promedio, el 21% de la HH de producción en ALC (246 mil millones de m³ /año) no es para consumo interno, sino para exportación. En el sector agrícola, el 22% del total de la HH corresponde a producción para exportación; en el sector industrial esto es del 16%. La mayor parte (97%) del total de HH para exportación proviene del agua verde.

1.2.1 Superficie agrícola en las regiones ALC

La mayoría de los alimentos agrícolas producidos en los países de la región provienen de agricultura realizada en condiciones de secano (solo regadas con las lluvias), la cual representa el

² Huella Hídrica (HH): la huella hídrica de un producto es el volumen de agua dulce utilizado para producir el producto, medido a lo largo de toda la cadena de suministro. Es un indicador multidimensional que muestra los volúmenes de consumo de agua por fuente y los volúmenes de contaminación por tipo de contaminante; todos los componentes de una huella hídrica total están especificados geográficamente y temporalmente (Hoekstra et al., 2009)

³ La huella hídrica azul (HH azul) se refiere al consumo de recursos de agua dulce (superficiales y subterráneas) a lo largo de la cadena de suministro de un producto. "Consumo" se refiere a la pérdida de agua disponible de los cuerpos de agua subterráneos o superficiales en una cuenca hidrográfica (Hoekstra et al., 2009).

87% del área de cultivo regional. Sin embargo, en las últimas décadas el incremento de la superficie bajo riego ha sido significativo en los países de la región, a tasas muy superiores al resto del mundo (Rockstrom, J, 2007). Durante las últimas cinco décadas la tasa de expansión del riego en la región ocurrió a una tasa anual promedio de 250.000 ha. Esto refleja la importancia económica de los recursos de agua azul en la región. La superficie equipada para el riego en la región es de 15 millones de hectáreas con una superficie realmente regada de 12 millones de hectáreas. Las zonas con mayor densidad de riego son las costas occidentales de México y Perú, el centro de Chile y en las áreas de cultivo a lo largo la frontera entre Brasil y Uruguay. En la mayoría de las regiones de América del Sur el riego se realiza principalmente con agua superficial. Las zonas predominantemente irrigadas con aguas subterráneas se encuentran en una franja de aproximadamente 500 km de ancho y 2500 km de largo en Brasil y en el noreste de Argentina.

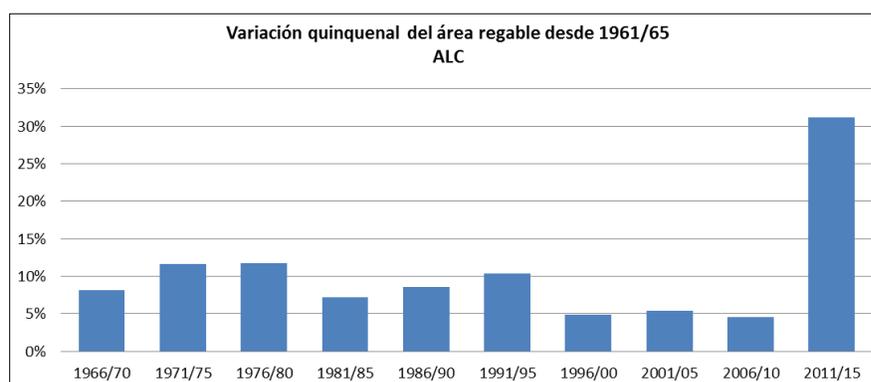


Figura 7. Evolución del porcentaje de la superficie bajo riego en los países ALC. (Fuente: Recursos de agua por país. FAO 2014 AQUASAT, <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/queries/show.html?id=35>)

De este modo, hoy en día la superficie total acondicionada para riego alcanza 31 millones de hectáreas (Mha) en los países ALC (FAO 2014 AQUASAT) (incluidos Brasil, México y países del caribe), mientras que en conjunto para los países ALC alcanza 10,4 Mha, donde la subregión Andina concentra la mayor superficie con 6,5 Mha, seguida de la subregión Sur 3,8 Mha y finalmente la subregión Centroamérica con 1.1 Mha (Error! Reference source not found.).

Cuadro 3. Superficie acondicionada para el riego en los países ALC.

Subregión	Sup. total (ha)	Sup. agrícola		Sup Riego	
		(ha)	(%)	(ha)	(%)
Centroamérica	57.095.000	20.268.500	35%	1.116.700	5,5%
Andina	469.396.900	133.153.600	28%	6.545.000	4,9%
Sur	412.007.200	200.776.400	49%	3.848.000	1,9%
TOTAL	881.404.100	333.930.000	38%	10.393.000	3,1%

Fuente: Adaptado de FAO, 2016a.

Sin embargo, la HH azul supera al agua azul disponible en algunas localidades de la región. Es así como en México, partes de América Central, a lo largo de la costa de Perú y Chile, a lo largo de la costa norte (Venezuela), en el noreste de Brasil y en la parte sur de Argentina existen situaciones de déficit hídrico. Un análisis detallado muestra que 3 de las 77 cuencas hidrográficas de la región se enfrentan una grave escasez de agua durante todo el año (cuenca del río Yaqui y cuenca del río Concepción en México y la cuenca del río Loa en Chile) y 26 cuencas presentan grave escasez de agua al menos un mes al año.

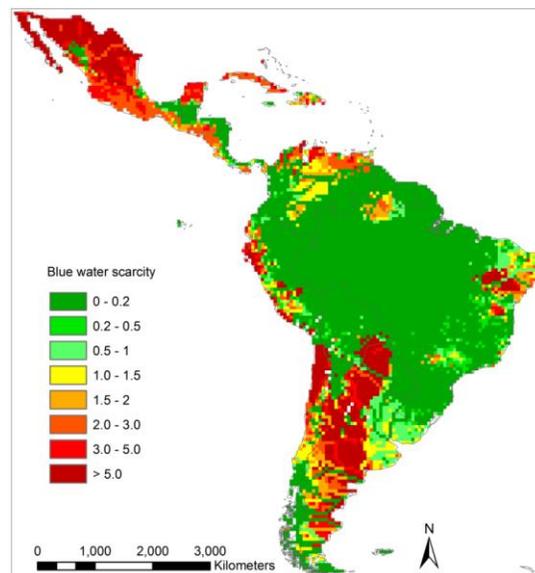
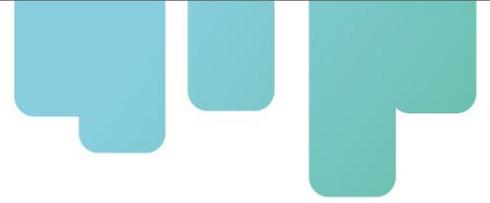


Figura 8. Mapa de escasez mensual promedio anual de agua azul en la región de ALC para el período de diez años 1996-2005. (Mekonnen et al., 2015).

1.2.2 Brechas en el manejo de los recursos hídricos en los países ALC.

Los desafíos futuros como son el requerimiento de mayor y mejores alimentos, los pronósticos de cambio en las condiciones climáticas que afectarán los balances hídricos y la disponibilidad de agua para riego, el crecimiento de las actividades agrícolas tanto en superficie como en productividad, obliga a la mejora en la eficiencia en el uso de los insumos productivos, con énfasis en los recursos hídricos. En este sentido, uno de los principales problemas observados a nivel mundial es la baja eficiencia en el uso del agua en agricultura.

En el **Error! Reference source not found.** (Bruinsma, J., 2009) se presentan datos sobre los recursos hídricos renovables y el consumo en riego a nivel mundial y en diferentes regiones. Las columnas fueron calculadas por los autores como se indica: **precipitaciones (mm/año)**: cantidad promedio de precipitación anual en milímetros para cada región, **recursos hídricos renovables (km³)**: volumen total de agua renovable disponible para cada región, medido en kilómetros cúbicos por año, **eficiencia en el uso del agua (2005/2007 y 2050)**: porcentaje de eficiencia en el uso del agua para riego en el año base (2005/2007) y la proyección para 2050. Indica qué



proporción del agua extraída para riego se utiliza realmente en la agricultura, **captación de agua para riego (km³)**: volumen total de agua extraído de ríos, lagos y acuíferos para fines de riego en cada región, medido en kilómetros cúbicos por año y, **presión sobre los recursos hídricos por riego (%)**: Porcentaje de los recursos hídricos renovables de la región que se utilizan para riego. Indica la presión relativa sobre los recursos hídricos debido a la irrigación en cada región.

Como se puede observar en el **Error! Reference source not found.** la eficiencia en el uso del agua en la región ALC es del 35%, mientras que a nivel de países desarrollados llega a 42% y a mundial a 44%. Por otro lado, en cuanto a la eficiencia del uso del agua a nivel de riego, la región ALC está en torno al 25% (**Error! Reference source not found.**).

Cuadro 4. Recursos hídricos renovables y consumo en riego en el mundo.

Región	Precipitaciones mm/año	Recursos hídricos renovables (km ³)	Eficiencia uso del agua		Captación de agua para riego		Presión sobre los recursos hídricos por riego	
			2005/ 2007 (%)	2050	2005/ 2007 (km ³)	2050	2005/ 2007 (%)	2050
Países en desarrollo	990	28.000	44	47	2.115	2.413	8	9
Africa Sub-sahariana	850	3.500	22	25	55	87	2	2
América Latina y el Caribe	1.530	13.500	35	35	181	253	1	2
Cercano Oriente y África del Norte	160	600	51	61	347	374	58	62
Asia sur	1.050	2.300	54	57	819	906	36	39
Asia este	1.140	8.600	33	35	714	793	8	9
Mundo	800	42.000	44	46	2.620	2.906	6	7
Países desarrollados	540	14.000	42	43	505	493	4	4

Fuente: Bruinsma, J., 2009.

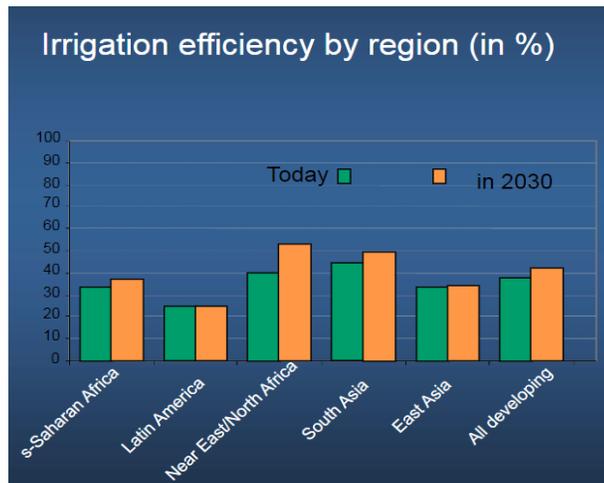


Figura 9. Eficiencia del riego en las regiones del mundo. (Fuente: Josef Schmidhuber, 2010. (Disponible en <https://slideplayer.com/slide/10297895/>).

Como se puede apreciar, los valores de eficiencia hídrica en riego son los más bajos en relación a otras regiones. Debido a la alta proporción en el uso de recursos hídricos por parte de la agricultura (principal usuario), representa una oportunidad para generar aumentos significativos en la eficiencia global del uso del agua. Considerando la eficiencia en valores de rendimiento económico, en el año 2017 la eficiencia promedio a nivel mundial del uso del agua estuvo en torno a USD 18 /m³, mientras que en América Latina y el Caribe estaba alrededor de los USD 14 /m³, muy por debajo de la eficiencia de uso en Oceanía (USD 62 /m³), Europa (USD 58 /m³) y América del Norte (USD 42 /m³). En general se aprecia una baja implementación de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en la región en comparación al resto del mundo.

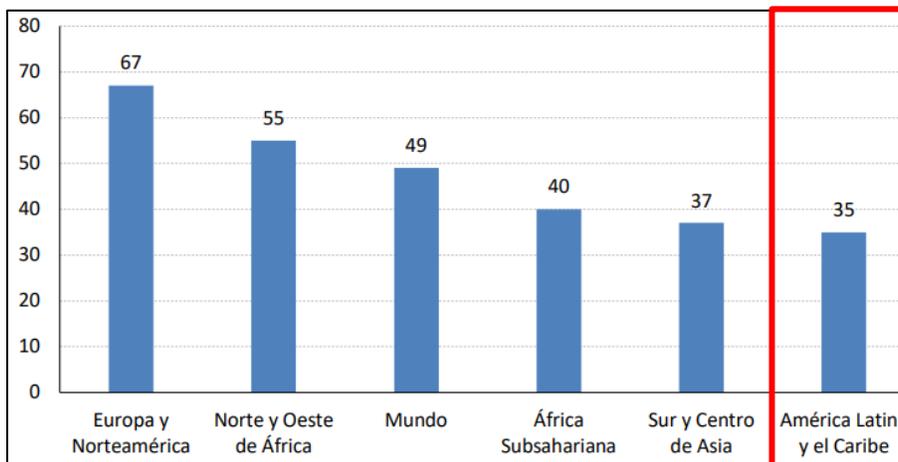
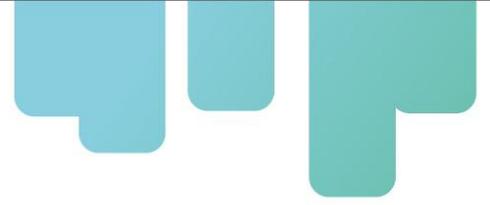


Figura 10. Porcentaje de implementación de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) en el mundo y ALC (CEPAL, 2020).

La falta de infraestructura, tecnologías o institucionalidad contribuyen a que la gobernabilidad de



los recursos hídricos sea baja en la región. En algunos países, donde las condiciones climáticas reducen la disponibilidad hídrica, se han implementado políticas y programas de gobernanza para mejorar la gestión del agua, donde el estado ha invertido importantes recursos económicos en instituciones para mejorar la infraestructura (represas, plantas de tratamiento de agua, sistemas de riego eficientes, compuertas automatizadas, entre otros) y para mejorar la gobernanza.

También en estos sitios se ha hecho el ajuste de la extensión de la superficie regada a la disponibilidad hídrica real de las localidades. Esto es un desafío en el sistema de gestión de los recursos hídricos, ya que debe resguardar el equilibrio entre la oferta y la demanda para establecer sistemas sostenibles en el largo plazo. Los problemas de sustentabilidad asociados a una ampliación excesiva de las zonas regadas son conocidos por las comunidades, pero no se consideran ya que las ganancias económicas de corto plazo enmascaran los perjuicios. Lamentablemente, los principales problemas de esta expansión sin control se manifiestan en el mediano o largo plazo, cuando se presentan los ciclos de sequías y los efectos perjudican a la comunidad completa, generando gastos adicionales por parte de la administración (subsidios, ayudas, préstamos, etc.) y restando sustentabilidad a las actividades agrícolas locales.

En este sentido los desarrollos tecnológicos para el control y distribución de los recursos hídricos y el manejo del riego, es una alternativa viable para mejorar la eficiencia en el uso del agua. Los sistemas de riego tecnificado como el goteo o cintas, la aspersion y micro aspersion, unidos a los sistemas de conducción entubado y bombeo, han permitido incorporar nuevas tierras bajo riego, manteniendo el equilibrio en la oferta y la demanda por agua. En países como Chile, Argentina y Uruguay ha ocurrido este proceso de incremento de la superficie con riego tecnificado (gracias a políticas de incentivo) en plantaciones con alto valor agregado. Lamentablemente, el costo asociado a esta transformación sigue siendo alto por lo que la tasa de tecnificación es lenta. En esta transformación, otro factor importante tiene que ver con la eficiencia versus la sustentabilidad ambiental. En términos locales, el riego localizado aumenta la eficiencia en el uso del agua, pero en términos generales puede no considerar ciclos hidrológicos naturales que aportan con agua a zonas silvestres con otros tipos de vegetación y que aportan al ciclo hidrológico con su presencia.



Figura 11. Riego tecnificado con equipos de bombeo, riego localizado y emisor.

La tecnificación del riego a través de sistemas de aprovechamiento de aguas subterráneas también representa una oportunidad de aumento de la disponibilidad de recursos hídricos para la agricultura. En este caso la brecha tecnológica se presenta cuando no existe un monitoreo del

nivel freático de los acuíferos, por lo cual no se establecen balances entre las extracciones y las recargas, restando sustentabilidad a las reservas subterráneas. En este sentido, se aprecian varios problemas en los países ALC, entre los que destacan la disociación entre los recursos superficiales y subterráneos (son interdependientes); la precaria información sobre las capacidades reales de los acuíferos y el posible manejo de su recarga; la asignación de derechos de aprovechamiento sin tener información sobre la verdadera disponibilidad (caudal) en los acuíferos, lo que en conjunto propicia la sobreexplotación en la mayoría de los casos y la intrusión salina en otros. Estos problemas son más agudos en zonas áridas del continente e incipientes en las zonas históricas de secano.

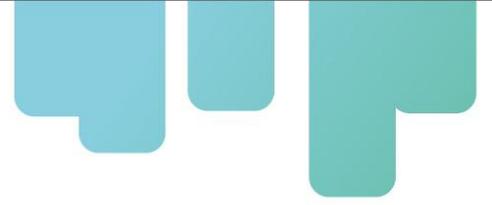


Figura 12. Instalación pozo profundo y monitoreo del nivel freático en la región de Coquimbo, Chile. (Datos propios).

Otra brecha tecnológica se visualiza en procesos de salinización de los suelos cultivados, en especial en zonas áridas donde el riego se realiza con volúmenes de agua insuficientes para la remoción de acumulación sales, y/o con agua con contenidos de sales que terminan acumulándose en el perfil de suelo. La falta de herramientas tecnológicas para la supervisión del nivel de sales en el suelo y/o protocolos para el manejo del riego, llevan al deterioro del suelo hasta niveles no aptos para la agricultura y finalmente el abandono.

En Argentina, entre 25% y 30% de las tierras bajo riego sufre algún grado de salinización o sodificación y otras se ven en peligro de ser afectadas (Mahlknecht y Zapata, 2013). Asimismo, en el Perú se estima que el 36% —unas 300 mil hectáreas— de la superficie incorporada al riego en las cuencas de la costa, presentan problemas de degradación por salinidad, afectando su productividad y rentabilidad (De La Torre, 2011). En Chile estos problemas se presentaron en la zona norte (Copiapó), zona con alta productividad frutícola, pero con inadecuado manejo del riego.

También asociado a la calidad del recurso suelo, se aprecian problemas de erosión asociados a deficiencias en el manejo del riego, la definición de caudales de riego, ausencia de prácticas de conservación. De este modo se pueden apreciar zonas agrícolas con gran degradación del recurso



por retiro del manto superficial de suelo y disminución de componentes asociados a la fertilidad natural como es la materia orgánica y las arcillas. El 14% de la degradación mundial de suelos ocurre en países ALC, siendo más grave en Mesoamérica, donde afecta al 26% de la tierra, mientras que en América del Sur se ve afectado el 14% de la tierra (FAO, 2014). Las principales causas de la degradación incluyen la erosión hídrica, la aplicación intensa de agro químicos y la deforestación, con cuatro países de ALC que tienen más del 40% de su territorio nacional degradado y con 14 países con un porcentaje de entre 20% y 40% del territorial nacional degradado. En Chile se estima que el 50% del territorio presenta algún grado de erosión (CIREN, 2020).

En los países ALC, se han identificado también brechas tecnológicas asociadas a la presencia de nitratos en el suelo y agua, debido a la contaminación difusa asociada al uso de fertilizantes (Willaarts, Garrido y Llamas, 2014). La falta de normativas y capacidad institucional para aplicar leyes o la supervisión en forma efectiva, permite el uso indiscriminado de fertilizantes nitrogenados. En la región ALC el consumo de fertilizantes aumentó de 89 Kg/ha en el año 2002 a casi 126 kilogramos en 2013 (FAO, 2016b). De este modo, la contaminación por nitratos está contribuyendo a procesos de eutrofización de suelos y cuerpos de agua. En el mediano plazo, la tarea de incorporar regulaciones al uso de fertilizantes en la agricultura es una tarea compleja y que en los países industrializados ha sido difícil de implementar, por lo que se espera similares comportamientos en la región ALC. Por lo pronto, aumentar la eficiencia de uso de los fertilizantes a través del correcto diagnóstico de las necesidades de nutrientes de los cultivos a través del análisis de fertilidad en órganos de plantas y en el suelo (y no aplicaciones desinformadas), el correcto aporte y disponibilidad de los fertilizantes a través del riego, que obliga a una buena caracterización de la zona de raíces, el monitoreo de las zonas mojadas, evitando así la percolación profunda del riego.

La brecha de infraestructura para el control, distribución y acumulación del agua de riego, también está presente en los países de la región ALC. En las zonas áridas y semiáridas la modernización de las redes de distribución es fundamental para la gestión de los recursos hídricos. Se evidencia la falta de sistemas de control telemétrico (a distancia) de compuertas, sistemas de información geográfica para los padrones de usuarios, sistemas de evaluación de los cultivos regados, etc. En este sentido, en la cuenca del río Elqui (Coquimbo Chile) se han producido avances tecnológicos para el control de las entregas y su monitoreo. La informatización de los registros de caudales y control de compuertas de distribución han sido una nueva fuente de información que ha permitido modernización la distribución de agua en zonas con una muy baja disponibilidad hídrica histórica. Así mismo, en Argentina en la cuenca del río Mendoza también se están realizando esfuerzos para la modernización de los sistemas de control, modelamiento y gestión de los recursos hídricos. Este tipo de tecnologías representan avances en el ordenamiento de las ofertas hídricas que pueden ser implementados en otras zonas del continente, donde recién comienzan a evidenciarse problemas de disponibilidad hídrica y gestión de los recursos.



TELEMETRIA COMPUERTAS	
Wednesday 17th of April 2019 02:46:27 PM -3	
AFORADOR CANAL ALTO PERALILLO	287.16L/seg
AFORADOR CANAL ALTOVALSOL	139.02L/seg
AFORADOR CANAL BARRANCAS	99.32L/seg
AFORADOR CANAL COMPANIA	145.14L/seg
AFORADOR CANAL COQUIMBITO	175.31L/seg
AFORADOR CANAL CUTUN Y ROJAS	58.61L/seg
AFORADOR CANAL HINOJAL	131.36L/seg
AFORADOR CANAL LA CALERA	237.91L/seg
AFORADOR CANAL LOS AGUIRRE Y L	69.64L/seg
AFORADOR CANAL LOS ROMEROS	60.07L/seg
AFORADOR CANAL MAITEN	19.76L/seg
AFORADOR CANAL MARQUESA	129.41L/seg
AFORADOR CANAL MIRAFLORES	185.91L/seg
AFORADOR CANAL PAMPA	153.10L/seg
AFORADOR CANAL PANCAS	59.65L/seg
AFORADOR CANAL SAN CARLOS	109.29L/seg
AFORADOR CANAL SATURNO	79.26L/seg
AFORADOR CANAL TITON	57.98L/seg
AFORADOR CANAL TOMA DEL TAMBO	70.73L/seg

Figura 13. Ejemplo compuertas telemétricas y tipo de información disponible en la Junta de Vigilancia del Río Elqui (Coquimbo, Chile).

La falta de información acerca de las zonas cultivadas y la demanda por recursos hídricos desde ellas, se traduce en ineficiencias en la planificación y distribución las entregas. Modelos hidrológicos (tipo WEAP) o de consumo hídrico (HIDROMORE) permiten establecer de manera operativa balances entre la oferta y la demanda son avances tecnológicos necesarios. También en la zona de Coquimbo se están implementando balances hidrológicos especializado con objeto de entregar información a los tomadores de decisión para la planificación de la gestión de los recursos hídricos.

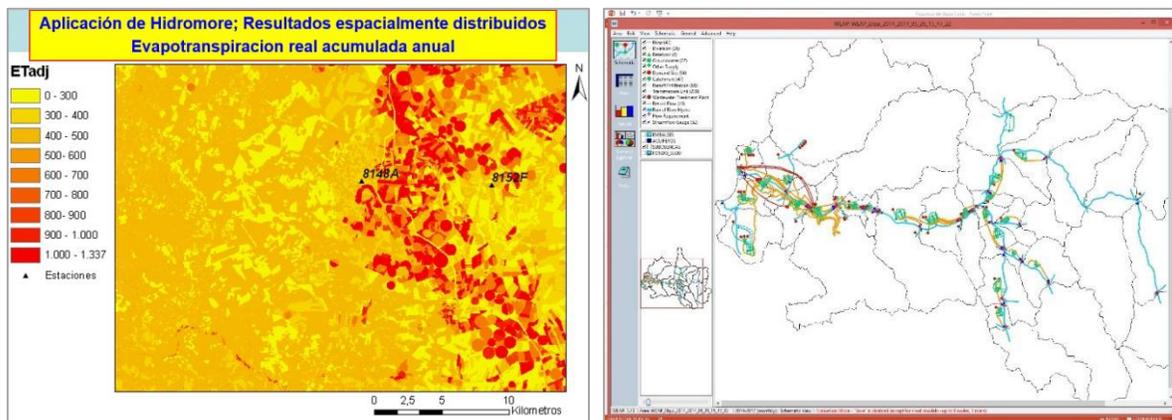


Figura 14. Modelamiento de la demanda hídrica en la cuenca del Río Elqui (Coquimbo, Chile) con modelos HIDROMORE © y WEAP.

