

TALLER
TÉCNICO

Taller "Plataforma de Gestión del Agua en la Agricultura 2030- 2050"

Santiago, Chile 2019



Contenidos

1	INTRODUCCIÓN	5
2	METODOLOGÍA	11
3	ESTADO DEL ARTE	12
3.1	La Agricultura en la gestión moderna del agua	12
3.2	Estado del arte de los recursos hídricos y la agricultura en los países ALC	16
3.3	Fuentes hídricas en los países ALC	17
3.4	Superficie agrícola en las regiones ALC	19
4	BRECHAS TECNOLÓGICAS EN EL MANEJO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN PAÍSES ALC	29
5	CONCLUSIONES ACERCA DE BRECHAS Y LA MODERNIZACIÓN DEL RIEGO	36
6	ANEXO I. ANTECEDENTES RECURSOS HÍDRICOS Y AGRICULTURA EN PAÍSES LAC	37

Agradecimientos

La Secretaria Técnica Administrativa de FONTAGRO desea agradecer a todas las instituciones y personas que contribuyeron a la organización y realización de este Taller, especialmente al Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA - Chile) en nombre de su Director Nacional Sr. Pedro Bustos, al Dr. Emilio Ruz, Director Regional INIA La Platina y los investigadores Dr. Claudio Balbontín y Dr. Gabriel Selles, por su amabilidad como anfitriones y organizadores del evento. Igualmente agradecer al Ing. Fernando González del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA, Argentina) y al Dr. Enrique Playán (CSIC, España), por su ayuda en la elaboración de la propuesta, la organización y coordinación del evento.

También agradecer a los expositores Dr. Daniel Prieto (Argentina), Dra. Nery Zapata (España), Dr. Enrique Torres (Colombia), Dr. Francisco Meza (Chile), Dr. Claudio Balbontín (Chile), Ing. Guillermo Cúneo (Argentina) y Juan Gustavo Satlari (Argentina). Agradecer a la Srta. Patricia Contreras por su trabajo logístico que permitió la coordinación de todas las actividades. Finalmente, agradecer a todos los asistentes por su excelente disposición y voluntad para el trabajo colaborativo.

1 INTRODUCCIÓN