La falta de infraestructura para la distribución y acumulación de agua también representa una brecha en los países ALC. En Centroamérica, dos tercios de la población se localizan en las cuencas del Pacífico, donde sólo fluye el 30% de las aguas superficiales, esto a pesar que en promedio la disponibilidad hídrica en Centro América es alto. Las diferencias en la distribución temporal y espacial de los recursos hídricos entre las vertientes Atlántico y Pacífico que inducen déficits o superávits. Mientras, la costa atlántica es más húmeda, con alta precipitación y concentración del 70% de los recursos hídricos, la costa pacífica solo cuenta con el 30% de los recursos hídricos. Esto

contrasta con la distribución de la población, la cual se concentra principalmente en la costa Pacífico mientras que en la Atlántica sólo vive el 30% de la población, generando presiones desiguales sobre los recursos hídricos. Un ejemplo muy interesante ocurre en Perú donde más del 50% de la población se localiza en la vertiente pacífica, que sólo cuenta con el 1.8% de la disponibilidad hídrica de ese país. Para enfrentar esta situación se desarrolló el Proyecto de irrigación e hidroenergético de Olmos, en el departamento de Lambayeque (Olmos). El proyecto consistió en el trasvase de las aguas del río Huancabamba de la vertiente del Atlántico a la vertiente del Pacífico a través de un túnel trasandino de 20 km para su aprovechamiento en la irrigación de tierras eriazas y la generación hidroenergética. El proyecto pretende incorporar al riego aproximadamente 35 mil ha y asegurar el riego a otras 5 mil ha. La distribución del agua se realiza con tuberías presurizadas.



Figura 15. Esquema del proyecto, túnel trasandino, nuevas zonas de riego.

La falta de tecnologías para la definición precisa de las necesidades de riego de los cultivos y su aporte oportuno, es una brecha tecnológica importante en los sitios de agricultura bajo riego. La falta de capacitación en la aplicación y operatividad de metodologías estandarizadas para el riego debe ser abordado a través de las instituciones de transferencia de los países. Hoy en día los avances tecnológicos para la evaluación del estado de desarrollo de los cultivos, así como de la demanda ambiental (redes de estaciones meteorológicas) permiten aplicar de manera rutinaria la metodología propuesta por FAO en su Manual N°56 (Allen et al, 1998). De este modo la supervisión de amplias zonas del territorio puede ser realizada a un bajo costo ya que se utilizan tecnologías de amplia cobertura como son las imágenes satelitales.

En Chile existe un desarrollo científico tecnológico que ha implementado por INIA Chile en el cual se ha puesto a disposición de los usuarios una Plataforma Agrícola Satelital (PLAS, <https://www.agrisatwebgis.com/app/es/agrisat/map?group=Plas>) en la cual los usuarios pueden realizar consultas y descargar información respecto a la evolución temporal del desarrollo de los cultivos a través del índice NDVI (**Error! Reference source not found.**). Esta información junto con registros de la demanda ambiental permite definir de manera precisa el consumo hídrico de los cultivos y por tanto la reposición que debe ser realizada a través del riego.

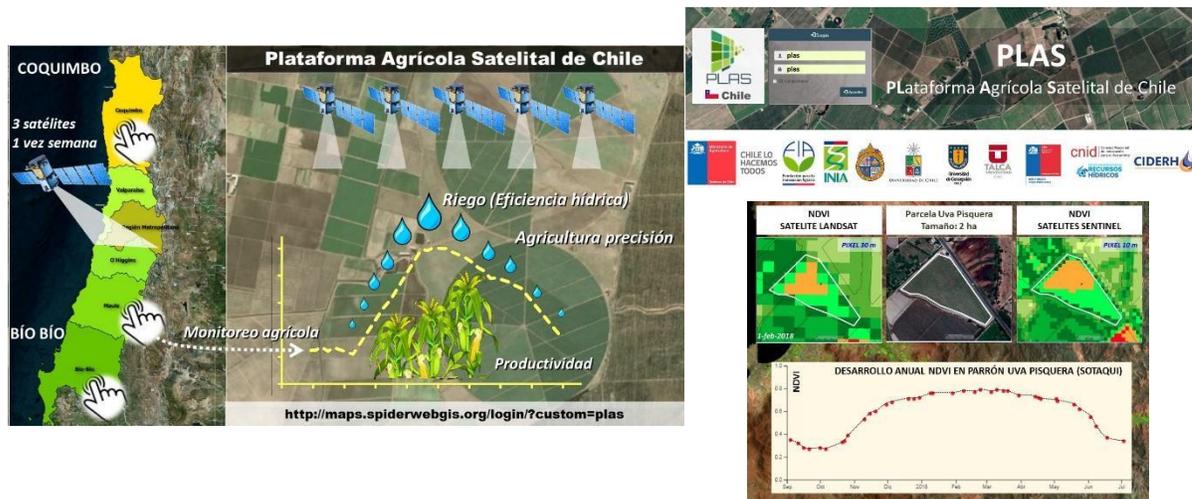


Figura 16. Esquema de metodologías para la determinación de las necesidades de riego de los cultivos basada en el uso de información satelital y registros meteorológicos.

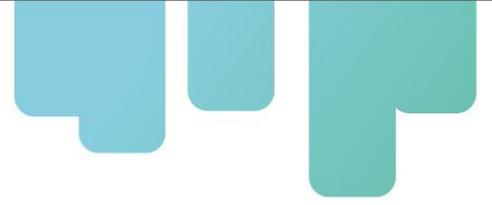
La evaluación del estado hídrico de los cultivos también permite evaluar y verificar la eficiencia del riego aportado y así como ajustar los programas para alcanzar alta productividad. Las brechas tecnológicas están representadas por la falta de capacitación e infraestructura para realizar estos monitoreos de manera rutinaria. Herramientas como diámetro de tronco y fruta, potencial hídrico interno de los cultivos, temperatura de la vegetación son herramientas que hoy en día se ofrecen desde las empresas tecnológicas y que pueden ser incorporadas dentro de esquemas operativos de manejo del riego y parcelas.



Figura 17. Monitoreo estado hídrico interno de los cultivos, dendrómetro de tronco, cámara de presión tipo Scholander y sensor de temperatura infrarroja.

1.2.3 Conclusiones acerca de brechas y la modernización del riego

El nombre de modernización fue acuñado en los años 80 en vista del retroceso en la expansión de los regadíos en los países desarrollados. En esa época, ya se percibía el desafío de incrementar la producción por unidad de agua, cumpliendo con nuevas y crecientes salvaguardas ambientales. Tanto FAO, como el Banco Mundial y otros organismos internacionales se involucraron de manera activa en la modernización de sistemas de riego a gran escala para aplicarse en proyectos de desarrollo agrícola en países emergentes.



De este modo la modernización se define como un proceso de actualización técnica, organizativa y de gestión de los sistemas de riego con el objetivo de mejorar la utilización de los recursos (agua, trabajo, ambiente).

Primero, el proceso utiliza una amplia variedad de acciones y herramientas para alcanzar objetivos específicos. No deben confundirse prácticas como revestimiento de canales y automatismos, que suelen ser las menos prioritarias al examinar el proceso necesario para cumplir sus objetivos.

Segundo, un objetivo clave es mejorar el servicio de suministro a las parcelas ya que gran parte de las ineficiencias a nivel parcelario resultan de un servicio inadecuado. Un mejor servicio casi siempre resulta en mayores rendimientos y eficiencias.

Tercero, debe internalizarse que el sistema existe para proveer un buen servicio a los usuarios, y para alcanzarlo, los ingenieros deben reconocer que un proyecto se compone de varios niveles por los que el agua fluye. Los canales principales y secundarios sólo existen para dar servicio a los canales o tuberías terciarias y éstos a las parcelas.

Según FAO (1997, 2001, 2007), modernización es un proceso de mejora de los sistemas de riego entendidos como un servicio de suministro, con el objetivo de incrementar la productividad del agua y el valor económico de la producción, mediante cambios institucionales, organizacionales y tecnológicos. Integra parámetros e indicadores físicos del uso del agua con otros administrativos, económicos, sociales, ambientales y de operación. Ante todo, el proceso involucra a la gestión del agua orientada al servicio (FAO, 1997, 1999, 2001, 2007).

Según Santos Pereira, modernización es un proceso que no sólo responde a necesidades tecnológicas, sino que introduce nuevos enfoques de gestión. En particular, la expresión “operación y mantenimiento” (O&M) debe cambiarse por “operación, mantenimiento y gestión” (OM&G), más rico y adaptado a las actividades generales desarrolladas para alcanzar el éxito del proyecto de riego. La gestión, entonces, es un factor clave a ser considerado en todas las fases del proyecto (Pereira, 1988).

Como resumen cabe destacar que la modernización es parte del nuevo paradigma y, por tanto, tiene un abordaje multidisciplinar que pone a la gestión del agua para riego como un servicio de suministro para alcanzar objetivos específicos de mayor productividad del agua y demás factores de la producción mejorando la resultante económica, social y ambiental.



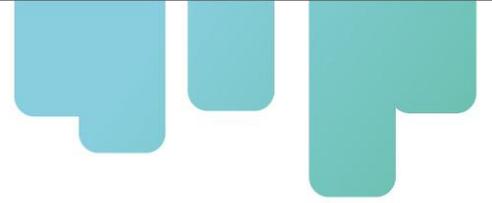
2. Gestión hídrica en los países participantes.

2.1 Gestión de los recursos hídricos en zona piloto Colombia.

En Colombia la disponibilidad de agua verde (DAV) es de 1.008.965 Mm³/año, esto es solo el 31% del volumen total de la precipitación nacional, que es del orden de los 3.293.750,8 Mm³/año⁻¹, disponible para fines productivos. La mayor DAV se reporta para el área hidrográfica Orinoco, mientras que la menor DAV se encuentra en el Pacífico (IDEAM, 2019).

IDEAM (2019) en el estudio nacional del agua – ENA, reporta que los cultivos, café, palma, caña y plátano, concentran casi 2,4 millones de hectáreas, el 67 % del área total de cultivos permanentes; representan el 57% del total de la demanda hídrica agrícola, el 60 % del total de la huella hídrica azul agrícola y el 15% del total de la huella hídrica verde agrícola. Los cultivos transitorios maíz y arroz, de secano mecanizado y riego, ocupan cerca de 710.000 ha, representando el 65 % del área total de cultivos transitorios; representan el 18% del total de la demanda hídrica agrícola, el 13 % del total de la huella hídrica azul agrícola y el 3% del total de la huella hídrica verde agrícola. Los pastos representan el 25% del total de la demanda hídrica agrícola, el 27% del total de la huella hídrica azul agrícola y el 82% del total de la huella hídrica verde agrícola.

Por su parte el MADR (2020) indica que a pesar de la DAV y las políticas sectoriales para el recurso hídrico, una de las razones de la baja productividad del sector agropecuario en Colombia es la debilidad en la provisión de equipamientos y servicios sectoriales, incluyendo la adecuación de tierras, entendida como servicio público integrado por los componentes de riego, drenaje y protección contra inundaciones, prestado mediante obras y equipos especializados (Departamento Nacional de Planeación-DNP, 2019).



Según la Fedesarrollo, citando a la Unidad de Planificación de Tierras Rurales (UPRA), Colombia cuenta con 17.030.758 ha aptas para el riego. La mayoría de este potencial se encuentra en la región de la Orinoquía (46%), seguido por la Andina (22%) y el Caribe (21%). Por su parte, las regiones del Pacífico y la Amazonía presentan, en general, un bajo potencial de adecuación de tierras (9% y 2%). Según el DNP, de cifras tomadas de INCODER, en Colombia sólo 1.137.238 ha están adecuadas por distritos públicos o por sistemas privados de riego. Esto significa que únicamente el 6,7% del área con potencial para ser irrigado está siendo utilizado en riego agropecuario. En 2011, la superficie total cosechada de cultivos con infraestructura para el riego ascendió a 524.000 ha, 245.000 ha en arroz (47 %) y 168.000 ha en caña de azúcar (32%). El organismo también especificó que en 2008, la ganadería apenas fue responsable del 4% de la extracción de agua, equivalente a 524 mill m³/año, frente al 54 % del sector agrícola, con 6.391 mill m³/año, de los cuales 5.867 mill m³/año (50 %).

En Colombia la cobertura de riego solo representa el 6,7% de 18,4 mill ha para la infraestructura de adecuación de tierras. Esto se debe en parte, a que la inversión pública sectorial se ha concentrado en el fortalecimiento institucional y apoyos directos, en detrimento de la provisión de bienes y servicios públicos sectoriales (DNP, 2019). Para el año 2038, se espera cubrir el 10% con 744 mil ha adicionales irrigadas (Agronet, 2020).

El cultivo de caña de azúcar ocupa en el Valle del Cauca aproximadamente 187 mil ha de los 3.370 km² que posee la zona. Cerca de 150 mil ha son regadas por medio de surcos, es decir con una baja eficiencia en el uso del agua. Según los resultados del Censo Nacional Agropecuario de 2014, únicamente el 33,3% de las Unidades de Producción Agropecuaria (UPA) del país que tienen cultivos utilizan algún tipo de riego para el desarrollo de sus actividades agropecuarias.

Una gran parte de la baja accesibilidad a estas tecnologías surge de que un alto porcentaje de la pequeña agricultura se hace en regiones montañosas con topografía de pendientes pronunciadas, que dificultan la mecanización, el acceso al agua y la implementación de sistemas de riego, dificultando aún más el agrupamiento de áreas irrigables (DNP, 2019).

Fedesarrollo (2019) reporta que Colombia tiene un muy bajo nivel de cobertura de riego. Indica que productos como el arroz y el café, tienen áreas irrigadas superiores a las 50.000 ha. Asimismo, el maíz y la palma africana reportan áreas con riego entre 30 mil y 50 mil ha. Por su parte, la caña de azúcar, plátano, caña panelera y papa, están en el rango entre 10 mil ha y 20 mil ha con riego. Todos los demás cultivos tienen menos de 10 mil ha irrigadas. Finalmente mencionan que solo tres productos, café, arroz y banano de exportación tienen coberturas en riego superiores al 10% del área sembrada.

En el 2020 el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) adoptó el Plan Nacional de Riego y Drenaje para la Economía Campesina, Familiar y Comunitaria, el cual articulado con el Plan Nacional de Riego (PNR), busca mejorar la productividad agropecuaria mediante la planificación priorizada de la inversión en riego tecnificado, específicamente a través de las estrategias de



ampliación de cobertura, rehabilitación y entrega de distritos de riego. La estrategia de beneficiar a los agricultores campesinos y familiares mediante soluciones tecnológicas apropiadas de riego busca ser un instrumento para la prevención y reducción de eventos climáticos que afecten su productividad, así como; i) promover un uso eficiente del agua para fines productivos agropecuarios; ii) generar y consolidar apuestas productivas competitivas; iii) promover el ordenamiento productivo y social de la propiedad rural en las economías campesina familiar y comunitaria y iv) articular con los instrumentos de ordenamiento territorial y ambiental.

IGAC (2017) indica que en la actualidad el país cuenta con 18 “grandes” infraestructuras de riego y drenaje que influyen directamente a 11 departamentos, con una extensión total de 248.220ha y usuarios 35.240 (**Error! Reference source not found.**). Menciona el instituto geográfico que para 16 de estas infraestructuras aún se desconocen: la capacidad productiva de sus suelos, el cultivo más apropiado y rentable que deberían implementar y los posibles impactos ambientales.



Cuadro 5. Extensión de los distritos de riego en Colombia. Fuente IGAC (2017).

Distrito Riego	Departamento	Extensión (ha)	# Usuarios	Fuente hídrica	Cultivos
Mocarí	Córdoba	43.818	5.026	Río Sinú	Arroz, algodón, maíz, sorgo y pastos
Coello y Cucuana	Tolima	25.658	1.920	Ríos Coello y Cucuana	Arroz, algodón, sorgo, soya y pastos
Manatí	Atlántico	22.243	1.865	Canal del Dique	Yuca, sorgo, pancoger, maíz, papaya, cítricos, guayaba, patilla, tomate, ahuyama, mango y pastos
Fuquene-Cucunuba	Cundinamarca	20.337	4.300	Río Ubaté	Maíz, frijol, alverja, hortalizas y pastos
María La Baja	Bolívar	18.390	2.035	Arroyos Grande y Matuyá	Palma africana, arroz, plátano, maíz, frutales, caña y ají
Saldaña	Tolima	14.264	1.465	Río Saldaña	Arroz, frutales, algodón y sorgo
Aracataca	Magdalena	10.434	444	Ríos Aracataca y Fundación	Palma africana, banano, arroz, pancoger, cítricos, yuca, frutales, cacao y pastos
RUT	Valle del Cauca	10.245	1.934	Río Cauca	Caña de azúcar, maíz, sorgo, soya, guayaba, maracuyá, papaya, melón y hortalizas
RIBU	Valle del Cauca	10.000	300	Río Bugalagrande	Caña
Zulia	Norte de Santander	9.952	1.132	Río Zulia	Arroz, palma, cacao, plátano, yuca y pastos
Alto Chicamocha y Firavitoba	Boyacá	9.348	8.835	Ríos Tuta, Chulo y Chicamocha	Cebolla, repollo, papa, alverja, frijol, maíz, lechuga, brócoli, zanahoria, remolacha, espinaca, frutales y pastos
Río Recio	Tolima	9.345	419	Río Recio	Arroz, algodón, sorgo, soya, frutales y pastos
Lebrija	Santander	9.060	250	Río Lebrija	Palma de aceite, pastos, arroz, sorgo, maíz y yuca
Valle de Sinbunday	Putumayo	8.500	2.915	Drenaje	Pastos, frijol, maíz, manzana, papa, hortalizas, lulo, granadilla, mora, lulo y trucha
Tucurinca	Magdalena	8.304	352	Río Tucurinca	Palma africana, banano, arroz, frutales, pastos y pancoger
Sevilla	Magdalena	7.100	418	Río Sevilla	Banano, palma africana, frutales y pancoger
Río Frío	Magdalena	5.672	630	Río Frío	Banano, palma africana y pancoger
La Ramada	Cundinamarca	5.550	1.000	Río Bogotá	Pastos, papa y cebada

De acuerdo con IGAC (2017), en los distritos de Colombia la actividad agropecuaria se ha realizado de una manera improvisada. La mayoría de esta infraestructura no cuenta con estudios semidetallados de suelos, tampoco con información técnica o científica para establecer la vocación y la capacidad de las tierras. Algunos distritos cuentan con proyectos productivos, pero con poca supervisión productiva (DNP, 2016). Aunque diferentes estudios muestran la relación positiva que hay entre la productividad, el riego y los servicios complementarios, caso asistencia técnica, comercialización, transporte, entre otros (DNP, 2014), en muchos de los distritos no operan dichos servicios (DNP, 2018).

Ahora bien, respecto de las formas de acceso al agua, Fedesarrollo (2019) reporta que según cifras de Encuesta Nacional Agropecuaria (DANE-ENA, 2019), 24.921 unidades productivas (UPA) acceden al agua de riego a través de los distritos, correspondiendo a 284.151 ha (**Error! Reference source not found.**).

Cuadro 6. Formas de acceso al agua. Tomado de Fedesarrollo (2019)

Fuente de agua para las actividades agropecuarias	UPA	%	Área total	%	Área promedio
Distritos de riego	16.948	1	152.332	0	9
DR con fuente complementaria	7.973	0	131.719	0	17
Sistema privado de riego (SPR)	71.115	3	888.364	1	13
SPR con fuente complementaria	16.234	1	458.641	0	28
Reservorios	219.666	10	6.802.586	7	31
Acueducto	290.088	13	1.273.852	1	4
Carrotanque	2.643	0	15.577	0	6
Río, quebrada, caño o manantial	679.876	32	14.674.128	15	22
Cuerpo de agua	42.670	2	896.848	1	21
Agua lluvia	266.692	12	38.784.340	39	145
Otra combinación	196.929	9	5.646.264	6	29
No tiene acceso al agua	259.396	12	2.777.265	3	11
No reporta	85.037	4	28.020.414	28	330
Total	2.155.267	100	100.522.330	100	47

Según el Censo nacional agropecuario (DANE-CNA, 2014), el grado de ilegalidad en la utilización del agua en el sector rural es de 80% (si se toma como referencia el uso mediante obras de captación) o un 99% (si se toma como referencia el abastecimiento general de las fuentes naturales). Esto implica que en Colombia se tiene una baja formalidad, tanto en el uso del agua para las actividades agropecuarias, como en el cubrimiento de los instrumentos disponibles para incentivar el uso eficiente del recurso hídrico (como son la concesión de agua y la tasa por uso del



agua). Ello afecta la productividad y eficiencia del recurso hídrico (Fedesarrollo, 2019).

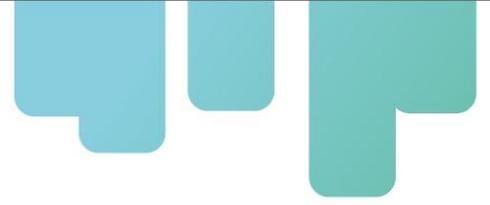
De esta manera, promover un uso eficiente del agua para fines productivos agropecuarios, implica un cambio de paradigma, generar y aplicar opciones sostenibles que minimicen el efecto que tiene sobre la producción el aumento en el costo de los insumos agrícolas, el combustible, la maquinaria y la mano de obra, se requiere además de infraestructura hidráulica, automatizar los procesos. Tal como lo indican Naciones Unidas (2018), *“aplicar prácticas agrícolas resilientes que aumenten la productividad y la producción, contribuyan al mantenimiento de los ecosistemas, fortalezcan la capacidad de adaptación al cambio climático, los fenómenos meteorológicos extremos, las sequías, las inundaciones y otros desastres, y mejoren progresivamente la calidad de la tierra y el suelo”*. Ahora bien, es el momento de un cambio de paradigma e incursionar en la Agricultura 4.0.

De acuerdo con CEPAL (2022), el sector agrícola debe acelerar la digitalización del pequeño y mediano agronegocio, promoviendo la agricultura de precisión para incrementar la productividad y aprovechar eficientemente el agua (Javaid, Haleem, Pratap, & Suman, 2022); considerando, además, que los países que priorizan el uso de las TIC en la agricultura, por lo general, también tienen un mejor entorno empresarial y un mejor marco normativo y reglamentario para los agronegocios (FAO, 2019). En Colombia existe evidencia de la optimización de labores y la mejora en la eficiencia en el uso del recurso hídrico con el uso de tecnologías 4.0 (Tovar 2019). Para el caso del riego en lima ácida Tahití para la condición agroclimática del Tolima, Agrosavia, ha reportado una disminución en el uso del agua para riego del 42%, al usar sensores de humedad del suelo para controlar el volumen y frecuencia del riego (Ríos-Rojas et al., 2020). Surge la necesidad de implementar la Agricultura 4.0, tecnologías que permiten la toma de decisiones estratégicas y operativas adecuadas, basadas en datos medidos y reportados en tiempo real (CEPAL, 2019). Este enfoque tecnológico minimiza la improvisación productiva, la ocurrencia de errores y el escalamiento de estos.

2.1.1 Principales fuentes hídricas Valle del Cauca.

La principal fuente hídrica superficial en el Valle del Cauca es el río Cauca. Esta corriente y sus tributarios, en el departamento presentan un régimen de caudal bimodal, con dos ciclos de distribución del agua superficial: en verano con caudales bajos entre los meses de enero - marzo y Julio – Septiembre y en invierno con caudales altos entre los meses de abril - junio y octubre - diciembre. El río Cauca cuenta con un aporte medio multianual de los ríos tributarios de por la margen derecha de 223,8 m³/seg y 97,0 m³/seg por la margen izquierda.

De acuerdo con la Corporación Regional del Valle del Cauca - CVC (2017) en el departamento hay registradas 8.106 concesiones de agua para el recurso hídrico superficial. El caudal concesionado del agua superficial en las cuencas del Valle del Cauca asciende a 226 m³/seg, de los cuales el 64% equivalente a 145 m³/seg corresponde al sector agrícola, seguido por el sector de doméstico con



el 26% (58 m³/seg); el sector industrial tiene asignado el 6% (14 m³/seg) y el sector agropecuario y otros usos 4% (9 m³/seg).

El Valle del Cauca es el mayor consumidor de agua subterránea en el sector agrícola con el 58% del total consumido por el sector en todo el país. De acuerdo con CVC (2017) en el Valle del Cauca, en un área de 3.400 km² existen aproximadamente 1.300 pozos profundos en operación, de los cuales se extraen entre 400 y 600 x 10⁶ m³/seg, que son utilizados para el riego de 90 mil ha, sembradas en caña de azúcar, cultivos transitorios, pastos y frutales, el suministro de agua a unas 122 industrias que dependen exclusivamente del agua subterránea para sus procesos y el abastecimiento público de 106 comunidades localizadas en la zona plana. Las reservas totales de agua subterránea calculadas para el nivel superior del depósito aluvial en todo el valle geográfico del río Cauca hasta una profundidad de 150 m son del orden de 10.000 mill m³. La recarga natural anual promedio que recibe este sistema acuífero es de aproximadamente 325 mm que equivale al 20% de la precipitación promedio anual de toda la cuenca de 1.550 mm, para un volumen anual de recarga de 3.500 mill m³ (CVC, 2017). CVC indica que un aprovechamiento del nivel superior del acuífero hasta de 600 mill m³/s no afectará su sostenibilidad.

2.1.2 Zona piloto: Distrito de riego RUT.

El distrito de riego RUT – D. RUT (municipios Roldanillo - La Unión - Toro), se ubica al norte del departamento del Valle del Cauca y ocupa la zona plana, delimitada entre la cordillera Occidental y el río Cauca de los municipios Roldanillo, La Unión y Toro. La principal fuente hídrica del D. RUT es el río Cauca, más comparte el abastecimiento de la demanda hídrica agrícola, pecuaria y doméstica, con el acuífero del sector norte del departamento del Valle del Cauca. De acuerdo con Fedesarrollo (2019), la zona cuenta con una temperatura promedio de 24° C, fluctuando entre 17°C y 34°C, y con una altitud media de 967 msnm. La precipitación posee dos períodos secos y húmedos por año. La precipitación media anual es de aproximadamente 1.100 mm, la humedad relativa promedio es del 72% y la evaporación anual promedio se encuentra entre 1.500 y 1.700 mm. La zona es casi plana, con una ligera pendiente longitudinal (0,13 m/km) en dirección Sur-Norte. La sección transversal del área tiene una forma cóncava con una pendiente de 1,2 m/km en la dirección del canal de drenaje principal. En la

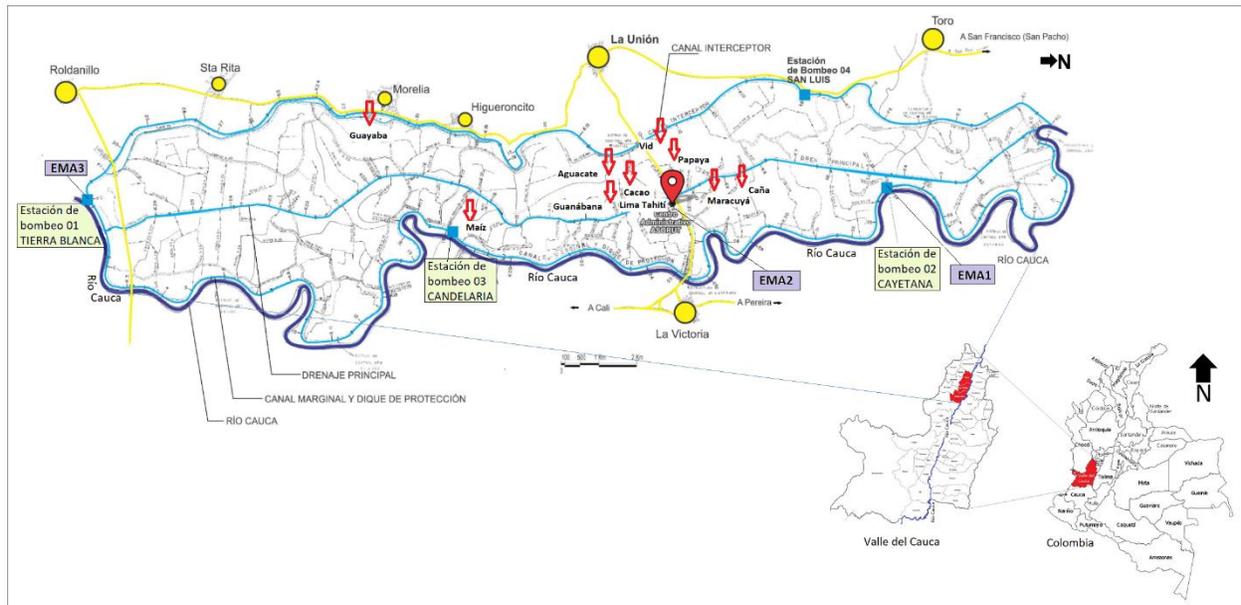


Figura 18 se muestra la ubicación geográfica del distrito de riego, junto con el marco experimental en el que se encuentra ubicado el piloto.

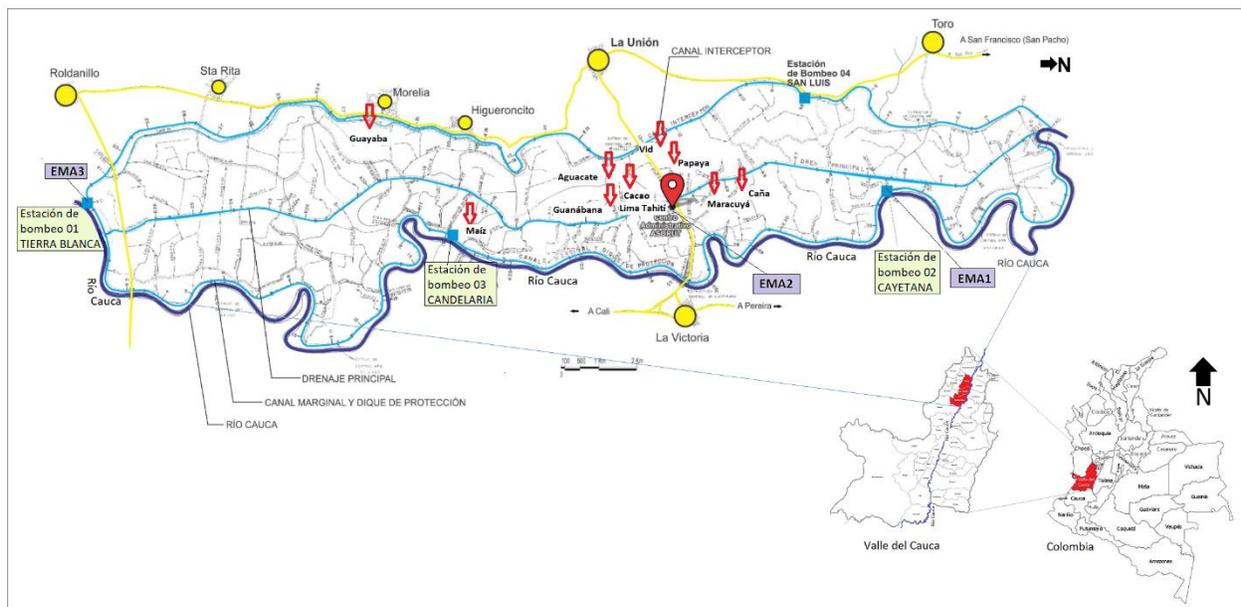


Figura 18. Ubicación piloto distrito de riego RUT.

Según cifras de ASORUT (2018), la zona RUT (municipios Roldanillo-LaUnión-Toro) es considerada como la despensa hortofrutícola de Colombia, contribuyendo con la producción del 50% de los alimentos de Valle del Cauca, el 12% de la producción frutícola nacional y el 42% del PIB del departamento. En el D.RUT habitan 1.353 familias, las cuales dependen exclusivamente de la actividad agrícola. Según cifras del ASORUT (2020) el distrito tiene un área de 10.200 ha, de las



cuales el 77% corresponden a caña de azúcar, 19% a maíz y el área restante es ocupada por cultivos dispersos, siendo los frutales los más importante. Como es de esperar, la mayor asignación de agua del D. RUT en volumen la posee el cultivo de caña de azúcar. Este cultivo se encuentra dentro de los cuatro productos de mayor consumo de agua en el país, ocupando el tercer puesto de Huella Hídrica Azul (agua extraída de fuente superficial o subterránea) con un volumen de 975.72 MHm³ según IDEAM (2015).

De acuerdo con Fedesarrollo para el 2019, el 89% del área total del D. RUT contaba con un método de riego, siendo el más implementado el riego por superficie, ya que se usaba en caña y maíz y algunos frutales. Al año 2022, el porcentaje de uso de riego ha aumentado 5 puntos porcentuales; sin embargo, el más usado es el riego por aspersión, ya que en gran parte del área de caña se usa este tipo de riego, así como en el área ocupada por maíz. En el

Cuadro 7 se relaciona la distribución del tipo de riego por área de cobertura, reportada por ASORUT para el 2022.

Cuadro 7. Métodos de riego en el D. RUT (Fuente: ASORUT, 2022).

Método riego	Área (ha)	Área (%)	No. Predios
Aspersión	4.931	48,1	1.095
Gravedad (surcos)	3.989	39	352
Goteo	580	5,7	291
Mateado	50,5	0,49	10
Pivote	54	0,52	1
Micro-aspersión	19,5	0,19	7
Sin riego	626	6	224
Totales	10.250	100	1.980

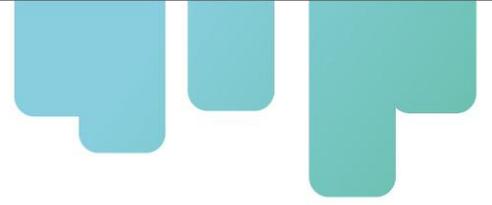
La permanencia y continua expansión del cultivo de la caña de azúcar en el D.RUT, responde, en gran medida, a las posibilidades de comercialización. Mientras que los frutales poseen una gran incertidumbre en la demanda, la caña de azúcar y el maíz, tienen una demanda estable, dada su uso industrial y la posibilidad de vender directamente a los ingenios. Entendido que el riego por superficie es más utilizado en el cultivo de caña y dada la gran cobertura de este cultivo y la baja eficiencia en el uso del agua (CENICAÑA, 2015), el nivel de tecnificación en fincas respecto del



área es baja. Correspondiendo con el área, el cultivo de la caña de azúcar tiene la mayor demanda de agua en el D.RUT, la cual alcanza el 73% de los recursos utilizados en riego.

Dado lo anterior, la asociación de usuarios del distrito de riego RUT, ASORUT, gestiona y participa en proyectos de investigación y fomento, que propenden por el manejo eficiente del agua en las especies que ocupan el área del distrito. Esta disposición los convirtió en los asociados ideales para ejecutar el piloto del proyecto para Colombia.

El Piloto Colombia, busca aportar en la gestión del recurso hídrico para el sector frutícola del Valle del Cauca, hacer un uso eficiente del agua, aportando en la gestión en 10 cultivos de importancia económica para Colombia. Distrito de riego RUT (piloto 1, D. RUT) y considerados los más representativos en producción y consumo hídrico en el norte del Valle: aguacate (*Persea americana*), cacao (*Theobroma cacao* L.), caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), guanábana (*Anona muricata*), guayaba (*Psidium guajaba*), lima ácida Tahití (*Citrus latifolia* Tanaka), maíz (*Zea mays*), maracuyá (*Passiflora edulis* f. *Flavicarpa*), papaya (*Carica papaya*) y vid (*Vitis vinifera*). En los sitios experimentales (Distrito de riego RUT y Palmira) se instaló una red de monitoreo con sensores del tipo capacitancia para medir la disponibilidad hídrica en el suelo. La información se cruza con el análisis climático derivado de la información meteorológica disponible en las estaciones automáticas ubicadas en los sitios. Se hace además seguimiento continuado a la fenología de los cultivos y desarrollo del fruto con resolución semanal. Todo ello contribuye a la identificación del estado actual del uso del agua en los cultivos priorizados. Para el caso del D.RUT, se observa que la humedad del suelo se mantiene continuamente sobre capacidad de campo, para todos aquellos cultivos instalados a nivel del terreno, caña, cacao, guayaba, guanábana, lima ácida Tahití. Un mejor drenaje se observa para aquellos instalados en camas, caso maracuyá, papaya y vid.



2.2 Gestión de los recursos hídricos en zona piloto Chile.

En Chile, la gestión de recursos hídricos ha sido un tema relevante en el último tiempo debido a la escasez del recurso y su creciente y constante demanda. En la actualidad, contamos con instituciones encargadas de la gestión hídrica, las que se han ido fortaleciendo a través de los años con la promulgación de leyes y formación de organismos fiscalizadores encargados de controlar esta gestión.

Algunas instituciones involucradas son el ministerio de obras públicas, la dirección general de aguas, la comisión nacional de riego y las juntas de vigilancia asociadas a las cuencas de cada río. Todas estas instituciones fomentan el uso eficiente del agua y promueven la conservación del recurso.

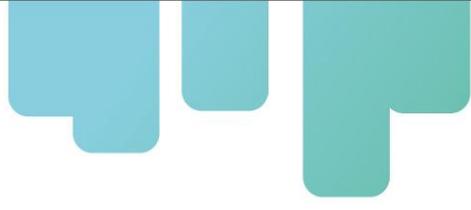
2.2.1 Principales fuentes hídricas y su infraestructura de distribución.

La infraestructura para la distribución de agua de riego en la región, depende principalmente del origen de abastecimiento del recurso hídrico. En este sentido, en la región de Coquimbo existen dos fuentes; agua superficial y agua subterránea. La definición de estas dos fuentes está normada por el código de aguas, el cual define a las aguas superficiales como aquellas que se encuentran naturalmente a la vista y pueden ser corrientes o detenidas (*v.g.* ríos, esteros, quebradas, lagos) y a las subterráneas como aquellas que están ocultas en el seno de la tierra y no han sido alumbradas (Código de Aguas, República de Chile 1981).

Las aguas superficiales circulan en dos tipos de cauces, el cauce natural y el cauce artificial. La primera corresponde al suelo que una corriente de uso público ocupa y desocupa alternadamente en crecidas o disminuciones periódicas. La segunda corresponde a obras hechas por el hombre como canales o cauces artificiales. Obras de captación, conducción, distribución y descarga forman parte de ellos.

Los dueños de derechos de aprovechamiento sobre aguas superficiales que transitan en cauces naturales se organizan en juntas de vigilancia (*v.g.* Junta de Vigilancia del Río Elqui y sus Afluentes). Aquellos que compartan derechos de un mismo canal, embalse, o acuífero se pueden constituir en comunidades de aguas y distribuir el recurso de manera compartida (*v.g.* Comunidad de Aguas del Canal Romeral, Río Limarí). Finalmente, las asociaciones de canalistas tienen un rol idéntico a las comunidades de aguas, sus titulares pueden ser comunidades de aguas y su constitución tiene por objetivo organizar y distribuir las aguas de manera colaborativa, como el uso de un canal matriz desde un embalse (*v.g.* Asociación de Canalistas del Embalse Recoleta).

La información recopilada proviene de fuente primaria y fuentes secundarias. La información de fuente primaria corresponde a levantamientos realizados por el Laboratorio de Prospección, Monitoreo y Modelación de Recursos Agrícolas y Naturales (PROMMRA) de la Universidad de La Serena en el marco de proyectos de Fondo de Innovación para la Competitividad (FIC) del



Gobierno Regional de Coquimbo y a Programa de Difusión Tecnológica (PDT) de CORFO. Las fuentes secundarias son públicas y privadas. Las públicas son Comisión Nacional de Riego (CNR) y Dirección General de Aguas (DGA); las Privadas, Asociación de Canalistas del Embalse Recoleta (ACER) y Junta de Vigilancia del Río Choapa y sus Afluentes (JVRCH).

El Laboratorio PROMMRA, ha generado Sistemas de Información Geográfica de la Junta de Vigilancia de Río Elqui y sus Afluentes (en todos los canales activos) y de la Junta de Vigilancia de Río Choapa (en parte de los canales) en el marco de los proyectos “Diseño y puesta en marcha de un sistema de monitoreo de caudales y de un protocolo de determinación de pérdidas de agua, para la priorización de las inversiones público-privadas” (FIC-R 2015) y “Programa de Difusión Tecnológica en uso eficiente de los recursos hídricos y la optimización de las inversiones público – privadas en obras de riego extra e intra predial en el área de influencia de la Junta de Vigilancia del Río Choapa y sus Afluentes” (PDT-Hídrico Corfo, 2016), respectivamente.

2.2.2 Caracterización del sistema de distribución de agua.

Para el caso de río Elqui y afluentes, la información se encuentra organizada por cauce natural y cauce artificial. Para el cauce natural, existe una descripción exhaustiva de la bocatoma (barrera de desviación, sección de control, compuertas de entrega y gestión, canal de abducción). Para cauce artificial, las capas componen a los canales y puntos de entrega, ya sean compuertas, marco partididor, captación, entre otros. Además, cada capa posee observaciones de características intrínsecas de cada elemento, como el nombre del canal, longitud, material de construcción, tipo de revestimiento en el caso de estar revestido, entre otras variables.

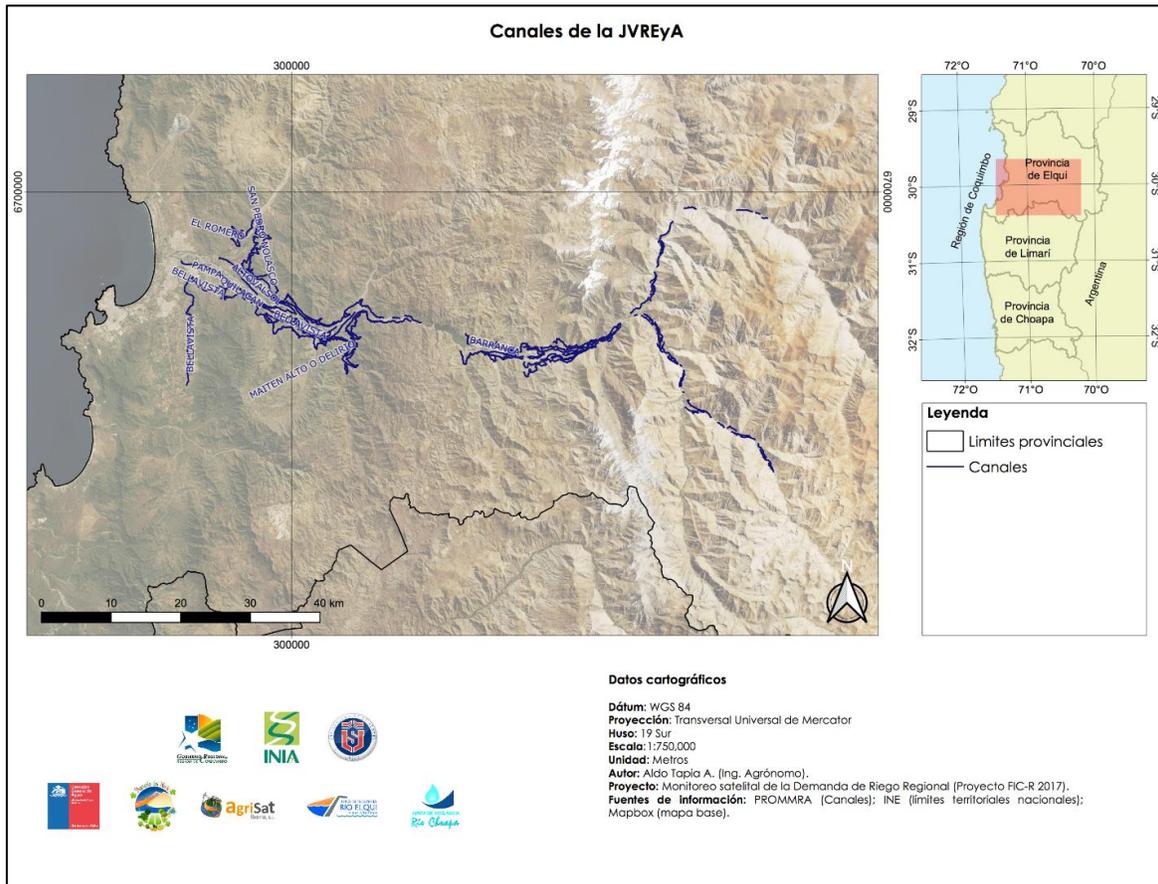


Figura 19. Canales pertenecientes a la Junta de Vigilancia de Río Elqui y Afluentes. (Fuente: Comisión Nacional de Riego - CNR).

Por otra parte, la información secundaria recopilada corresponde a dos instituciones públicas y una privada. Las fuentes de información pública son la Comisión Nacional de Riego (CNR) y la Dirección General de Aguas (DGA) con las capas vectoriales de canales a nivel nacional y la de bocatomas, respectivamente. La cobertura de bocatomas contiene un total de 1.277 bocatomas repartidas a lo largo de la región de Coquimbo (Figura 20). La capa vectorial de canales a nivel nacional incluye un total de 1.420 canales para la región de Coquimbo para un total de 172 fuentes diferentes, tanto naturales (ríos, esteros) como artificiales (embalses). Las principales fuentes hídricas de los canales más extensos son Río Elqui 3ª sección con 504,6 Km de canales; Río Choapa 1ª sección, con 380,55 Km; Río Grande, con 292,06 Km; Río Hurtado, con 290,1 Km; Embalse Paloma, con 283, 10 Km; y Río Guatulame, con 224,46 Km.

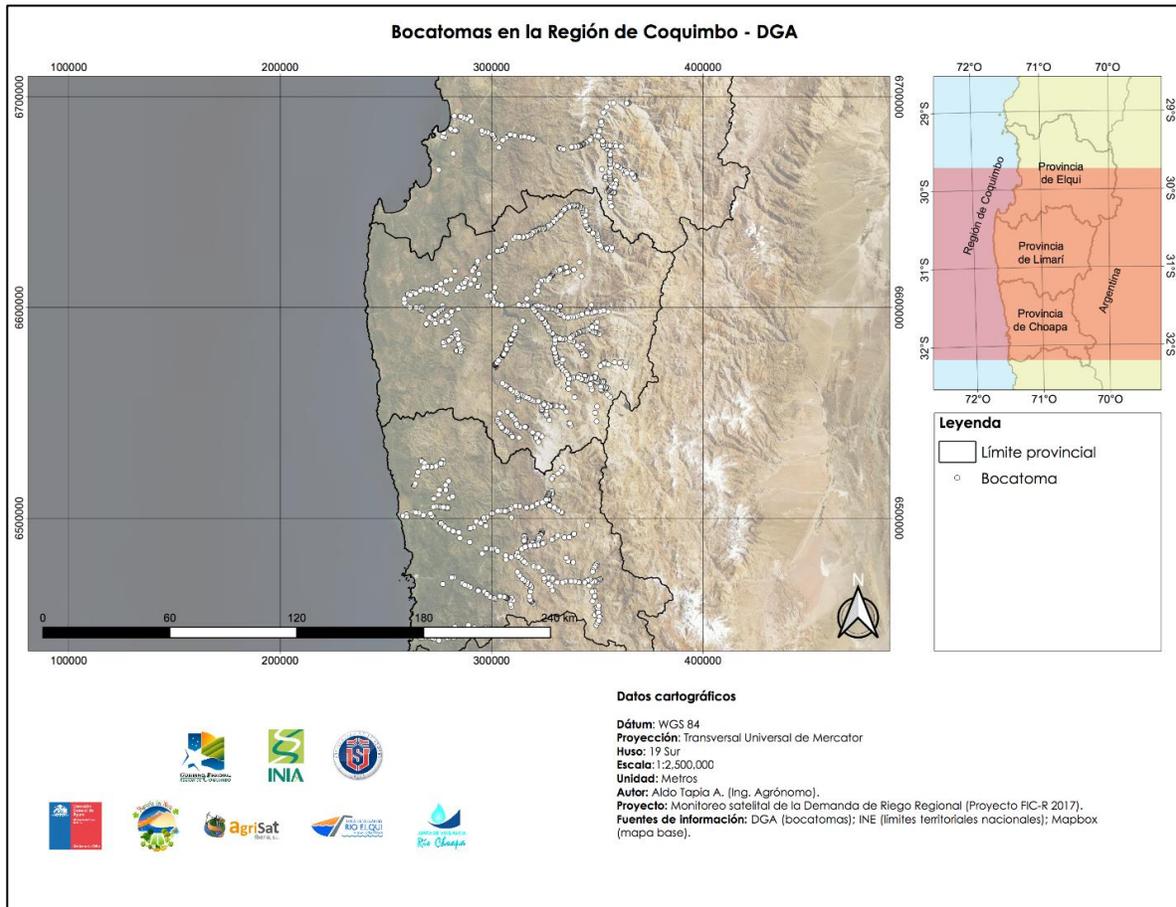
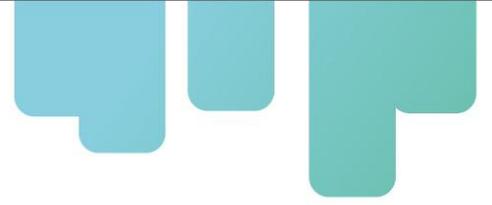


Figura 20. Bocatomas de la región de Coquimbo Fuente: Dirección General de Aguas (DGA).

Finalmente, las organizaciones de usuarios de aguas o el propietario exclusivo de un cauce artificial está obligado a construir y mantener al menos una bocatoma con los elementos necesarios para la distribución, control y retorno del agua al cauce natural. Dicho esto, la bocatoma es la servidumbre encargada de captar, o desviar, una parte o el total del agua que escurre por un cauce.

2.2.3 Formas de administración del recurso hídrico.

Los canales o acueductos de distribución de agua están a cargo de la comunidad de aguas, asociación de canalistas o el propietario único a cargo. Estas obras tienen por objetivo trasladar el recurso hídrico desde el cauce natural al predio (en el caso de los propietarios agrícolas, también hay usuarios de agua potable o minería). Hay que distinguir dos segmentos dentro de un canal de dos o más usuarios, la sección matriz y la sección comunitaria. La primera, es aquella sección inicial antes de la primera entrega, por ella transita la totalidad de los derechos del canal en cuestión; por otro lado, la segunda está destinada a distribuir el recurso a cada uno de los usuarios en puntos acordados en común de entrega de agua.



La extracción de agua desde un canal hacia un predio agrícola se debe realizar por medio de dispositivos que permitan aforarla como compuertas o marcos partidores, apoyados de algún mecanismo de aforo como regla limnimétrica, aforador Parshall o tecnologías modernas, como sensores de ultrasonido, de presión o doppler. Aunque no todos los canales poseen una estructura permanente y estándar para el aforo del caudal entrante a un predio (Figura 21).



Figura 21. Ejemplo de estructura sin aforo de caudal en el canal Pintacura Bajo.

Una vez dentro del predio, el agua es conducida por acequias o pequeños acueductos para ser almacenada en estanques o aplicada directamente al suelo. El aspecto intrapredial más relevante para el objetivo del presente proyecto es el método de riego, ya que cada método se relaciona con una posible eficiencia de aplicación, siendo los métodos tradicionales los menos eficientes, mientras que a los presurizados se les asocia una mayor eficiencia.

Los principales métodos de riego en Chile, en orden de importancia, son: microriego (moteo y microaspersión), tradicional (surcos, tendido) y aspersión (pivote central, aspersión móvil) (CENSO Agropecuario, 2021), como se puede observar en la Figura 22.

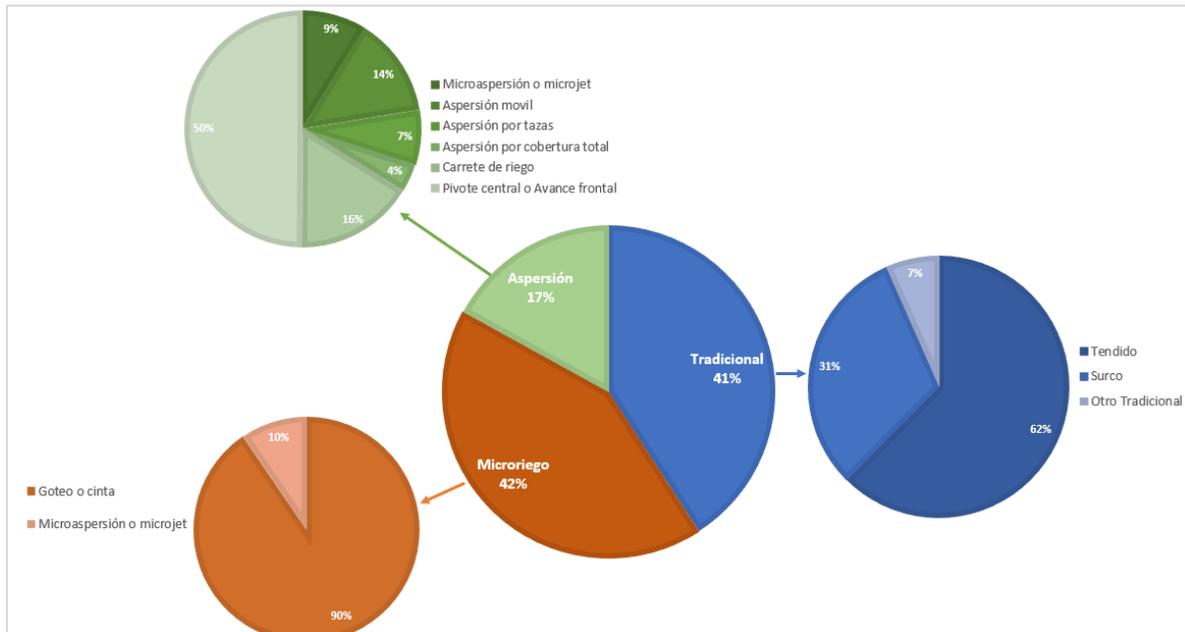


Figura 22. Métodos de riego en Chile según el Censo Agropecuario 2021. Cada círculo de colores presenta el desglose de cada método de riego.

En el Cuadro 8 se listan los principales métodos de riego y su eficiencia asociada (Sociedad Química y Minera de Chile S.A., 2001).

Cuadro 8. Eficiencia de riego de diferentes métodos de riego.

Tipo de método	Método	Eficiencia de diseño (%)
Superficial	Inundación o tendido	35 - 40
Superficial	Bordes	45 - 60
Superficial	Platabandas	40 - 55
Superficial	Surcos	40 - 55
Superficial	Tazas	60 - 70
Presurizado	Aspersión	65 - 75
Presurizado	Pivote central	70 - 80
Presurizado	Microaspersión	65 - 75
Presurizado	Microjet	60 - 70
Presurizado	Goteo	95 - 98

2.2.4 Cultivos principales: superficies y consumo de agua actual por cultivo.

En la región de Coquimbo, de un total de aproximadamente 87.450 hectáreas vectorizadas, se clasificó el 57% como cultivadas (50.000 ha). El grupo más común fue frutal persistente. En la Figura 23 se señala la distribución de superficie entre los usos definidos.

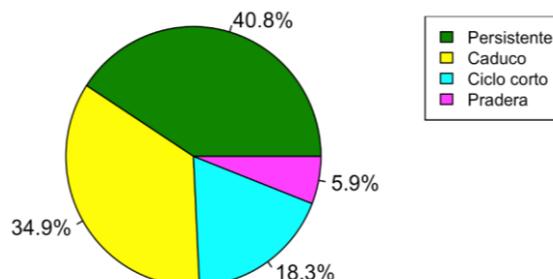


Figura 23. Distribución de las clases de usos.

La provincia de Limarí es la que mayor superficie agrícola presenta en la temporada 2017-2018, con un total de 27.600 hectáreas, luego la provincia del Elqui con 13.200 ha; y finalmente Choapa, con 9.100 ha (Cuadro 9).

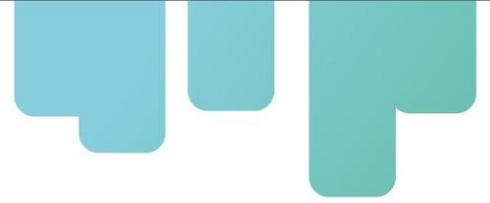
Cuadro 9. Resultados de la Clasificación 2018/2019 a nivel provincial. Datos propios.

Provincia	Persistente	Caduco	Ciclo corto (ha)	Pradera	Sin cultivo
Elqui	3.980	3.595	4.916	376	8.280
Limarí	9.281	10.954	2.471	1.066	27.408
Choapa	3.210	4.274	489	1.932	4.889
Total	16.471	18.823	7.876	3.373	40.577

Para la temporada 2018/2019 se clasificó un total de 51.922 ha con cultivos, de un total de 87.450 hectáreas vectorizadas, equivalente al 59,37% de esta superficie, lo cual es ligeramente superior a la clasificación de la temporada pasada (57%). Para esta temporada, la provincia en la cual se identificó la mayor superficie agrícola activa fue Limarí con 28.872 ha, representando un 56% del total regional. Le sigue la provincia de Elqui con 14.062 ha (27%) y finalmente Choapa con 8.987 ha cultivadas (17%).

Cuadro 10. Área cultivada en la temporada 2018/2019 por provincia. Datos propios

Provincia	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Elqui	14.062	27,1%
Limarí	28.872	55,6%
Choapa	8.987	17,3%
Total	51.922	100%



A nivel de comunas, la de mayor superficie cultivada se concentra en Ovalle con un total de 18.199 ha (35% a nivel regional), siendo por lejos la comuna de mayor importancia agrícola en términos de superficie. A ella le sigue Monte Patria con 7.085 ha (14%) y Coquimbo con 5.391 (10%).

Cuadro 11. Área cultivada en la temporada 2018/2019 por provincia y comuna.

Prov.	Comuna	Sup. (ha)	%	Prov.	Comuna	Sup. (ha)	%	Prov.	Comuna	Sup. (ha)	%
Elqui	Andacollo	5	0	Limarí	Combarbalá	1.201	2	Choapa	Canela	527	1
	Coquimbo	5.391	10		Monte Patria	7.085	14		Illapel	3.207	6
	La Serena	3.972	8		Ovalle	18.199	35		Los Vilos	389	1
	Paihuano	969	2		Punitaqui	1.434	3		Salamanca	4.864	9
	Vicuña	3.726	7		Rio Hurtado	953	2				
Total		14.062	27			28.872	56			8.987	17

El desglose de los grupos de cultivo a *nivel provincial* da indicios de las preferencias de los agricultores (Cuadro 11). En el caso de la provincia del Elqui, la mayoría de cultivos son frutales caducos. En el caso del Limarí, predominan los cultivos frutales de hoja persistente y le siguen a estos los cultivos de ciclo corto. Finalmente, para Choapa, el de mayor importancia son los frutales de hoja persistente seguidos de los cultivos de ciclo corto y las praderas.

Cuadro 12. Resultados de distribución de superficie agrícola por grupo de cultivo en las provincias de Coquimbo.

Provincia	Persistente	Caduco	Ciclo corto	Pradera	TOTAL
Superficie (ha)					
Elqui	3.599	6.573	3.412	479	14.062
Limarí	13.808	4.773	8.880	1.410	28.872
Choapa	3.525	761	2.392	2.310	8.987
Total	20.932	12.107	14.683	4.199	51.922
Participación	40%	23%	28%	8%	100%

Al analizar por las zonas de clasificación mediante mapas de árbol se puede identificar con más detalle las preferencias de los agricultores, el grupo de cultivo más frecuente o la distribución de cada uno de estos grupos a lo largo de cada valle. En el caso del Valle de Elqui, en la zona costera del valle predominan los cultivos de ciclo corto, esta zona incluye La Serena Norte y Pan de Azúcar, donde es común encontrar cultivos hortícolas. Luego, para el Valle del Elqui entre la zona costera y bajo el Embalse Puclaro, la predominancia de los cultivos de ciclo corto continúa, pero se incorporan cultivos frutales de hoja caduca. Finalmente, en el Valle de Elqui sobre el embalse



Puclaro, hay una clara predominancia de los cultivos frutales de hoja caduca, y una muy escasa participación de los cultivos de ciclo corto. En resumen, este tipo de diagramas nos permite comprender de mejor manera que ocurre en el territorio sin la necesidad de interpretar una cartografía.

2.2.5 Brechas tecnológicas en los sistemas productivos

Para Chile una de las principales brechas tecnológicas en la gestión del recurso hídrico se asocia al poco monitoreo en tiempo real de las cuencas, la falta de tecnología en temas de reutilización de aguas mediante tratamientos y la falta de herramienta y conocimiento para la gestión de datos. Sin embargo, en el último tiempo se han impulsado numerosas iniciativas para abarcar estas brechas con conocimiento científico e innovaciones para generar la información necesaria y rigurosa que ayudará a la toma de decisiones informadas. Con el objeto de lograr un uso más eficiente del recurso para protegerlo y garantizar su disponibilidad.

2.3 Gestión de los recursos hídricos en zona piloto Uruguay

La variabilidad climática y los fenómenos extremos afectan cada vez con mayor frecuencia. Esto ocasiona que los sistemas productivos que dependen de las condiciones climáticas se vean afectados en forma considerable. El ejemplo más impactante es la producción de soja y maíz, donde la mayor parte del área sembrada se realiza en secano; cuando los veranos son lluviosos se alcanzan mejores rendimientos como muestra la **Figura 245**, pero la alta variabilidad en el caso del maíz y la baja producción en secano en el caso de la soja, hace que no todos los años las producciones sean rentables y sustentables en el largo plazo.

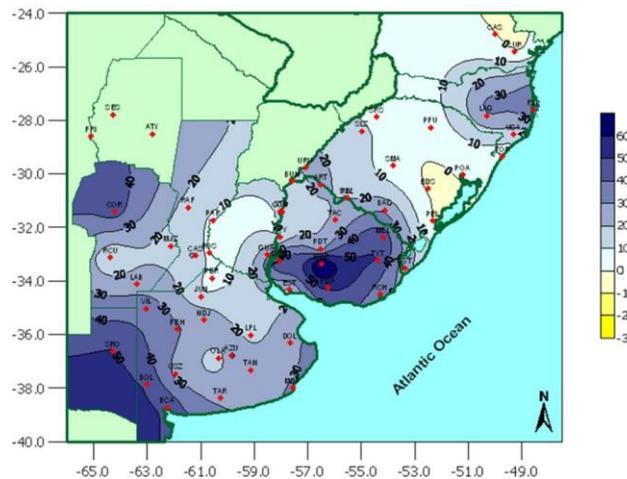


Figura 24. Cambios pronosticados en la distribución de la lluvia entre 1930-1960 y 1970-2000, Enero-Febrero y Marzo. Giménez, Castaño, Olivera, Baethgen (2008).

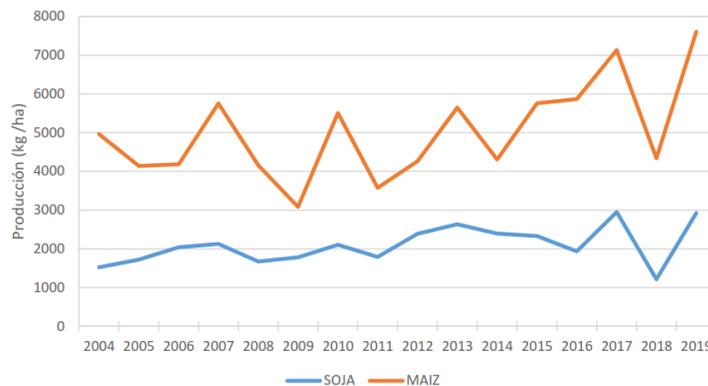
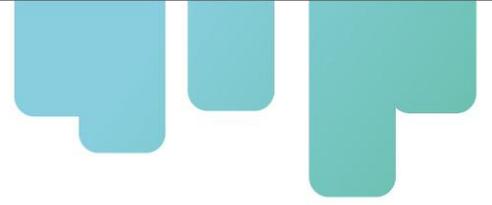


Figura 25. Evolución de la producción de maíz y soja en Uruguay. DIEA-MGAP, 2021.

Sin embargo, cuando las lluvias en el período primavera-verano no son suficientes para satisfacer las demandas de los cultivos y pasturas, los rendimientos de cultivos se ven disminuidos, y hay un atraso importante en el desarrollo de las pasturas, en consecuencia, disminuye la ganancia en los kilos de carne en la producción ganadera, que es uno de los rubros principales de exportación en Uruguay.



Si bien Uruguay es un país de poca extensión y sin montañas, existen regiones que se afectan en forma diferente tanto cuando hay excesos como déficit de lluvias. En general los suelos en el país son de escasa profundidad en su gran mayoría, y además tienen baja capacidad de almacenaje de agua en el perfil de arraigamiento de las raíces. En la región noroeste donde se desarrolla el presente proyecto ocurre con alta probabilidad déficit hídrico en algún período durante la primavera-verano. Si bien existen fuentes de reserva de agua para riego (represas y tajamares), el área bajo riego, a excepción del arroz y la caña de azúcar es todavía muy poco significativa (Figura 26). Al ocurrir con alta frecuencia períodos de sequía durante el desarrollo del ciclo de los cultivos se debe suplementar con agua de riego para obtener producciones adecuadas económicamente y sustentables, en cantidad y calidad de manera de hacer rentable el mismo. En el caso del arroz y la caña de azúcar, si bien el 100% del área está bajo riego, hay una tendencia cada vez mayor al cuidado en el uso del agua (eficiencia de aplicación del riego), visualizando realizar un mejor aprovechamiento del mismo, de manera de ahorrar agua y energía sin disminuir los rendimientos, de forma de tener la oportunidad de realizar riegos estratégicos en otros cultivos dentro de la misma empresa agropecuaria. En el caso de las pasturas es aún incierto el grado de impacto económico favorable que se pueda tener, ya que no hay experiencias de largo plazo en el país con resultados concluyentes al respecto, sin embargo, los sistemas agropecuarios están adoptando cada vez más esta tecnología, por lo que es importante que la investigación busque dar respuesta a estos sectores y evalúe el impacto que ello tiene a nivel fisiológico y productivo de las plantas, manejando diferentes técnicas (ensayos y simulación) para enfrentar tales escenarios probables.

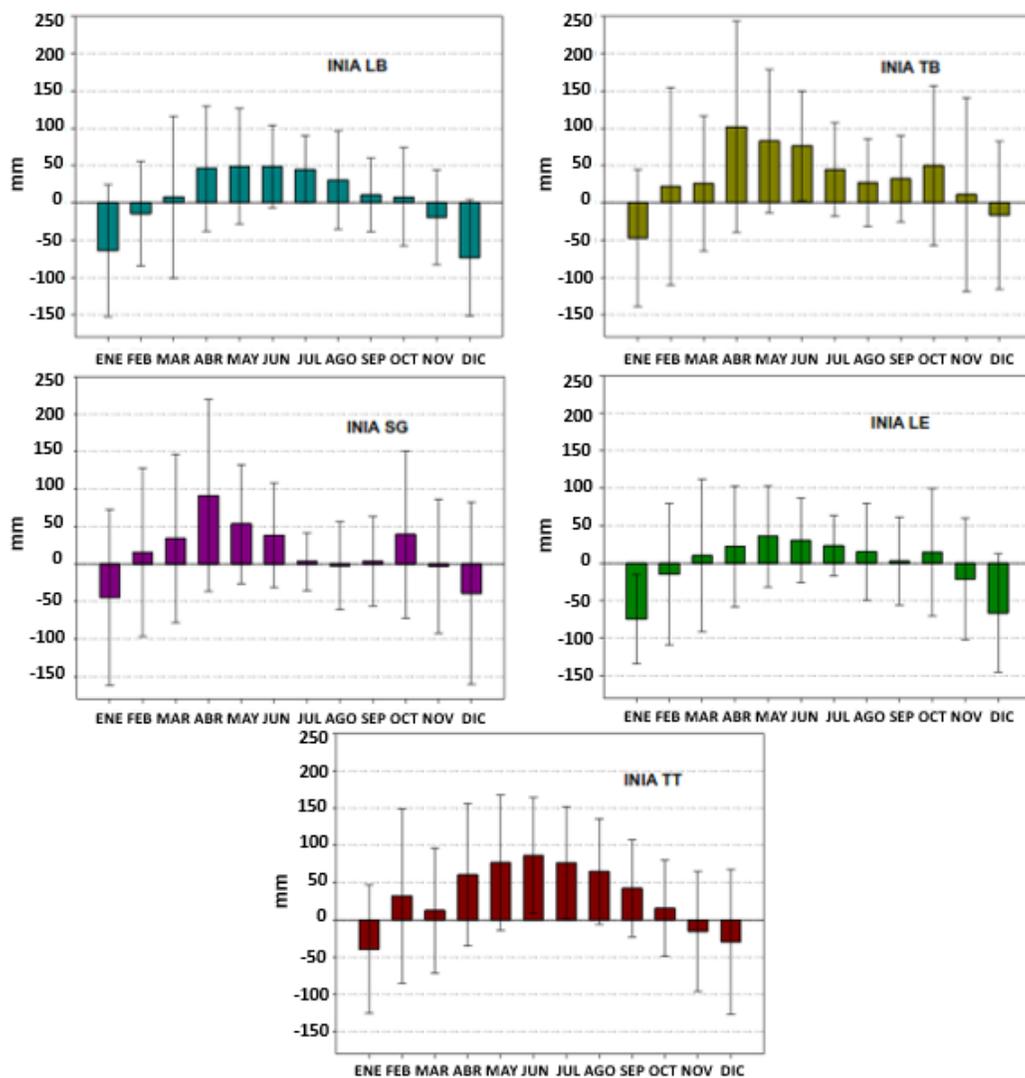


Figura 26. Estacionalidad del déficit hídrico climático. Diferencia entre precipitación mensual y la evapotranspiración de referencia (ET_o), para 5 estaciones agroclimáticas de INIA-Uruguay. Elaboración propia.

2.3.1 Principales fuentes hídricas y su infraestructura de distribución.

La mayoría del riego se desarrolla a partir de represas o embalses y tomas directas de ríos y arroyos. En Uruguay existe poca disponibilidad de agua subterránea para sustento del riego, los pozos son en general de muy bajo caudal en su gran mayoría, además de no presentar adecuada calidad de agua por presencia de sales.



2.3.2 Formas de administración.

Existen desde hace varias décadas leyes y decretos que regulan el marco para la organización de usuarios del agua, en la gran mayoría son usuarios individuales que cuentan con reserva y bombeo propio. Los sistemas multiprediales existentes son pocos en el país y en general en los rubros más extensivos están más relacionados alrededor de una agroindustria (ejemplo de esto son arroz y caña de azúcar).

La institución encargada de otorgar permisos para el uso del agua es el Ministerio de Ambiente, que cuenta con una dirección (Dirección Nacional de Aguas, DINAGUA), y es obligación del dueño de la tierra donde se realiza la represa y/o se coloca una toma presentar el proyecto de riego ante este ministerio y ante el Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca (MGAP) para su aprobación.

2.3.3 Eficiencia en el uso del agua actual

La eficiencia en el uso del agua varía de acuerdo al tipo de sistema y método que se utilice. Si bien son pocos los estudios sobre eficiencia en el uso del agua a nivel de predio comercial en el país, se estima que la eficiencia a nivel de parcela de riego está en el entorno del 45-50% para riego por superficie y entre los sistemas presurizados están en el entorno del 65-75%. Por supuesto hay situaciones puntuales donde las eficiencias por el manejo y tamaño del área regada son más importantes.

2.3.4 Importancia económica - social de la agricultura de riego local.

En este punto, es necesario aclarar que la tarifa varía según los diferentes sistemas de producción. En el caso de los sistemas multiprediales públicos (administrados por el estado), se aplica una tarifa fija anual por el uso del área regada, y no se cobra en función del volumen utilizado. En el caso de la caña de azúcar que son sistemas cooperativos privados el costo del agua se divide el pago de la electricidad entre las hectáreas sembradas y se cobra por área bajo riego, o sea, es muy variable entre años, dependiendo de las lluvias. En el caso del arroz se cobran 10 bolsas de arroz por hectárea (no por volumen). Respecto del costo del agua en la zona (\$/ha año, \$/m³) aplica lo dicho en el ítem anterior. Sobre el costo energético del movimiento del agua (especial énfasis en sistemas de bombeo subterráneos), prácticamente no hay riegos con bombeos subterráneos salvo en el sector lechero, áreas medias o pequeñas que utilizan microaspersión y en su mayoría gotero porque son pozos no mayores a los 35-40 m³/hora y una profundidad de 40-50 metros.

2.3.5 Demanda de riego: volumen de recursos hídricos utilizados por agricultura

La superficie bajo riego y superficie en seco (y su potencial incorporación al riego si es el caso) se señalan en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Área de cultivos en secano y bajo riego según estadísticas públicas y proyección de las áreas bajo riego a 2030 (MGAP, 2015).

Cultivo	Área		
	2019-20		2030 ⁽¹⁾
	secano	riego	Área regada
Arroz		28000	28000
Pasturas	280.000	3500	50000
Cultivos intensivos (citrus, hortalizas)			
Cultivos extensivos (maíz y soja)			20000
Caña de azúcar		7500	7500

⁽¹⁾Estimación del MGAP (informe 2015)

La oferta de recursos hídricos utilizados en la región noroeste se presenta en el Cuadro 14. Según los permisos otorgados por la institución pública responsable (DINAGUA, Ministerio de Ambiente) en la cuenca del río Uruguay se encuentran habilitadas para el desarrollo de riego 435 represas y 177 tomas directas de ríos y arroyos, con un volumen total anual de 1.093.906 mil m³ de agua. Los cultivos que se riegan en esta región son el arroz, la caña de azúcar, soja, citrus, hortalizas y en menor cantidad pasturas.

Cuadro 14. Número de represas y tomas directas autorizadas en la cuenca del río Uruguay. DINAGUA, MA. 2018.

CUENCA	Represas		Tomas directas		TOTAL
	Número	VOLUMEN x 10 ³ m ³	Número	VOLUMEN x 10 ³ m ³	VOLUMEN x 10 ³ m ³
R° Uruguay	435	745863	177	348043	1093906

Datos extraídos del sitio web de DINAGUA, 2018.

2.3.6 Estacionalidad de la demanda.

El riego en el Uruguay es suplementario a las precipitaciones, ya que el registro promedio de lluvias es de 1300 mm al año, con una alta variabilidad entre años y entre estaciones. En general por el tipo de cultivo en los sistemas productivos se riega desde noviembre hasta marzo, a excepción de los sistemas más intensivos como hortalizas y producción bajo invernadero. La Figura 27 muestra la distribución de las precipitaciones y la demanda evaporativa.

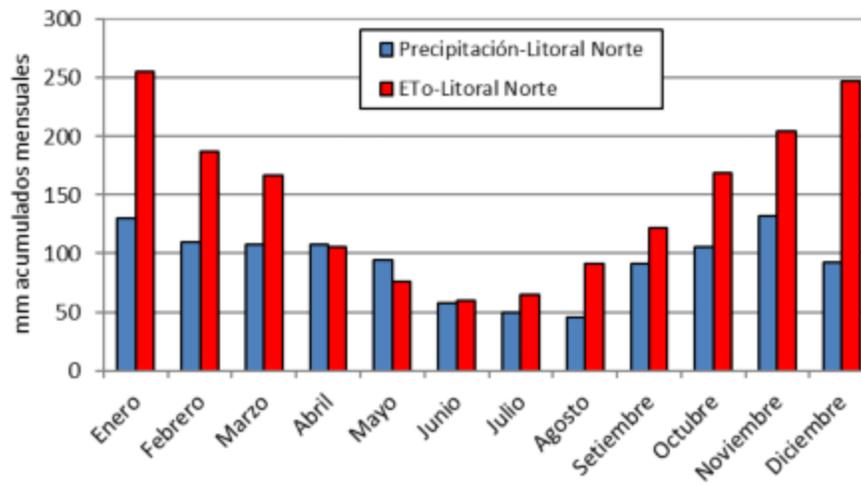


Figura 27. Normales climáticas para el litoral norte de Uruguay (Salto) 1987-2018. Fuente: Instituto Uruguayo de Meteorología (Inumet. <https://www.inumet.gub.uy/>).

2.3.7 Cultivos principales: superficies y consumo de agua actual por cultivo.

La distribución de cultivos se señala en el Cuadro 15.

Cuadro 15. Principales cultivo, superficies y consumo de agua actual por cultivo. (Informe sobre Riego Uruguay, 2018).

Cultivo	Área		Consumo de agua m ³ anuales/há Promedio	Sistema de riego
	2019-20			
	secano	riego		
Arroz		28000	15000	Inundación
Pasturas	280.000	3500	2500	Superficie
Cultivos intensivos (citrus, hortalizas)	14000	8500	5500	Gotero/microaspersión
Cultivos extensivos (maíz y soja)	200000	5500	1500	Superficie/pivot central
Caña de azúcar		7500	3500	surcos



2.3.8 Brechas tecnológicas en los sistemas productivos.

- **Metodologías de riego actuales.**

Los sistemas riego son variados pero la mayor área bajo riego es ocupada por el arroz que se riega 100% del área por inundación. Hay una importante cantidad de predios pequeños y medianos que riegan por gotero y microaspersión al igual que la producción citrícola. En este punto hay una amplia gama de productores que utilizan diferentes criterios de riego. En general, son pocas empresas agropecuarias que utilizan criterios técnicos como balance hídrico del suelo o herramientas informáticas para tomar la decisión de regar. Esto se debe principalmente a dos motivos, el más importante que ha puesto freno al desarrollo del riego es que en Uruguay siempre llueve y llueve mucho, por supuesto que mal distribuido en tiempo y espacio y el otro punto es que donde se desarrolla la parte intensiva de hortalizas y frutales no hay suficiente agua almacenada, por el tipo de productores (áreas pequeñas y con topografía no muy favorable). Esto hace que dependan principalmente del agua subterránea que en general son pozos de bajo caudal y baja calidad de agua.

- **Brechas tecnológicas en los sistemas productivos.**

Existe variabilidad entre los sistemas productivos y entre zonas del país en relación a la brecha tecnológica. En lo que se refiere a los rendimientos físicos alcanzados por la producción comercial de los sistemas bajo riego es mucho menor y menos variable que en aquellas situaciones donde la producción se realiza en secano y se depende de la distribución de las lluvias. En el caso del arroz, el sistema productivo comercial no tiene brecha en los rendimientos en relación con lo alcanzado por la investigación. En los demás sistemas existe un grupo pequeño de productores que alcanzan rendimientos muy altos y estables pero la gran mayoría de la producción que se realiza en secano tiene mucho para desarrollar con la incorporación de la tecnología del riego.

- **Porcentaje de agricultores que utilizan tecnologías.**

Los sistemas comerciales que utilizan tecnologías como las desarrolladas en este proyecto son muy pocas y en general dependen mucho de la experiencia de los técnicos que se involucran y no por seguir protocolos ni métodos para generar criterios que sean validados y adoptados por la producción en general.

- **Infraestructura de información para el manejo del riego.**

La infraestructura de riego en la cuenca del Aroyo del Tala está basada en 2 represas grandes con capacidad de regar 900 ha de arroz (17.000 m³/ha de asignación) y 500 ha de cultivos (2.000 m³/ha asignados). En el caso del arroz es un riego continuo, prácticamente por inundación y en el caso de cultivos y pasturas son riegos suplementarios al agua de lluvia, por eso la asignación mucho más baja.

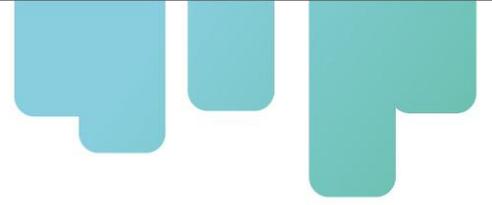
Todo el sistema de distribución de agua es por gravedad, teniendo aproximadamente 70 km de canales primarios y más de 30 km de canales secundarios o de apoyo para la llegada a chacras o para el bombeo en los pivot central (9 en total). El riego de pasturas es por gravedad, no se utiliza



energía pero el área de canales secundarias es muy pequeña.

- **Infraestructura de información de campo: uso de sensores, internet.**

Se utilizan sensores dentro de la cuenca del Arroyo del Tala, tanto a nivel del monitoreo de las condiciones de contenido de agua en el suelo, caudal entregado, condiciones climáticas, etc. Se usa la red de internet y en los últimos años se introdujo la red sigfox con instalación de una antena en el predio comercial para la telemetría de algunos equipos.



2.4 Gestión de los recursos hídricos en las zonas piloto Argentina

En Argentina la superficie cultivada asciende a 39 mill ha, de las cuales 2,1 mill ha (5 %) se encuentran bajo riego (FAO, 2015a). Así mismo, del territorio continental un 70% presenta condiciones áridas o semiáridas, donde las precipitaciones se sitúan entre 100 y 500 mm año⁻¹ y demanda ambiental cercana 2000 mm/año. En estas zonas, los recursos hídricos superficiales representan el 18 % de los recursos superficiales totales del país.

El aprovechamiento de los recursos hídricos no solo hace posible la producción de alimentos, sino que, además, promueve el desarrollo social, económico e industrial de las tierras en las que se desarrollan los sistemas de regadío. En algunas regiones, los recursos hídricos se comprometen además para actividades mineras y petrolíferas, agregando complejidades al compromiso medioambiental (Zappi, 2012). Si bien en nuestro país se riegan tierras de cultivo desde épocas precolombinas, fue recién a fines del siglo XIX, cuando se registró el desarrollo de obras de riego y regulación de los ríos (Chambuleyron y Morabito, 2005).

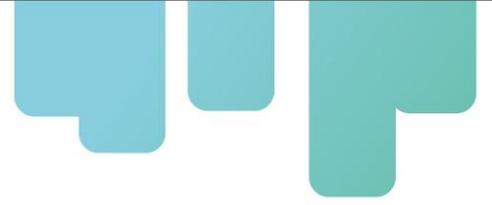
2.4.1 Río Negro y Neuquén: caracterización de la distribución de agua en agricultura.

La operación de los sistemas administrados por los consorcios, involucra una serie de actividades técnicas y administrativas mediante las cuales se intenta proveer el agua en oportunidad y cantidad a los regantes, para la puesta en producción de las tierras de regadío. La distribución del agua se efectúa en forma proporcional a la superficie empadronada, asignándose una dotación de 1 litro por segundo por hectárea. Del canal principal derivan los secundarios, de estos los terciarios y de allí los cuaternarios que llevan el agua hasta los canales comuneros que distribuyen a las compuertas de las propiedades.

De acuerdo a la superficie y cantidad de regantes que reciben el agua del mismo compartó, se establecen los turnos de riego, supervisados y ejecutados por los repartidores de agua, conocidos localmente como tomeros. Finalmente, los regantes realizan la distribución parcelaria.

La situación ambiental es compleja relacionada principalmente al cambio de usos del suelo. El desarrollo inmobiliario y la expansión de la actividad hidrocarburífera avanzan sobre las zonas productivas de regadío reemplazando tierras agrícolas y acarreado problemáticas ambientales como el vertido de residuos sólidos urbanos, aguas residuales y potencialmente el vertido de hidrocarburos y otros residuos a los sistemas de riego, con el riesgo de contaminación de suelos, cursos hídricos y amenazas para la salud humana. El avance de la urbanización produce además un aumento de la impermeabilización del suelo y complica la operatividad del sistema de drenajes (FAO, 2015a).

Para muchos analistas la agricultura bajo riego tendrá en el futuro un rol preponderante para cubrir la creciente demanda de alimentos y fibras, pero al mismo tiempo existe a nivel mundial un escenario de menor disponibilidad de agua para riego por efecto del Cambio Climático y la competencia entre usos y una mayor conciencia social en temas ambientales. Por estas razones, la agricultura bajo riego se enfrenta al gran desafío de contribuir a satisfacer una demanda creciente de su productividad sin impactos ambientales negativos sobre su propia calidad y la de



otros recursos naturales, en particular los suelos (Prieto et al., 2015)

Existe también una disminución en la disponibilidad de recursos hídricos en algunas zonas de Río Negro por competencia con otros sectores económicos, para una buena gestión del agua se necesita disponer del recurso en tiempo y forma y, muchas veces, la priorización de uso en función de necesidades energéticas del país hace que en momentos claves para el riego el río no tenga el caudal que implica el nivel necesario para garantizar la distribución del agua de acuerdo a los proyectos de riego de los distintos distritos.

Si bien el Río Negro cuenta con un módulo del orden de los 930 m³/s lo que a priori no significaría una limitación, sí, en cambio, en los distritos de riego hay una disponibilidad limitada de agua que está dada por la capacidad del canal principal y sus secundarios, dicha limitante genera competencia entre los regantes si el uso parcelario y extraparcilarario no es el adecuado.

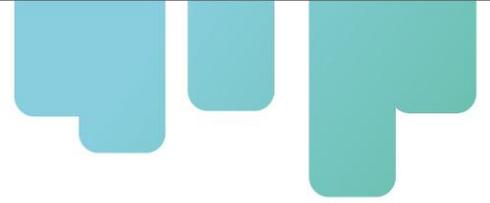
Por todo lo mencionado es prioritario contribuir al mejor aprovechamiento del agua de riego, a través del estudio de alternativas de manejo que optimicen la eficiencia de uso del agua.

Condiciones agroclimáticas.

La provincia de Río Negro se encuentra entre los paralelos de 37° 35' y 42° 00' latitud sur y los meridianos de 62° 47' y 71° 55' longitud oeste, presenta en gran parte de su territorio un marcado déficit hídrico anual definido por una evapotranspiración potencial anual alta y una precipitación anual variable, alrededor del 70% de la superficie recibe menos de 300 mm, mientras que una faja central recibe menos de 150 mm. El mayor déficit hídrico mensual se produce en el período estival (enero y febrero). Estas condiciones climáticas solo permiten la agricultura bajo riego con especies de crecimiento principalmente primavero-estival, pudiéndose adaptar también especies otoño-invernales dependiendo del manejo. (Godagnone, 2009)

Los valles aluviales de los ríos Neuquén inferior, Limay inferior y el valle superior del río Negro, formando una faja de 130 km de largo y ancho variable de entre 2 y 12 km (Marizza et al., 2010; Apcarian et al., 2014). Los valores de altitud se encuentran entre los 200 y los 400 metros sobre el nivel del mar (msnm). La región se caracteriza por tener clima árido a semiárido, mesotermal y con precipitaciones medias de 249 mm anuales. El clima es un componente básico del agroecosistema frutícola y sus factores predominantes condicionan el desarrollo de los cultivos e influyen directa e indirectamente en la calidad de la producción (Rodríguez y Muñoz, 2006). El consumo medio de los frutales en la región se encuentra entre los 800 mm y los 1100 mm, dependiendo de la especie y las condiciones de cada temporada (Requena et al., 2016).

Desde el punto de vista hidrogeológico el valle posee un acuífero freático libre, cuyo espesor varía entre los 4 y los 12 metros. El techo del mismo se encuentra a una profundidad de entre 1 y 4 metros por debajo del terreno y el hidroapoyo entre los 9 y los 20 metros de profundidad. Este acuífero es de escasa producción y se utiliza para riego a presión, industrial y doméstico y se caracteriza por presentar en algunas áreas, una relación efluente – influente con los cursos superficiales de agua que depende de los caudales de los ríos en algunos casos y de las pérdidas de conducción y distribución del sistema de riego en otros (Polla et al., 2013, Rossi, 2013).



El Valle Inferior en el este de la provincia se encuentra a 4 metros sobre el nivel del mar (msnm). De acuerdo con Thornthwaite el clima es semiárido mesotermal, con nulo exceso de agua y baja concentración térmica estival y con precipitaciones medias de 395 mm anuales. El consumo medio para cereales importantes como el maíz en la región se encuentra entre los 600 mm y los 700 mm, dependiendo las condiciones de cada temporada (Neffen, 2020a).

Los ríos son los auténticos motores del desarrollo regional con caudales módulo de 650 m³.s⁻¹ en el Limay, 280 m³.s⁻¹ en el Neuquén y 930 m³.s⁻¹ en el río Negro, de acuerdo a la información encontrada en el sitio web de la AIC (<http://www.aic.gov.ar/sitio/lacuena>). Los ríos de la cuenca presentan aguas con baja salinidad (0,17 a 0,30 dS.m⁻¹) lo que las hace de excelente calidad para riego y sin limitaciones para la producción agropecuaria (Quichán et al., 2015; CIL 1991).

El uso del agua para riego fue fundamental en el proceso de transformación del espacio natural al territorio agrícola de regadío que conforma el perfil socio productivo de la zona (Fernández Muñoz, 2003). Según Svampa (2016), la puesta en funcionamiento del sistema de riego fue uno de los procesos históricos dados en la primera etapa de la consolidación del perfil agrario, al que se sumaron el re-aseguramiento poblacional y la construcción de una infraestructura de transporte ferroviario desarrollada por los ingleses.

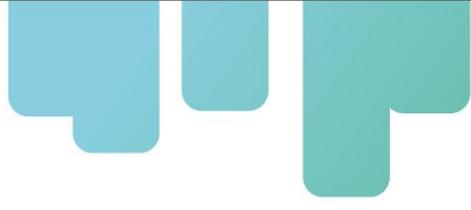
2.4.2 Principales fuentes hídricas.

La principal fuente de agua para riego son los cursos superficiales de agua. El método de riego más ampliamente utilizado es el gravitacional, con eficiencias globales medias que pueden alcanzar valores tan bajos como el 30%. Los problemas de diseño, mantenimiento, distribución y operación de los sistemas de riego y drenaje y de la aplicación predial de agua de riego, recargan el acuífero y dan lugar a una freática estacional poco profunda (Álvarez et al.). Ya en la década de 1980 se evidenciaban signos de deterioro del suelo en las áreas regadas como consecuencia de la salinización provocada por la elevación del nivel freático (CIL-AyEE, 1988; Ayers y Westcot, 1987).

En menor proporción, se utilizan riegos localizados, aunque muchas veces los mismos son alimentados de los canales y acequias que conforman el sistema de riego gravitacional, ya que el contenido de sales del agua resulta menor que en las perforaciones.

Río Negro Alto Valle: Las obras de irrigación en el Alto Valle con las que nació el Sistema Integral de Riego, fueron desarrolladas por el Estado Nacional entre 1909 y 1916. El dique Ingeniero Ballester alimenta el canal principal del Sistema Integral de Riego del Alto Valle (SIRAV) y opera como uno de los reguladores de las crecidas del río Neuquén. El canal principal, de 130 km de largo, se complementa con una vasta red de canales y desagües. La administración y gestión del agua de riego en la zona del Alto Valle de Río Negro y Neuquén, está a cargo de Consorcios de Riego y Drenaje y de comunidades de Usuarios, según la localidad y la provincia (Galeazzi et al., 2018.)

El SIRAV constituye la infraestructura de riego más importante de la Provincia de Río Negro, 60.000 hectáreas sistematizadas. Nace en el Dique Ballester sobre el río Neuquén, con un ancho de 45 m y finaliza en la zona de Chichinales con un ancho de 1,8 m. En su inicio, transporta 80



m³/s que se van distribuyendo a lo largo de su recorrido. Para su administración, se divide en siete consorcios de primer grado encargados de la operación y mantenimiento de las redes de riego y drenaje: Cinco Saltos, Cipolletti, Allen- Fernández Oro, General Roca, Cervantes, Ingeniero Huergo y Villa Regina. La organización de los usuarios en consorcios implica que el Estado le concede a un grupo de productores el manejo del agua desde el canal principal hacia los diferentes predios productivos y les otorga también la facultad del cobro de un canon. Es así que los consorcios se constituyen en entes públicos no estatales que funcionan bajo la supervisión del Departamento Provincial de Aguas (DPA) de la provincia de Río Negro. Todos los consorcios de Primer Grado forman parte de un Consorcio de Segundo grado que se ocupa del canal principal y otras obras menores.

Río Negro Valle Inferior: El sistema de riego surgió en la primera angostura del río Negro, a la altura de la localidad de Guardia Mitre, donde se encuentra ubicada la bocatoma. La obra de captación en el río se compone de un canal de aducción de aproximadamente 300 metros, que deriva las aguas hacia la Bocatoma del sistema de conducción principal (Canal Principal); ésta se compone de un juego de 5 compuertas, con capacidad original de captación de 8 m³.seg-1 cada una, completando un total de 40 m³/seg.

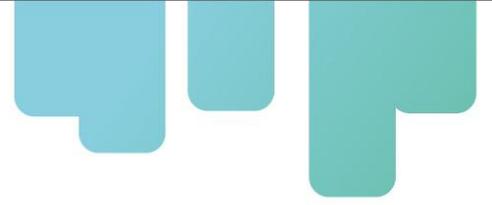
Es decir, que para una dotación estimada en 0,7 l s /ha, la capacidad total de captación permitiría el riego de unas 56.000 ha. (Lui, 1972). Actualmente, esto no sería posible por el estado deficiente del Canal Principal en su tramo en tierra, con grandes pérdidas por filtraciones que reducen notablemente su eficiencia de conducción.

El Canal Principal tiene una longitud total de 95 Km, de los cuales 83 son en tierra y un tramo final de 12 Km está revestido en cemento y hormigón armado.

Se destaca la presencia de cinco Dársenas, obras compuestas de compuertas frontales a la corriente del canal, destinadas a regular los caudales transportados, produciendo embalses, y cumpliendo algunas de ellas la función de descargador al río, es decir, permiten realizar ajustes de caudal mediante desembalses, cuando se requiere mayor cantidad de agua y achiques de caudal a través de los descargadores. Asimismo, actúan como elementos de seguridad del sistema, en casos de accidentes de desbloqueo de taludes.

Existen además de las Dársenas, dos obras de regulación de aguas, en las progresivas km. 65 y km. 77, que básicamente consisten en retenciones por medio de tablas (compuertas de aguja) que elevan el pelo de agua hacia aguas arriba, permitiendo la captación en compuertas o tomas directas en el canal.

El Canal Principal en su tramo final, en el Km. 95, cuenta con un doble juego de compuertas de fondo, de seguridad, que descargan eventuales excedentes al desagüe El Molino, y dos sifones autocebantes que permiten erogar los excedentes (2 m³/seg) por medio de un descargador superficial revestido, que descarga los caudales excedentes por gravedad al río, sin necesidad de bombeo a través de la Planta El Molino, como sucedería si se usaran las citadas compuertas de fondo.



La red secundaria de riego consta de 20 canales. De los canales secundarios se desprende una intrincada red de Canales Terciarios y Cuaternarios, que transportan el agua a las parcelas del proyecto.

La toma de canales Secundarios, Terciarios y parcelarias, presentan características hidráulicas particulares. Los módulos de máscara permiten suministrar un caudal prácticamente constante, independientemente de las fluctuaciones del nivel aguas arriba (dentro de ciertos límites). El caudal es ajustable, en función del número y tamaño de las compuertas abiertas.

Cada elemento está constituido por una pantalla fija ("máscara") colocada encima de un umbral perfilado, soldados ambos a unas placas laterales verticales. Añadiendo una segunda máscara fija, se pueden tolerar mayores variaciones del nivel aguas arriba. Una pequeña compuerta, placa o de sector, permite abrir o cerrar el módulo. Al disponer varios elementos en paralelo, se puede ajustar el caudal abriendo o cerrando las compuertas.

El sistema de drenaje es inverso al de riego, es decir va de menor a mayor tamaño y está compuesto por drenes parcelarios, drenes comuneros, subcolectores y colectores.

Dada la cercanía del valle al océano, éste tiene influencia sobre el río al subir o bajar la marea, lo que provoca un "efecto embalse" por lo cual, en algunos puntos topográficos del valle, con marea alta y río embalsado, se tiene una altura inferior a la del pelo de agua del río, lo que obligó a los proyectistas a diseñar un sistema de bombeo que asegure la evacuación de los excedentes de drenaje. Por esto se construyeron tres Plantas de Bombeo y dos descargadores, que sirven al desagüe de los colectores de drenaje.

Eficiencia de conducción en distritos de riego.

Esta eficiencia además de las características del proyecto (por ejemplo, si es revestido o no) depende del estado de mantenimiento de las obras. A modo de ejemplo en el valle inferior del río Negro hay problemas de filtraciones en el canal principal lo que lleva a eficiencias de conducción menores al 80%.

Eficiencia parcelaria.

En riego gravitacional las eficiencias de aplicación encontradas con valores bajos que siempre tienen una explicación a causas de mal diseño o mal manejo. Trabajos realizados a partir de 1982 (CIL, 1988) indicaban problemas de eficiencia de aplicación (EAP) de agua en los distintos valles del Río Negro, obteniéndose valores promedios de la EAP del orden del 15% en riego gravitacional, posteriores estudios registran EAP promedio de 25-30 % en riego por surco sin desagüe al pie (Lui et al., 2012). Nuevos estudios parcelarios realizados a través del programa especial Prohuerta en 2018-2019 muestran EAP entre 35% y 60% y aumentos de 15% en la EAP con trabajos de nivelación en el terreno, mientras que alternativas de riego por surco como RSA (riego por surco alterno) y un correcto manejo del caudal unitario y tiempo de corte permitieron registrar un promedio de EAP de 84%, aumentando un 30% respecto al riego por surco tradicional. (Neffen, 2020).



2.4.6 Importancia económica - social de la agricultura de riego local

El riego aprovecha regiones de grandes pluviometrías (1000 a 4000 mm anuales) de los Andes Patagónicos húmedos que proveen a la cuenca del Limay. Este aporte luego sobre el río Negro permitirá el desarrollo de distintas regiones, destacándose las ciudades de Neuquén y Cipolletti en la Confluencia de los ríos Limay y Neuquén, que constituyen el núcleo de mayor poblamiento de la Patagonia, con el elemento natural que las origina: el agua y el suelo de sus valles (Casamiquela, 1995). Así los mayores asentamientos poblacionales se encuentran en los valles, destacándose que allí se asienta más del 70% de la población de la provincia de Río Negro.

La incidencia del complejo peras y manzanas en la economía de las provincias norpatagónicas es más significativo en términos de exportación en relación a su aporte al Producto Bruto Geográfico (PBG) provincial. En Río Negro el complejo aporta al 10,7% del PBG y al 78% de las exportaciones. En Neuquén al 3% del PBG y al 32% de las exportaciones. La producción involucra a unos 1.800 productores, el empleo directo generado por el sector es de aproximadamente 50.000 puestos de trabajo, si bien no hay estimaciones actualizadas debe considerarse que el complejo frutícola regional genera puestos de trabajo indirectos y temporarios.

Número de agricultores regantes (integrantes de Comunidades de Regantes o Asociaciones de Usuarios del riego)

Río Negro cuenta con 11.001.248 hectáreas (ha) agropecuarias según el Censo Agropecuario realizado en 2018. (INDEC, 2021). La provincia presenta 157832 ha empadronadas bajo riego, organizadas en consorcios y regantes particulares. También hay presentes 21941 hectáreas por bombeo directo desde los ríos o de los canales, en zonas ribereñas e islas. Presentan los 3 principales valles preponderancia de riego gravitacional, Alto Valle 70374 ha totales, 97 % gravitacional y 3% presurizado; Valle Medio 47659 ha totales, 64 % gravitacional y 36% presurizado; Valle Inferior 37264 ha totales, 94 % gravitacional y 6% presurizado. (FAO, 2015).

La superficie potencial a regar se estima en alrededor de 326068 hectáreas distribuidas en Alto Valle: 58201 ha, Valle Medio: 176.563 ha y Valle Inferior: 91.304 ha, siendo Valle Medio el que mayor posibilidad de crecimiento presenta según el ETR-RN-NQN en base a Dirección Provincial de Aguas e interpretación de imágenes satelitales. (FAO, 2015) (Cuadro 16).

Cuadro 16. Distribución de superficies según región, riego y sistemas.

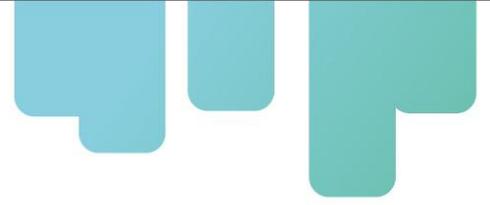
ZONA	CUENCA	REGION	SISTEMA	SUPERFICIES (ha)					
				EMPADRONADA SISTEMA GRAVITACIONAL	PRESURIZADA	TOTAL GRAV + PRES	POTENCIAL SIN REGAR	TOTAL	
VALLES	NEUQUEN	TOTAL RIO NEUQUEN		65.047	1.355	66.402	25.165	91.567	
	LIMAY	TOTAL RIO LIMAY		600	350	950	28.900	29.850	
	NEGRO	ALTO VALLE	SUBTOTAL ALTO VALLE	2.572	450	3.022	4.136	7.158	
		VALLE MEDIO	SUBTOTAL VALLE MEDIO	30.603	17.056	47.659	176.563	224.222	
		VALLE INFERIOR	SUBTOTAL VALLE INFERIOR	35.024	2.240	37.264	91.304	128.568	
		TOTAL RIO NEGRO			68.199	19.746	87.945	272.003	359.948
	COLORADO	RIO COLORADO 1	SUBTOTAL RIO COLORADO 1	5.659	330	5.989	38.431	44.420	
		RIO COLORADO 2	SUBTOTAL RIO COLORADO 2	15.033	150	15.183	56.481	71.664	
		TOTAL RIO COLORADO			20.692	480	21.172	94.912	116.084
	SISTEMAS MENORES	LINEA SUR	SUBTOTAL LINEA SUR	1.362	0	1.362	4.350	5.712	
		EL BOLSON	SUBTOTAL EL BOLSON	1.782	10	1.792	524	2.316	
		OTROS INTERIOR	SUBTOTAL OTROS INTERIOR	150	0	150	5.250	5.400	
		TOTAL SISTEMAS MENORES			3.294	10	3.304	10.124	13.428
	TOTAL VALLES				157.832	21.941	179.773	431.104	610.877
	MESETAS	TOTAL MESETA		0	0	0	435.500	435.500	
	TOTAL GENERAL				157.832	21.941	179.773	866.604	1.046.377

Fuente: elaborado por el ETR-RN-NQN en base a Dirección Provincial de Aguas e Interpretación de imágenes satelitales

Superficie bajo riego y superficie en secano.

El distrito de riego de Villa Regina se localiza al final del Sistema Integral de Riego del Alto Valle. Abarca las localidades y zonas rurales de General Godoy, Villa Regina y Chichinales con una superficie bajo riego de 13.400 ha de las cuales 7.600 ha se encuentran implantadas con frutales de pepita y carozo (SENASA, 2020).

Cabe destacar que debido a los profundos cambios del uso del suelo que se están dando progresivamente en el Valle existe una tendencia a la disminución de la actividad productiva en general y frutícola en particular. Sin embargo, el distrito de Villa Regina se mantiene aún como una zona de producción de relevancia con el 38 % de toda la producción de frutales de pepita, el 35% de la capacidad frigorífica provincial y el 33% de los productores de la provincia de Río Negro (SENASA, 2020). El INTA y el Consorcio de Riego y Drenaje de Villa Regina, trabajan desde el 2013 en la elaboración y confección de cartografía base.



Base de datos geográficos del distrito de Villa Regina.

Entre las principales actividades desarrolladas se destaca la recopilación de antecedentes y digitalización de mapas, el relevamiento a campo con toma de puntos en GPS, el análisis y procesamiento de datos freaticos, la confección de diversas capas de información para la conformación de la base de datos geográfica (BDG) propia del distrito. Entre las capas obtenidas se destacan una capa de red oficial de canales y desagües actualizada al 2020, red de comuneros, capa de compuertas, recorte de estudios de suelo regionales, capa de freáticos con mediciones mensuales hasta la fecha, capa catastral unida a la base de datos de usuarios del sistema, entre otras (Montenegro *et al.*, 2018). En la actualidad los técnicos del consorcio utilizan la BDG como herramienta para sus tareas diarias, como cálculos dentro de la propia red, y también como herramienta base para responder consultas frente a los usuarios del sistema.

En relación al uso del agua para riego, en todo el distrito se utiliza la metodología de riego gravitacional. La red de riego que distribuye y evacua el agua en exceso a cada chacra está conformada por una extensa red de canales y desagües que se distribuyen a lo largo del área de estudio, en el kilómetro 89 del canal principal aparece la primera compuerta que da inicio a toda la red con el nacimiento del canal secundario VIII.



Figura 28. Compuertas en el km 89 que dan inicio al distrito de riego. (Fuente: Montenegro *et al.*, 2021).

La red de canales está conformada por 24.5 km aproximadamente de canal primario, 41.9 km aproximadamente de canales secundarios, 43 km de terciarios y 14.8 km de cuaternarios, los canales comuneros arrojan un total de 190 km de longitud, cabe destacar que ningún canal en el área esta cementada, según el EIRN (1983) existe una pérdida de agua por filtraciones del 10 % del caudal transportado, agua que va directo al acuífero freático. Existe una baja proporción de productores que utilizan riego por goteo, no superando el 10% de la superficie productiva total y un alto porcentaje, aproximadamente el 80% de los productores, que utilizan el riego por aspersión para el control de heladas.

La red de drenaje encargada de evacuar el agua en exceso producto de la recarga por riego y en mucha menor proporción por eventos de lluvias, posee una longitud total de 143.5 km considerando tanto los cauces naturales como los artificiales.

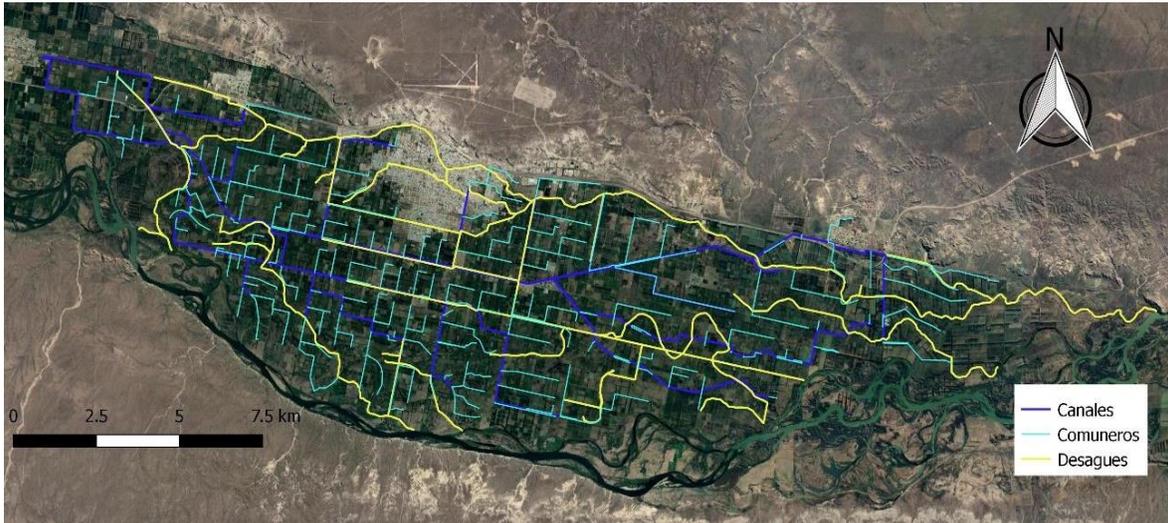


Figura 29. Red de canales y desagües del distrito de Villa Regina. Elaboración propia.

2.4.7 Demanda de riego: volumen de recursos hídricos utilizados por agricultura.

La región Alto Valle a través de un extenso sistema de canales riega una superficie de casi 100.000 hectáreas, de las cuales 38.446 ha se encuentran cultivadas con frutales de pepita y carozo que alcanzaron en 2019 un promedio de exportación de 412.838 tn de fruta fresca para toda la Norpatagonia (SENASA, 2020).

Mientras que para el Valle Inferior de Río Negro se estima ingresan 115200 m³ para las 24000 ha disponibles. Según la declaración de cultivos del Consorcio de Riego para la temporada 2020/2021 en el valle inferior de Río Negro se solicitó agua para 18555 ha, distribuidas para un 53% de cultivos forrajeros, 14% de maíz, 9% de cebolla, 5% frutos secos, 2% zapallo, 1,5% pepita, carozo y viñedos y el resto cultivos hortícolas y cereales sin discriminar.

Los sistemas de riego en general operan en función de la demanda de agua de los cultivos entre mediados de agosto y fines de abril.

Por lo general en los distritos de riego hay una estacionalidad de la demanda que es para ciclos primavera verano ya que desde los meses de mayo a agosto se produce un período de corte del agua para la limpieza y mantenimiento de canales. No ocurre así en los cultivos bajo riego a la orilla del río Negro, donde se riega principalmente en forma presurizada y donde se riegan también cultivos de invierno. A modo de ejemplo y de muestra de un distrito de riego, se describe la producción del secundario VII del Valle Inferior y cuyo caudal medio es de 2,7 m³.seg⁻¹.

Cultivos en Río Negro

El Cuadro 22 proporciona una visión detallada y completa de la producción agrícola en la provincia de Río Negro. Revela una notable diversidad de cultivos, desde pasturas hasta frutales y hortalizas diversas, mostrando la riqueza agrícola de la zona. Los datos destacan una producción variada, desde grandes cultivos como la forestación hasta cultivos intensivos como tomates y cebollas. Es



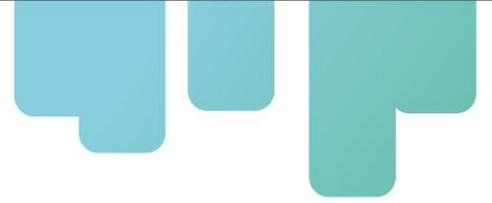
evidente que los frutales desempeñan un papel crucial en la economía agrícola, con producciones significativas en categorías como frutales de carozo, pepita y melón/sandía. Además, el cuadro subraya la importancia económica del sector agrícola en la región, con un valor total anual impresionante de 8.117.331 UDS. Los precios de venta varían ampliamente entre los diferentes cultivos, lo que refleja las variaciones en la demanda del mercado y el valor económico de los productos. En conjunto, este análisis proporciona una imagen integral y valiosa de la agricultura en Río Negro, resaltando tanto la diversidad como la relevancia económica de esta actividad para la región.

Cuadro 17. Principales cultivos y rendimiento económico en Río Negro.

Cultivo	Producción típica (Tn.m3 ⁻¹)	Precio de venta a la tranquera, moneda local (Tn.m3 ⁻¹)	Sup. ha	Rend. Tn/ año	Valores de producción agrícola (UDS/año)
Pastura	9	80	1.964	17.682	84.876
Vid	10	5.000	21	208	62.490
Frutos secos	2,3	63.000	115	265	1.004.243
Frutos varios	20	15.000	19	388	349.740
Forestación, parque, invernadero, vivero			24	0	0
Alfalfa	10	130	285	2846	22.198
Hortalizas varias	30	10.000	94	2830	1.698.300
Maíz, sorgo	7	2500	38	268	40.320
Cereales de invierno	6,5	1500	72	468	42.190
Olivos	12	5400	21	251	81.609
Frutales de carozo	15	24000	110	1654	2.382.264
Papa	40	8000	2	80	38.400
Cebolla	40	4000	24	966	231.936
Tomate	50	4000	6	295	70.920
Zapallo	30	2500	48	1454	218.115
Frutales de pepita	40	19000	38	1559	1.777.488
Melón y sandía	15	8000	2	25	12.240
Valor total anual (UDS)					8.117.331

Mercado del agua

El costo del agua en la zona es el canon de riego que pagan los productores a cada consorcio y se cobra en relación a la superficie empadronada bajo riego que tiene cada regante. Una parte se paga al consorcio de segundo grado (encargado del mantenimiento y operación de la red principal, es decir el canal principal que tiene 130 km de longitud total y la operación del dique Ballester), actualmente tiene un costo de 559,39 pesos argentinos por hectárea por año. Además, debe abonar cada usuario un valor estipulado por cada consorcio. El distrito de riego de Villa



Regina tiene un canon de 3464,89 pesos argentinos por hectárea por año, es decir, que en total cada regante paga 4024,28 pesos argentinos (aproximadamente 30 dólares oficiales) por hectárea por año por el agua a través del método de riego gravitacional.

Para realizar el movimiento del agua en los riegos por aspersión los chacareros usan motores V8 y/o Mercedes, estos consumen alrededor de 40 litros de gasoil en una noche de helada para combatir 3 hectáreas. El litro de gasoil tiene un valor de 90 pesos argentinos, lo que arroja 3600 pesos.

Un 30% de los productores tienen pozos de agua subterránea para complementar con el agua que les llega por gravedad, el costo asciende a 20 litros de gasoil para regar aproximadamente una hectárea, lo que arroja un valor de 1800 pesos argentinos por riego.

En el caso de los equipos por pivote central se riegan con fuente de energía eléctrica o fósil, los costos dependen de elevación del agua y de la fuente de energía, pero en general se manejan valores de entre 0,30 y 0,60 dólares el milímetro.

2.4.3 San Juan: caracterización de la distribución de agua en agricultura.

La provincia de San Juan está situada en el centro oeste de Argentina, en la histórica Región de Cuyo. Limita al Norte y Este con la Provincia de La Rioja, al Sureste con la de San Luis, al Sur con Mendoza y al Oeste con la República de Chile, cuyo límite está determinado por la divisoria de agua de la cordillera de los Andes.

Su territorio posee 89.651 km² donde prima, de Oeste a Este, un relieve montañoso intercalado por valles y a continuación llanuras y serranías. El clima de sus valles y llanuras es predominantemente templado y de extrema aridez, con limitados recursos hídricos superficiales y una pluviometría media de unos 100 mm anuales.

Ha sido en estos valles intermontanos y en algunas de sus llanuras, donde se desarrollaron oasis de regadío, a partir primero de la derivación de aguas superficiales, luego complementadas con el aprovechamiento de acuíferos. En dichos espacios se concentra la mayoría de los 680.427 habitantes de la provincia, según el Censo Nacional 2010 (González-Aubone, 2020).

El más importante de todos, por su disponibilidad de suelos y agua, es el Valle de Tulum, que tiene una superficie aproximada de 1.625 km². Este valle forma una unidad económica con los valles de Ullum y Zonda, los que conjuntamente riegan con aguas provenientes de la cuenca del río San Juan. El segundo valle en importancia lo constituye Jáchal, localizado al norte de San Juan, en la precordillera de Los Andes, bordeado por cordones montañosos, y a 1.200 m sobre el nivel del mar. Sus tierras aptas para la agricultura se riegan con aguas del río Jáchal. Al oeste, los valles de Calingasta (1.550 msnm) e Iglesia al norte (1.680 msnm), son semejantes por su relieve, encajonados entre la Cordillera de Los Andes y la precordillera. Al este de la provincia y limítrofe con La Rioja se encuentra Valle Fértil, con una cuenca hídrica de escaso volumen que limita su sistema de riego, lo cual es atenuado levemente por un régimen de precipitaciones promedio de

350 mm/año. Al norte del valle de Tulum y al oeste del Valle Fértil, separado por las sierras del Pie de Palo y Pampeanas, se encuentra el amplio Valle del río Bermejo, con una extensión de 6.360 km². Cumple una función ambiental importante, pero carece de suficiente agua permanente para tener significación agrícola (Miranda, 2011).

Área de regadío, regable o regada.

Es común encontrar valores dispares para una misma zona, provincia o país en los textos que hacen referencia a las áreas de riego. Estas diferencias se atribuyen principalmente a una escasa sistematización de la terminología usada alrededor de la palabra “riego”. Para implementar un vocabulario específico, en este trabajo se han definido las siguientes categorías:

Área de regadío: Este término hace referencia a una clase de uso del suelo. Delimita las tierras con uso agrícola/ganadero y dentro del cual la clase dominante son los cultivos de regadíos. Puede contener otras clases de uso de la tierra, que a los fines del presente proyecto se adopta no considerarlas o eliminarlas (urbano, instalaciones civiles y militares, espejos de agua, etc.).

Área regable: Se corresponde con toda aquella superficie que tiene potencialidad para ser regada, entendiéndose como potencialidad la existencia de acceso al agua y de infraestructura de riego en condiciones de ser utilizados.

Área regada: Correspondería a los terrenos que se están regando en un momento determinado.

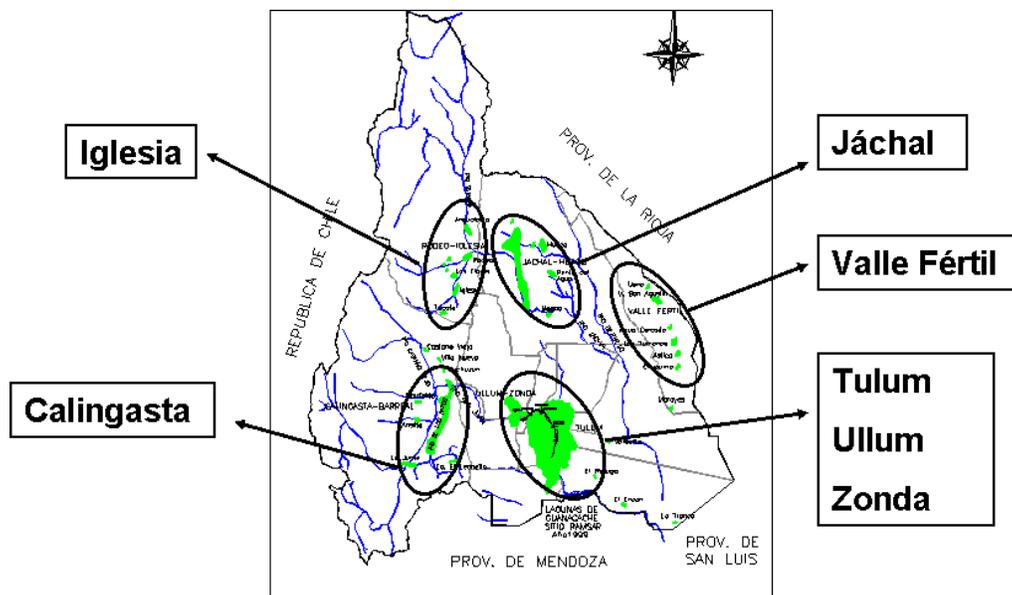


Figura 30: Provincia de San Juan, principales Áreas de Regadío.

Los Valles centrales de Tulum, Ullum y Zonda.

Como se ha mencionado, estos valles (en adelante simplemente nos referiremos a ellos como Valle de Tulum) forman el área de riego y socioeconómica más importante de la provincia. Ese



oasis, de 187.196 ha, representa el 2.1% de la superficie provincial, y el 71% de sus áreas de regadío. Se corresponde con la Cuenca Media del Río San Juan, que se abastece principalmente con aguas de origen nival en la alta cordillera de Los Andes. Sus caudales se encuentran regulados por un sistema de grandes embalses multipropósito en cadena, azud nivelador y distribución para los distintos usos tanto rurales como urbanos Cuadro 18.

Cuadro 18. Sistema de caudales.

Generales				
Longitud	Altura de fuente	Caudal medio	Sup. de Cuenca	Área regada
500 km	4.000 msnm	56 m ³ /s	39.906 km ²	80.000 ha
Embalses				
Tambolar (en construcción)	Caracoles	Punta Negra	Ullum	Total (proyectado)
605 hm ³	565 hm ³	500 hm ³	440 hm ³	2.110 hm ³

Fuente: Instituto Geográfico Nacional. <https://www.ign.gob.ar/>.

La demanda de riego agregada es variable en el año, siendo máxima en los meses de diciembre/enero (verano) y mínima en la época invernal. Para su distribución, el agua derivada se canaliza por el canal General Matriz hasta el partidor San Emiliano, desde donde nace la red de riego para el valle de Tulum, en tres canales matrices; del Norte o Quiroga, del Centro o Ciudad y del Sur o Céspedes. A partir de éstos se ramifica el sistema en canales secundarios y terciarios, alcanzando los doce municipios del valle del Tulum. Como complemento del agua derivada en cabecera, la red de riego del valle se refuerza con el aporte de aguas provenientes de los acuíferos a través de bombes públicos a dicha red y privados a nivel de finca.

2.4.4 Distribución recursos hídricos en San Juan.

Terminaremos este análisis con la forma en la que se distribuye al agua. En este sentido, se debe distinguir entre la distribución en canales y ramos y la realizada en RC / acequias, de acuerdo al esquema presentado en la Cuadro 19.

A nivel de canales y ramos, el Art. 160 del CA establece que “la distribución del agua se hará por turnos en tiempos de escasez y cuando resulte técnicamente inconveniente que el agua se distribuya continuamente”. Esto se traduce en que la modalidad más usada y preferida consiste en operar la red con agua de manera permanente, salvo los períodos de corta programados.

El caudal distribuido en cada momento va en función de la dotación (superficie concesionada) y el coeficiente de distribución. A lo largo del año la dotación es constante, por lo que la cantidad suministrada se ajusta a través de un coeficiente, que debe ser “único e igual” para una misma fecha y para todos los canales del sistema. Así, por ejemplo, el día 25 de noviembre de 2011, desde Distribución Matriz se derivaba, de la manera indicada en el Cuadro 19.



Cuadro 19. Distribución por Dotación y Coeficiente.

Sitio	Caudal (m ³ /s)	Dotación (ha)	Coef. (l/s ha)
Valle del Tulum	48,254	118.952	0,406
Canal Céspedes	18,065	44.372	0,406
Canal Calle 9	0,302	743	0,406

Fuente: Elaboración propia con datos del Departamento de Hidráulica de San Juan.

Por tanto, el sistema aplicado es muy sencillo y se basa mayormente en modificar el caudal a lo largo de la temporada y en función de las disponibilidades anuales, expresado en forma de coeficiente. Un coeficiente de 0,4 significa 0,4 l/s.ha de dotación en un momento determinado. Como veremos más adelante, la curva de distribución anual acompaña tanto la disponibilidad natural dada por los caudales del río y la demanda del cultivo principal en el Valle del Tulum, la vid⁴.

A nivel de Acequias Comuneras, la distribución se hace por turnos entre regantes según una Orden de Turnado por la cual los comuneros acuerdan el Intervalo Administrativo. Éste establece los días entre un turno y el siguiente, es decir cada cuanto tiempo cada regante va a recibir el agua. Estos intervalos varían entre los 3 y 28 días, según el caso.

El caudal de entrada a la comunera sigue la fórmula Dotación (ha) por el Coeficiente (l/s) y los turnos entre comuneros duran en función del área concesionada de cada una.

Cuadro 20. Orden de Turnado en Ramo Comunero.

COMPUERTA: 09 20 03 02				TURNADO: 1,50	hs/ha
DOTACIÓN: 52,16		ha		1:29:43	hs/ha
INTERVALO: 78		hs		NETO: 74 hs. 240'	
ORDEN DE RIEGO	CONCESIONARIO	Nº DE CUENTA	NC	DOTACIÓN HAS	TIEMPO QUE CORRESPONDE
1	ACOSTA ROMERO, MIGUEL Y OTRA	805	0534/560620	4,3229	06:27:50
2	GOMEZ, LORENZO	844	0534/550640	4,3229	06:27:50
3	RUIZ ROMERO, FERNANDO Y OTRO	806	0534/540670	8,6804	12:58:47
4	MUÑOZ, ANTONIO Y OTRO	807	0534/480640	8,7478	13:04:49
5	GARCIA, JUAN	810	0534/440630	8,2480	12:19:59
6	MANRIQUE E, ANTONIO J Y JUAN	811	0534/400600	8,4488	12:38:00
7	COBOS FERNANDEZ, JUAN	812	0534/350570	0,3934	00:35:18
8	MANRIQUE JUAN	7349	0534/350600	9,0000	13:27:27
CAMBIOS				52,1642	78:00:00

Fuente: Departamento de Hidráulica de San Juan.

⁴ El régimen del Río San Juan es de tipo nival. Las precipitaciones se acumulan en forma de nieve en la Cordillera del Andes y el derrame aumenta junto con las temperaturas estivales.



Cada regante usa todo el caudal durante el tiempo asignado, cumpliendo con el Art 162 del CA que dice que “en la distribución y reparto del agua todo criterio o norma reglamentaria que se adopte debe encuadrarse en la más estricta igualdad entre los regantes”.

2.4.5 Formas de administración del recurso hídrico: La Autoridad de Aguas

La Autoridad de Aguas en San Juan se llama Departamento de Hidráulica (DH), creado por la Ley 886 de 1942. Es una institución de Derecho Público de carácter autárquico, perteneciente a la Secretaria de Agua y Energía del Ministerio de Obras y Servicios Públicos de la provincia, que tiene a su cargo el gobierno, administración y policía de las aguas en todo el territorio de la provincia.

El DH tiene varios Órganos de Gobierno. Para simplificar, diremos que cuenta, por un lado, con un órgano ejecutivo, que responde al Estado provincial, y por el otro, con tres niveles de órganos consultivos de carácter vinculante, con participación de los regantes. La Dirección General y sus Delegaciones en cada municipio son el brazo ejecutivo del DH. Entre los órganos consultivos destaca el Honorable Consejo (HC), formado por tres representantes del Estado y tres regantes electos. Además, coincidiendo con la jurisdicción de cada Delegación existen las Juntas Departamentales (JD), formadas por tres regantes electos, y a nivel de canales, las Comisiones de Regantes (CR), formadas también por tres regantes electos. A fines prácticos, y para que se entienda cual es el rol de los regantes en la provincia, vale decir, que los regantes son parte de la administración del agua con capacidades limitadas de gestión, entendiéndose a la gestión como la parte ejecutiva de administración, orientada a los logros. Es decir, que no existen organismos de usuarios que gestionen el agua a nivel de distrito, función que ejecuta el DH directamente (González Aubone, 2014).

Cuadro 21. La administración del riego en San Juan. Planos administrativos y físicos.

ADMINISTRATIVO		FÍSICO	
ESTADO	USUARIOS	ÁREAS	CANALES
D. GENERAL / CONSEJO	CONSEJO	ZONAS (3 zonas provinciales)	CANALES MATRICES
DELEGACIÓN	JD	DEPARTAMENTO (T. Municipal)	CANALES
DELEGACIÓN	JD	SECCIÓN	CANALES
DELEGACIÓN	CR	DISTRITO	RAMO / CANAL TERCARIO
REGANTES COMUNEROS		FINCAS / CULTIVOS	ACEQUIA / RAMOS COMUNEROS

Fuente: Elaboración propia



La Ley de Aguas

La ley de Aguas en San Juan es el Código de Aguas (CA), ley 4932 de 1978, que rige el sistema de aprovechamiento, conservación y preservación de los recursos hídricos pertenecientes al dominio público. Este código incorpora la ley 886 de creación del DH, como libro cuarto, bajo el título de "Gobierno y Administración de las Aguas".

Régimen Concesional

El CA de 1978 establece un régimen único concesional en relación a sus aspectos más relevantes. El Art. 121 dice que "todas las concesiones (...) cualquiera sea su origen, denominación, cauce o fuente proveedora, serán en adelante permanentes y se regirán por un régimen único e igual en todos los aspectos legales, incluidos coeficientes".

El Principio de Inherencia

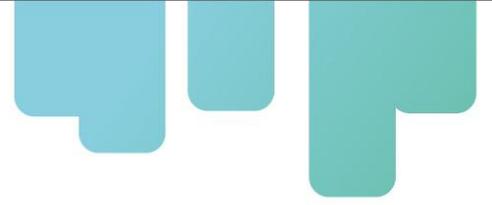
La RAE define inherencia como la "unión de cosas inseparables por su naturaleza, o que solo se pueden separar mentalmente y por abstracción". Este principio al que adhieren muchas normativas hídricas implica una adscripción del agua con la tierra, con la finalidad de brindar una garantía y/o seguridad jurídica a una riqueza incorporada o a incorporarse al patrimonio de un predio (Pinto, 2004). En otras palabras, es el agua el que le da valor a los terrenos de cultivo, y ese valor debe permanecer unido.

Las concesiones de riego en San Juan están basadas en este principio, consagrado en su Constitución. El Art. 117 dice que "La concesión de uso y goce del agua para beneficio y cultivo de un predio, constituye un derecho inherente e inseparable del inmueble y pasa a los adquirentes del dominio, ya sea a título universal o singular". A su vez el CA complementa su aplicación, siendo de especial interés para este trabajo también su Art. 117 que expresa que "la concesión para uso agrícola no da a su titular ningún derecho de dominio sobre el agua pública, sino que crea a su favor un derecho patrimonial subjetivo, de uso excluyente, para el riego de su propiedad".

La rigurosidad del principio establece que el agua asignada a una finca debe ser usada por ésta, aunque sea del mismo propietario o rieguen por el mismo canal. Así, dadas una oferta o suministro de agua, las opciones del regante se reducen a regar, almacenar o tirar el agua al desagüe, sin poder ajustar el riego a la demanda de los cultivos.

No debe sorprender, por tanto, que la inherencia se practique en versión flexible y que existan las reasignaciones entre usuarios, muchas veces, inclusive, con la anuencia y colaboración del DH. En el caso de la provincia de Mendoza, por ejemplo, el propio Departamento General de Irrigación (Autoridad de Aguas) dice en su sitio web respecto a la inherencia: "no obstante la rigidez del principio, actualmente se tiende a flexibilizarlo analizando cada caso en particular⁵".

⁵ <http://www.agua.gob.ar/dgi/ley-aguas#principios>



Así y todo, debemos concluir que la inherencia, a menos que se reglamente su flexibilización, como en parte lo ha hecho España con el Art. 67 de su Ley de Aguas que permite la cesión de derechos de manera temporal, se contrapone con una gestión del riego a la demanda, sea para una planificación anual o interanual. De ahí la innumerable cantidad de mecanismos “cuasi” formales e informales que se han desarrollado para reasignar agua entre regantes.

La Dotación

El Art. 51 del CA dice que “la medida, extensión o magnitud de la concesión se determinará en hectáreas, traducidas a litros por segundo”. Algunos artículos complementan esto:

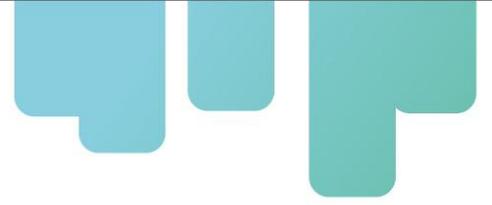
El Art. 125 dice que “dan derecho a la utilización de una dotación con un coeficiente uniforme de hasta 1,30 l/s.ha”, el Art. 126 que “la igualdad legal del coeficiente único será la establecida mediante aforos en el compartó en que comienza la acequia para la propiedad respectiva”, y el Art. 127 que “queda expresamente prohibido disponer coeficientes diferenciales, so pretexto de diversidad de características de tierras y/o cultivos”.

En resumen, las dotaciones en San Juan se rigen por caudal aforado (expresado como coeficiente) en las compuertas que dan origen a las acequias comunera, sin comprometer, en ningún caso, un volumen anualizado. El término volumen, sin embargo, es a veces mencionado en el CA, aunque sobre todo se encuentra implícito todos los años en octubre cuando el DH publica su pronóstico de derrame del Río San Juan, el estado de los embalses y acuíferos, etc. Aunque la normativa no prevé una planificación hidrológica formal, los regantes saben de antemano, la riqueza o pobreza hídrica del año y de alguna manera ajustan sus cultivos en función de esto. El punto más crítico de este sistema de dotación es la prohibición de entregas diferenciales por tipo de suelo y/o cultivo, es decir, según la demanda real de los cultivos. Esto, sumado a la inherencia, atenta contra principios básicos de la eficiencia, no sólo desde el punto de vista físico sino económico y agronómico.

Uso Conjunto

Este término hace referencia a la unicidad del recurso hídrico, sea extraído de fuentes superficiales o subterráneas. El Art. 128 del CA se refiere a éste diciendo que “el DH (...) dispondrá reforzar las dotaciones para completar los volúmenes que correspondan, sin discriminar los orígenes de los refuerzos, haciendo un uso conjunto del recurso hídrico común”. Otros artículos complementan este uso:

El Art. 154 dice que “los sobrantes y excedentes, y toda otra agua que corra por los desagües, pertenece al dominio público y será afectada a la atención de las obligaciones emergentes de las concesiones” y el Art. 188 que “la totalidad de las perforaciones que realice el estado para uso agrícola en acuíferos y subálveo vinculados al área de riego (...) sólo podrá ser empleado para reforzar las dotaciones correspondientes a las concesiones ya otorgadas, en uso conjunto”.



El Uso Conjunto hace posible no solamente el reuso de los excedentes, vertiéndolos nuevamente a la red de riego y atendiendo las concesiones aguas abajo, sino el uso de las aguas subterráneas como si de un embalse se tratase. Permite suplementar y reforzar dotaciones tanto en años hidrológicamente pobres como en zonas donde la red de riego no puede abastecer el sistema en tiempo y forma. Las aguas subterráneas fueron muy usadas en los 70 del siglo pasado, cuando el Río San Juan no contaba con embalses de regulación, llegando a funcionar más de 200 perforaciones estatales que bombeaban a los canales. Actualmente, a pesar de que el río se encuentra regulado por tres embalses, la continuada sequía ha incrementado el uso de los acuíferos hasta el límite de la sobreexplotación.

Eficiencia hídrica general

Un indicador es la eficiencia, pero no necesariamente para llegar a una eficiencia de aplicación de agua potencial sino a eficiencias posibles que no afecten cuestiones dentro de lo social, económico y ambiental. Es importante la continuidad de estudios y trabajos de evaluación sobre los distintos métodos de riego tanto para mejorar los mismos como para, en caso de ser necesario, cambiar de método de riego en regiones o parcelas donde se considere conveniente.

El desempeño del sistema y las eficiencias de riego

Dada la importancia que tienen los sistemas de riego para el desarrollo sostenible en una región árida como San Juan, cabe preguntarse por su nivel de desempeño actual, en términos de impacto económico, social y ambiental, y las posibilidades de mejora futuras. A la fecha, no abunda los estudios locales que hayan combinado parámetros tanto físicos del riego, como administrativos, económicos, ambientales, sociales, operativos, financieros, etc., esbozando un enfoque sistémico para abordar los problemas de desempeño. Al respecto, la referencia regional es el trabajo realizado por el IWMI (International Water Management Institute), editado por Marinus Bos y Jorge Chambouleyron, titulado “Parámetros de Desempeño de la Agricultura Bajo Riego de Mendoza, Argentina” (Bos et al., 1998). El área de estudio fue el río Tunuyán inferior en Mendoza (81.200 ha), y dentro de éste, el área correspondiente a la Inspección Unificada Rama Montecaseros, un Organismo de Usuarios (OU) con 8.500 ha bajo riego.

Los resultados obtenidos, entre otros, indican que:

- Se aprovecha por los cultivos sólo un 39% del volumen de agua derivado en cabecera. Este valor es aceptable entre el 30-40% estimado para toda la provincia, pero bajo para el valor considerado por los autores como factible de alcanzar, de entre 50-55%.
- El 80% de los productores hace referencia a problemas causados por niveles freáticos altos y salinización del suelo, estimando pérdidas por daños de entre el 20-50% de la producción.
- La cantidad suministrada de agua no es suficiente, aun cuando el 40% de los productores usa agua subterránea para reforzar las dotaciones.
- El volumen de agua recibido en la zona es de 11.513 m³/ha/año, y su productividad promedio alcanza 1,83 kg/m³ de agua.

- Se produce una creciente contaminación de origen antrópico en el suministro aguas abajo de la cabecera del canal Montecaseros, llegando a las fincas en condiciones malas a muy malas.
- El área efectivamente regada sobre el total con derechos de riego alcanza el 75%, con valores por acequia de entre el 30-100%.

Otro estudio del PROSAP (2007) en San Juan, en el marco del proyecto “Desarrollo Agrícola y Gestión del Área Bajo Riego del Canal del Norte – 25 de Mayo”, midió la eficiencia global del uso del agua en el Canal Sarmiento, durante el ciclo 2006-07. Dicho canal tiene una dotación de riego para 1.489 ha y el área cultivada durante el ciclo fue de 853,15 ha. Se entiende por Eficiencia Global en el Uso del Agua a la relación entre el volumen de agua necesario para satisfacer las Necesidades Netas de Agua por parte de los cultivos, calculada mediante fórmulas de evapotranspiración (ETc), y el volumen de agua derivado en la cabecera del canal para satisfacerlas.

Al realizar el balance entre los volúmenes entregados durante todo el ciclo y los necesarios para cubrir la evapotranspiración de los cultivos, se obtiene que el volumen total entregado en el año fue de 25,28 hm³ y las Necesidades netas para riego de 9,20 hm³. La diferencia de 15,98 hm³, indica que un 63.48% del volumen entregado no fue aprovechado por los cultivos, resultando en una eficiencia global del 36,52%, equivalente a 9,20 hm³. Analizando con un mayor detalle esas pérdidas y sus proporciones, se llega a la siguiente distribución:

Tipo de pérdidas	hm ³	%
Conducción canal revestido Sarmiento (Ec)	1,38	9%
Conducción en acequias comuneras en tierra (Ec)	7,25	45%
Conducción interna del agua en parcela (Ec)	1,38	9%
Aplicación del agua en la parcela (Eap)	5,98	37%
Total	15,98	100%

Áreas de regadío, regables y cultivadas.

Cómo se expresó anteriormente, en los regadíos de zonas áridas tipo oasis, como el Valle del Tulum, es válido discriminar entre las categorías (1) área de regadío, (2) área regable y (3) área regada (o cultivada). El área de regadío en nuestro caso conforma un oasis casi continuo de 187.196 ha. Dentro de este espacio existen cultivos mayormente regados por agua superficial distribuida a través de la red de riego, a veces con el refuerzo de agua subterránea, y una superficie de cultivos regados exclusivamente con agua subterránea. Cabe destacar que la primera categoría mencionada ocupa las zonas más tradicionales, con pérdidas de superficie gradual debido al avance urbano y poblacional. La segunda categoría, sin embargo, se encuentra en crecimiento, ocupando zonas rurales donde se desarrolla una agricultura de mayor escala y capital intensiva.

En cuanto al área regable, el DH distribuye agua en el Valle del Tulum para una superficie con derecho de riego superficial de 119.191 ha. Es decir, que esas casi 120.000 ha tienen acceso a la



red de riego y, por tanto, se pueden contar como área regable. Según el último relevamiento agrícola en la provincia de San Juan que hizo el mismo DH para el ciclo 2006-2007, se cultivaron por esa vía 74.000 ha. Entonces, en este caso la relación entre el área cultivada y regable es de 0.61. Es decir, se riega el 62% de lo regable bajo la red de riego. Para el caso de la superficie cultivada exclusivamente con agua subterránea, el relevamiento mencionado consignaba 15.104 ha. Si asumimos que la relación entre esta área cultivable y la regable es también de 0.62, ésta última se infiere en 24.360 ha. Resumiendo, el Valle del Tulum tiene un área de regadío de 187.196 ha, de la cuales en 2006-2007, unas 144.360 ha eran regables y se cultivaron 89.103 ha. El área de regadío, en este caso, ocupa el doble de la superficie bajo cultivo.

Ciclo	Área de regadío	Área regable	Área cultivada
	ha		
2006/2007	187.196	144.360	89.103
	100 %	77 %	48 %

2.4.8 Cultivos principales: superficies y consumo de agua actual por cultivo.

El relevamiento de cultivos realizado por el DH para el ciclo 2006-2007, con 89.103 ha cultivadas en el Valle del Tulum, también discrimina por tipo de cultivos. El cultivo principal en ese período era la vid, con 50.388 ha (57%) del total cultivado, el olivo, con 15.508 ha (17%), las hortalizas, con 7.484 ha (8%), las forrajeras, con 4.401 ha (5%) y otros frutales, con 3.779 ha (4%). Para comparar estas cifras con otras más actuales, se debe cambiar de fuente y metodología para analizar los resultados del Censo Nacional Agropecuario (CNA, 2018). Según esta fuente, y agrupando las mismas categorías de cultivos, el área total cultivada disminuyó a 66.053 ha, representando una caída del 26%. El cultivo más afectado en este período ha sido la vid, pasando de las 50.388 ha mencionadas a 34.313 ha, una caída del 32%. Los cultivos hortícolas también sufrieron una fuerte disminución, pasando de 7.484 ha a 5.113 ha, una caída igual a la de la vid, del 32%. Todas las categorías de cultivos disminuyeron, aunque el resto lo hizo en una menor proporción.

Cuadro 22. Principales cultivos. Censo Nacional Agropecuario, 2018.

DH 2006-2007			CNA 2018		
Cultivo	Sup (ha)	%	Cultivo	Sup (ha)	%
Vid	50.388	57%	Vid	34.313	52%
Olivo	15.508	17%	Olivo	13.127	20%
Frutales	3.779	4%	Frutales	3.244	5%
Hortalizas	7.484	8%	Hortalizas	5.113	8%
Forrajeras	4.401	5%	Forrajeras	4.340	7%
Forestales	1.419	2%	Forestales	555	1%
Otros	6.126	7%	Otros	5.361	8%
Total	89.103	100%	Total	66.053	100%

Agua derivada

Como se ha comentado anteriormente, el caudal distribuido en cada momento por la red de riego del Valle de Tulum, va en función de la dotación (superficie concesionada) y el coeficiente de distribución. A lo largo del año la dotación es constante, por lo que la cantidad suministrada se ajusta a través de un coeficiente, expresado en litros por segundo por hectárea (l/s ha). El DH publica estos números a diario desde 1970, por lo tanto, se presentarán estadísticas por períodos de los volúmenes distribuidos.

El primer gráfico muestra los volúmenes anuales distribuidos anualmente desde 1970 al 2020. La línea verde representa el promedio histórico, de 1.380 hm³, y la violeta la demanda neta promedio de los cultivos implantados, de 810 hm³. Se podría inferir, como indicador, que la eficiencia de uso media es cercana al 60% y no al 40% como se ha consignado anteriormente, Sin embargo, este volumen distribuido por la red riego no considera el agua subterránea bombeada, tanto a dicha red mediante los pozos públicos o directamente en las fincas por los pozos privados. El agua subterránea, por tanto, constituye un recurso estratégico de uso inversamente proporcional a la riqueza hídrica anual. En los círculos rojos pude verse el efecto de dos grandes periodos de sequía, uno a principios de los años 70 del siglo pasado, y el actual, el más prolongado desde que se tienen registros.

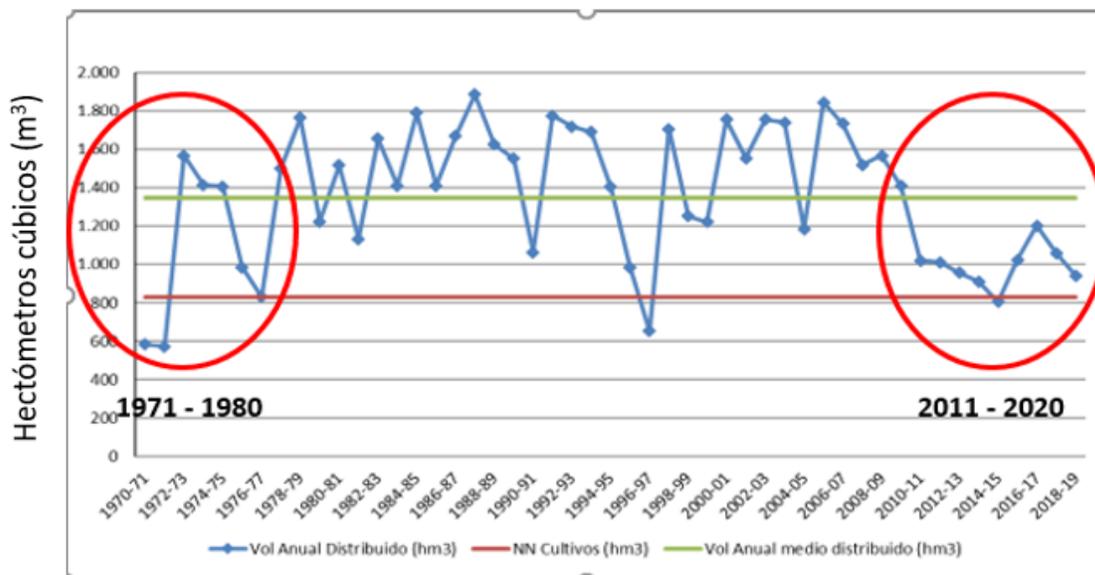


Figura 31. Volúmenes de riego distribuido.

Agua suministrada a los Distritos de riego en San Juan y su distribución en el tiempo

Sin considerar la mayoría de los aportes de agua subterránea, la red de riego del Valle del Tulum distribuye entre 10.500 y 12.000 m³/ha año, considerando la superficie concesionada, que son 120.000. Si consideramos que la relación entre área cultivada y concesionada es de 0.61, entonces, se puede estimar que las entregas en cabecera de sistema alcanzan los 19.000 m³/ha

en un año promedio. La Figura 32 permite ver como ese volumen es distribuido durante el año, formando una curva tipo Campana de Gauss, con máximo en el verano, acompañando la demanda hídrica de la vid como cultivo mayoritario.

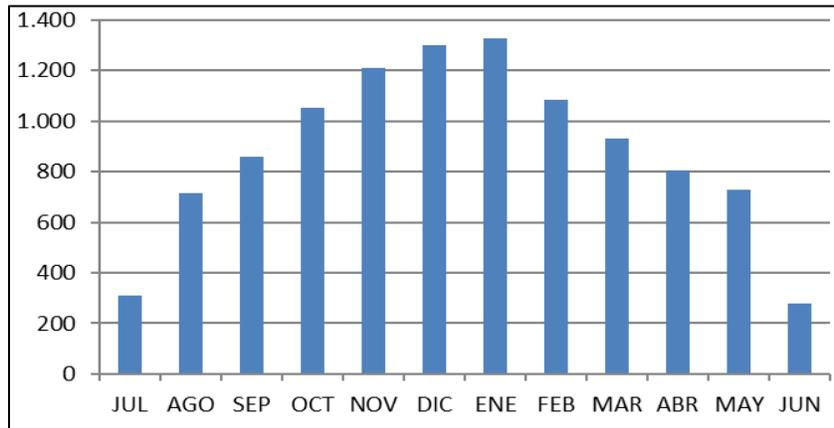


Figura 32. Volúmenes de riego distribuidos en el Valle de Tulum.

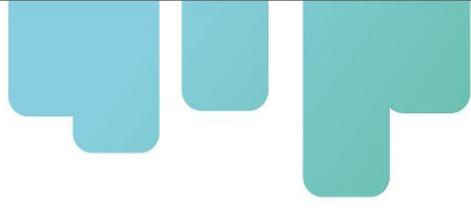
2.4.8 Brechas tecnológicas en los sistemas productivos

Porcentaje de agricultores que utilizan metodologías para definir el riego.

En la actualidad no hay productores en el área de estudio que utilicen tecnologías y/o metodologías similares a las que se proponen en el proyecto, solo se destaca el uso de dichas tecnologías en los ámbitos de investigación y entes cercanos a los chacareros. Además, se destaca el uso de software de Información Geográfica (SIG) por parte del distrito de riego.

Porcentaje de agricultores que utilizan los servicios de asesoramiento del riego.

El distrito de riego de Villa Regina posee una cantidad de 1478 usuarios del sistema. Del total, el 70 % de los usuarios utilizan realmente los servicios de asesoramiento del riego. Mientras que en Valle Inferior se registran aproximadamente 500 usuarios dentro del sistema de riego gravitacional, utilizando el servicio de asesoramiento solo un 50%.



3. Conclusiones

El sector agropecuario en América Latina y el Caribe (ALC) es vital para la economía regional, sin embargo, enfrenta desafíos significativos en la gestión del agua. A pesar de la abundancia relativa de agua en la región, su gestión adecuada y equitativa es esencial debido a las variaciones climáticas y al cambio climático. La modernización, que incluye mejoras tecnológicas y cambios institucionales, es clave para una gestión más eficiente y sostenible del agua en la agricultura en ALC.

Colombia se enfrenta a desafíos considerables, especialmente en cultivos como la caña de azúcar, que demandan grandes volúmenes de agua. La implementación de tecnologías de Agricultura 4.0, incluyendo sensores avanzados y análisis de datos en tiempo real, es esencial para optimizar el riego y aumentar la productividad. El monitoreo continuo de la humedad del suelo y los patrones climáticos es crucial para decisiones informadas sobre el riego.

La gestión del agua en Chile es compleja y fundamental para la agricultura. Aunque se han realizado esfuerzos significativos para mejorar la eficiencia del uso del agua, persisten desafíos tecnológicos y de gestión de datos. Sin embargo, la información recopilada proporciona una base sólida para futuras iniciativas y decisiones informadas en la gestión del agua en la agricultura chilena.

La variabilidad climática y la falta de tecnologías específicas han llevado a una alta dependencia de las condiciones climáticas naturales en Uruguay. Sin embargo, la investigación enfocada en mejorar la eficiencia del riego y evaluar su impacto en diversos cultivos es un paso crucial. La incorporación de tecnologías avanzadas y la adopción generalizada de métodos técnicos pueden cerrar las brechas tecnológicas existentes.

En Argentina, las provincias de San Juan y Río Negro enfrentan desafíos complejos en la gestión del agua para la agricultura. La rigidez de los principios legales y la falta de flexibilidad en la asignación de dotaciones limitan la eficiencia y la adaptabilidad del sistema. La gestión conjunta de fuentes superficiales y subterráneas es crucial, pero también se deben abordar problemas de infraestructura para mejorar la eficiencia en toda la red de distribución. La necesidad de un enfoque más flexible y adaptativo es evidente, considerando las crecientes demandas y los cambios climáticos.

Finalmente, el producto 1 del proyecto **Plataforma de gestión del agua en la agricultura 2030, ATN_RF-17950-RG**, subraya la complejidad de la gestión de los recursos hídricos en las regiones estudiadas. La competencia por el agua entre sectores diversos plantea desafíos significativos, y el cambio climático aumenta la presión sobre la agricultura para utilizar el agua de manera más eficiente y sostenible. Una gestión integrada, inversión en infraestructura moderna, adopción de tecnologías avanzadas y educación de los agricultores son esenciales para garantizar un futuro sostenible para la agricultura de riego en estas regiones.

4. Referencias Bibliográficas

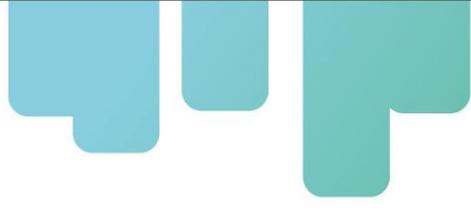
- AGRONET. 2020. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - MADR. ¿Cómo está Colombia en materia de riego?. Recuperado de: <https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/C%C3%B3mo-est%C3%A1-Colombia-en-materia-de-riego.aspx>
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements, Irrigation and Drain, Paper No.56.FAO, Rome, Italy, 300pp.
- Álvarez, O., Galeazzi, J., Stangaferro, S. y Polla, G. (1995). Organización, procesamiento y evaluación de la información sobre niveles del agua freática en el Alto Valle de Río Negro p. 1-93 (Informe técnico), Convenio FCA – DPA. ITAC
- Apcarian, A., Schmid, P. M., & Aruani, M. C. (2014). Suelos con acumulaciones calcáreas en el Alto Valle de Río Negro. Patagonia Norte. Imbellone PA, editora. Suelos con acumulaciones calcáreas y yesíferas de Argentina. Buenos Aires: INTA-Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo, 151-181.
- ASORUT. 2018. Características generales distrito de riego RUT. Valle del Cauca, Colombia. Segunda edición.
- ASORUT. 2020. Informe Técnico mensual de la unidad de Operación y Conservación. Asociación de Usuarios del Distrito de Riego RUT. Archivo xls.
- Ayers, R.S. y Westcot, D.W. (1987) La calidad del agua para agricultura. Estudios FAO: Riegos y Drenajes nº 29. Roma: Re. FAO. 1987. 174p
- Banco Mundial, 2020. Panoramas alimentarios futuros Reimaginando la agricultura en América Latina y el Caribe. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/159291604953162277/pdf/Future-Foodscapes-Re-imagining-Agriculture-in-Latin-America-and-the-Caribbean.pdf>.
- Bos, M. G., & Chambouleyron, J. L. (1998). *Parámetros de desempeño de la agricultura de riego de Mendoza, Argentina*. IWMI.
- Bruinsma, J. 2009. The resource outlook to 2050: By how much do land, water use and crop yields need to increase by 2050? 33 pp. Expert Meeting on How to Feed the World in 2050. Rome, FAO and ESDD. (Available at: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/012/ak542e/ak542e06.pdf>).
- Casamiquela, O. M. (1995). *El riego en la provincia de Río Negro: auge, crisis y futuro* (No. 631.587). Fundación Proyecto Sur,.
- Castillo Sánchez, L. (2016). Distribución espacial de las propiedades hidrodinámicas de los suelos del Distrito de Riego RUT. Tesis (Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia).
- VIII Censo Nacional Agropecuario y Forestal, 2021. Datos tabulados. Disponible en <https://www.ine.gov.cl/estadisticas/economia/agricultura-agroindustria-y-pesca/censos-agropecuarios>
- CEPAL. 2019. Industria 4.0: oportunidades y desafíos para el desarrollo productivo de la provincia de Santa Fe. Documentos de Proyectos (LC/TS.2019/80), Santiago, Comisión Económica

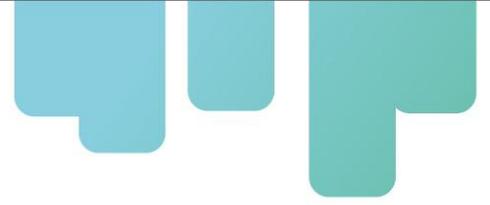
- para América Latina y el Caribe. 152 pp. Recuperado de: https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/44954/S1901011_es.pdf.
- CEPAL, 2020. Serie Recursos Naturales y Desarrollo N°198. Desafíos hídricos en Chile y recomendaciones para el cumplimiento del ODS 6 en América Latina y el Caribe, Silvia Saravia Matus, Marina Gil, Elisa Blanco, Alba Llavona y Lisbeth Naranjo (LC/TS.2020/134), 2020.
- CEPAL, FAO e IICA. IICA, 2021. Perspectivas de la Agricultura y del Desarrollo Rural en las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe 2021-2022. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/ec3e9a9f-593e-4c55-85a3-b5eefbeca839/content>.
- CEPAL, Euromipyme, FAO, eLAC. 2022. O. Sotomayor, E. Ramírez y H. Martínez (coords.). Digitalización y cambio tecnológico en las mipymes agrícolas y agroindustriales en América Latina. Documentos de Proyectos (LC/TS.2021/65), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)/Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO. 198pp. Consultado el 31/03/2022. Recuperado de: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46965/4/S2100283_es.pdf
- CIL – AYEE (1988) Estudio para el aprovechamiento integral del Río Negro. Informe técnico.
- CIL (1991) Inconas Latinoconsult. Estudio Integral del Río Negro II Etapa. Edafología. Agua y Energía Eléctrica.
- CIREN, 2020. Erosión potencial y actual del territorio de Chile.
- Código de aguas, Republica de Chile. 1981. Disponible en <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=5605>
- CHAMBULEYRON, J., & MORABITO, J. (2005). El riego en Argentina. Documento INACRA.[en línea]. Mendoza, Argentina. 19 p.
- Connor, R., & Koncagül, E. (2015). Informe de las Naciones Unidas sobre los recursos hídricos en el mundo 2015: Agua para un mundo sostenible. Resumen ejecutivo.
- Corporación autónoma regional del valle del cauca – CVC. 2017. Evaluación regional del agua valle del cauca – 2017. Dirección Técnica Ambiental. 397 pp. Recuperado de https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/2018-10/EVALUACION_REGIONAL_AGUA_Ajustes2018_2.pdf.
- De la Torre, Abelardo (2011), Los Problemas de Drenaje y Salinidad en el Desierto Costero Peruano, Lima
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE (2014). 3er Censo Nacional Agropecuario - CNA. Recuperado de: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/censo-nacional-agropecuario-2014>
- Departamento Nacional de Planeación, DNP. 2019. Informe de priorización de los elementos críticos para mejorar la productividad del agua y la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales y el reúso del agua. Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia – CTA. Línea de Agua y Medio Ambiente. Consultado el 31/03/2022. Recuperado de: [82](https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/ejes-</p>
</div>
<div data-bbox=)

- tematicos/Agua/INFORME_PRIORIZACION_12_02_18.pdf
- Departamento Nacional de Planeación, DNP. 2014. Diagnóstico y prospectiva de la adecuación de tierras en Colombia. Documento técnico para la Misión para la Transformación del Campo. Bogotá: DNP. Recuperado de: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Agriculturapecuarioforestal%20y%20pesca/Diagn%C3%B3stico%20y%20Prospectiva%20de%20la%20Adecuaci%C3%B3n%20de%20Tierras%20en%20Colombia.pdf>
- Departamento Nacional de Planeación, DNP. 2018. CONPES 3926: Política de adecuación de tierras 2018-2038. Recuperado de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3926.pdf>
- Departamento Nacional de Planeación, DNP. 2016. Ejecutado por Econometría Consultores. Evaluación institucional y de operaciones de la política de Adecuación de Tierras desde el PRONAT y la Ley 41 de 1993 hasta la actualidad. Recuperado de: https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Sinergia/Documentos/Informe_de_Resultados-Adecuaci%C3%B3n_de_Tierras.pdf.
- DIEA-MGAP 2015. Anuario Estadístico Agropecuario. Dirección de Estadísticas Agropecuarias. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Montevideo. Uruguay.
- DIEA-MGAP. 2018. Anuario Estadístico Agropecuario. Dirección de Estadísticas Agropecuarias. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Montevideo. Uruguay.
- DIEA-MGAP 2018. Informe sobre riego. Dirección de Estadísticas Agropecuarias. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Montevideo. Uruguay.
- DINAGUA, Ministerio Ambiente, 2018. Mediciones de nivel de agua registradas en el año 2018 por las estaciones de la Dirección Nacional de Aguas (DINAGUA).
- Dussillant, I. y otros (2019), "Two decades of glacier mass loss along the Andes", Nature Geoscience, vol. 12, Londres.
- FAO. 1997. Modernization of irrigation schemes: past experiences and future options. FAO Technical Paper No. 12, Rome.
- FAO. 2001. The economics of conservation agriculture. Land and Water Development Division. Rome.
- FAO 2007. Irrigation management transfer: worldwide efforts and results. Informes FAO Water, núm. 32. Roma, FAO. (Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/010/a1520e/a1520e00.htm>)
- FAO, 2014. Sistematización de prácticas de conservación de suelos y aguas para la adaptación al cambio climático.
- FAO. 2014. Latin America Doubled Its Agricultural Emissions of Greenhouse Gases in the Past 50 Years. <http://www.fao.org/americas/noticias/ver/en/c/240449/> (January 1, 2019).
- FAO. 2014. Recursos de agua por país. AQUASAT, <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/queries/show.html?id=35>
- FAO. 2015. Estudio Del Potencial De Ampliación Del Riego En Argentina.
- FAO. 2016a. Regional Overview of South America, Central America and the Caribbean. Disponible en: <https://www.fao.org/aquastat/en/countries-and-basins/regional-overviews/south->

[centr-america-car](#)

- FAO, 2016b. FAOSTAT, Roma. AQUASTAT, División de Tierras y Aguas.
- FAO. 2019a. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Progresos en la lucha contra la pérdida y el desperdicio de alimentos. Roma.
- FAO. 2019b. Tecnologías Digitales en la Agricultura y las Zonas Rurales. Documento De Orientación. 26pp. Roma, Italia. Recuperado de: <https://www.fao.org/publications/card/es/c/CA4887ES/>
- Fedesarrollo. 2019. Adecuación de tierras y el desarrollo de la agricultura colombiana: políticas e instituciones. Bogotá D.C., Colombia. 447 pp. Recuperado de: https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/3763/Repor_Abril_2019_Perfetti_et_al.pdf?sequence=4&isAllowed=y#page=135&zoom=100,109,381.
- FERNÁNDEZ MUÑOZ, S. (2003). El bajo Neuquén. La transformación de un espacio natural en un territorio agrícola en la Patagonia Argentina. Universidad Autónoma de Madrid. España.
- Galeazzi, J., Mañueco, M.L., Montenegro, A., Storti, C., Sheridan, M. (2018). Gestión Consorciada del Agua de Riego en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén. p. 309-316. I Jornadas Patagónicas de Acceso y Gestión del Agua en la Agricultura Familiar. Plottier, Neuquén, Argentina
- Giménez, A., Castaño, J. P., Olivera, L., Furest, J., Martino, D., & Romero, R. (2006). Cambio climático en Uruguay y la región. Proyecto AIACC-TWAS, INIA Grass, Montevideo, Uruguay.
- Godagnone, R. E., & Bran, D. (2009). Inventario de los Recursos Naturales de la Provincia de Río Negro. Actualización. Ediciones INTA.
- González Aubone, F., Reggio, L., & Graffigna, L. (2014). Marco histórico del riego en San Juan, Argentina. In Congreso Internacional de Códigos y Desafíos para Enfrentar la Crisis del Agua (La Plata, 2014).
- González Aubone, F., Andrieu, J., & Montenegro, F. (2020). Proceso de adecuación del suministro de agua para riego en la Colonia Fiscal Sarmiento (San Juan) orientado a la GIRH. EEA San Juan.
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2009). Water footprint manual (pp. 1-131). Enschede, The Netherlands: Water footprint network.
- Instituto Uruguayo de Meteorología, 2020. (Inumet. <https://www.inumet.gub.uy/>)
- Instituto geográfico Agustín Codazzi - IGAC. 2017. Producción agropecuaria en los grandes Distritos de riego de Colombia ha sido improvisada. Recuperado de: <https://www.igac.gov.co/es/noticias/produccion-agropecuaria-en-los-grandes-distritos-de-riego-de-colombia-ha-sido-improvisada>.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. 2014. Estudio Nacional del Agua 2014. Bogotá, IDEAM, 493 pp. Recuperado de: http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. (2019). Estudio Nacional del Agua 2018. Bogotá: IDEAM, 452 pp. Recuperado de: <https://cta.org.co/descargables-biblionet/agua-y-medio-ambiente/Estudio-Nacional-del-Agua-2018.pdf>.

- 
- Jafino y otros (2020), Revised estimates of the impact of climate change on extreme poverty by 2030 (Estimaciones revisadas sobre el impacto del cambio climático en la pobreza extrema para 2030), documento de trabajo sobre investigaciones relativas a políticas de desarrollo del Banco Mundial n.o9417
- Javaid M., Haleem A., Pratap R., & Suman R. 2022. Enhancing smart farming through the applications of Agriculture 4.0 technologies. *International Journal of Intelligent Networks*. Vol.3:150-164. <https://doi.org/10.1016/j.ijin.2022.09.004>.
- Josef Schmidhuber, 2010. The FAO outlook to 2050. Production, consumption and resources. Disponible en <https://slideplayer.com/slide/10297895/>
- Lui, E. N., Roa, R. C., Martínez, R. S., Zelmer, H., Reinoso, L., & DOnofrio, M. (2012). Evaluaciones de riego parcelarias en el Valle Inferior del Río Negro, estrategias para la mejora de indicadores. *CURZA y EEA Valle Inferior del Río Negro*.
- Mahlknecht, Jürgen y Pastén Zapata (eds.) (2013), Diagnóstico de los recursos hídricos en América Latina, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Pearson Educación de México.
- Marizza, M. S., Rapacioli, R., & Vives, L. (2010). La problemática aluvional en el Alto Valle del Río Negro, Argentina. *Tecnología y ciencias del agua*, 1(1), 21-34.
- Masson-Delmotte, V.; Zhai, P.; Pirani, A. y otros (eds.). 2021. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*; Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), 2021. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>.
- Mekonnen, M.M., M. Pahlow, M.M. Aldaya, E. Zarate, and A.Y. Hoekstra. 2015. Sustainability, Efficiency and Equitability of Water Consumption and Pollution in Latin America and the Caribbean. *Sustainability* 7 (2): 2086–112.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - MADR. 2020. Plan Nacional de Riego y Drenaje para la Economía Campesina, Familiar y Comunitaria. Plan Nacional para la Reforma Rural Integral. Resolución 000091 de 2020. 48 pp. Recuperado de: <https://www.minagricultura.gov.co/Normatividad/Resoluciones/RESOLUCI%C3%93N%20NO.%20000091%20DE%202020.pdf>
- Miranda, O.; Paz, M.; Gonzalez Aubone, F.; Andrieu, J. (2011): “El uso del agua para riego en la provincia de San Juan: una mirada territorial e institucional”, *Estudios socioeconómicos de la sustentabilidad de los sistemas de producción y recursos naturales* N° 16, 32 págs. ISSN 1851-6955.
- Montenegro, A. (2021). *Modelación e Información Geoespacial: Análisis de eventos climáticos y antrópicos en la dinámica del acuífero en el distrito de riego de Villa Regina* (Doctoral dissertation, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires).
- Neffen, E. M. (2020a). Alternativas de manejo en riego por surco para el cultivo de maíz (*Zea mays* L) en el Valle Inferior del Río Negro (Doctoral dissertation, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo).
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). Estado del clima en América Latina y el Caribe 2021. OMM: Ginebra, 2022.



- Pereira, L. S. (1988). Modernization of irrigation systems: A case of research, oriented to improve management. *Irrigation and Drainage Systems*, 2, 63-77.
- Polla, G., Pavese, J., Elissalde, M., & Horne, F. (2013). Evaluación del comportamiento del acuífero del Alto Valle de Río Negro para control de heladas en un distrito de riego. In VIII Congreso Argentino de Hidrogeología y VI Seminario Latinoamericano sobre Termas Actuales de la Hidrología Subterránea (La Plata, 17 al 20 de septiembre de 2013).
- Prieto, D.; R. Sánchez; R. Martínez. 2015. Las áreas de riego y el deterioro de los Suelos. En: R. Casas (ed.). *El Deterioro de los Suelos en Argentina*. R. Fundación para la Ciencia, la Educación y la Cultura (FECIC). Buenos Aires, Argentina.
- Quichán, S., Esquercia, W., Martínez, R. M., Lui, E., Mazzieri, J., & Simón, M. R. 2015. Riego por aspersión en la Norpatagonia y su efecto sobre las propiedades del suelo en los nuevos emprendimientos de regadíos. *Revista Pilquen. Sección Agronomía*, 15(1), 1-10.
- Requena, A., Ponce, V., Sánchez, L. y Castillo, E. (2016). Riego por goteo en frutales en producción. Peras Abate Fetel y Beurré D'Anjou. *Revista F&D. Publicaciones Regionales EEA Alto Valle* 78:34-39.
- Ríos-Rojas, L., Chaali N., Jaramillo C., Ouazaa S., Correa, J. 2020. Irrigation and nutrition as criteria for adequate management of Tahiti Acid Lime trees affected by a physiological disorder in tropical conditions. *Scientia Horticulturae*. doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109438.
- Rockstrom, J.; Hatibu, N.; Oweis, T.Y.; Wani, S.; Barron, J.; Bruggeman, A.; Farahani, J.; Karlberg, L.; Qiang, Z. Managing water in rainfed agriculture. 2007. In *Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*; Molden, D., Ed.; Earthscan: London, UK; IWMI: Colombo, Sri Lanka. pp. 315–352.
- Rodriguez, A.; Muñoz, A. 2006. Síntesis meteorológica para el período 1990-2004. Ediciones INTA EEA Alto Valle. General Roca. Río Negro. 50 pp.
- Rossi, P. (2013). Agua Subterránea en el Ato Valle de la Provincia de Río Negro. Intendencia General de Recursos Hídricos. Delegación Regional Valle Medio. Departamento Provincial de Aguas. Río Negro, Argentina.
- Salazar L., Munoz G. 2018. Food Security Sector Framework Document.
- Saravia, S., Gil, M., Blanco, E. Llavona, A., Naranjo, L. “Desafíos hídricos en Chile y recomendaciones para el cumplimiento del ODS 6 en América Latina y el Caribe”, serie Recursos Naturales y Desarrollo, N° 198 (LC/TS.2020/134), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2020.
- Sociedad Química y Minera de Chile (2001) Agenda del salitre. SOQUIMICH [en línea]. Santiago: Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/57753>
- SERVICIO NACIONAL DE SANIDAD Y CALIDAD GROALIMENTARIA (SENASA). Anuario Estadístico 2019 – Centro Regional Patagonia Norte. Argentina 2020
- Svampa, F. (2016). Transformaciones territoriales en el Alto Valle de Río Negro, el declive de la matriz frutihortícola en el municipio de Allen. In IX Jornadas de Sociología de la UNLP 5 al 7 de diciembre de 2016 Ensenada, Argentina. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Departamento de Sociología.
- Thornthwaite, C. W. (1948). An approach toward arational classification of climate.



American Geographical Society, 38(1), 55-94

- Tovar S., Solórzano J., Badillo A. & Rodríguez G. 2019. Internet de las cosas aplicado a la agricultura: estado actual. "Internet de las cosas aplicado a la agricultura: estado actual", Lámpsakos, 22, pp. 86-105. doi: 10.21501/21454086.3253
- Verbist K., Santibañez, F., Gabriels, D. and Soto, G. 2010. Atlas of Arid and Semi Arid Zones of Latin America and the Caribbean, Technical Documents of the UNESCO PHI-LAC, N25, ISBN 978-92-9089-164-2.
- Willaarts, Bárbara; Alberto Garrido y Ramón Llamas, 2014. Water for food security and well-being in Latin America and the Caribbean. Social and environmental implications for a globalized economy, Routledge, Fundación Botín
- Zappi, C. A. (2012). UNA EVALUACIÓN DE LAS POSIBILIDADES DE EXPANSIÓN DEL RIEGO EN LA ARGENTINA. Actas de la VI Jornadas de Actualización en Riego y Fertirriego. Mendoza, Argentina.

Instituciones participantes



Secretaría Técnica Administrativa



Con el apoyo de:



www.fontagro.org

Correo electrónico: fontagro@fontagro.org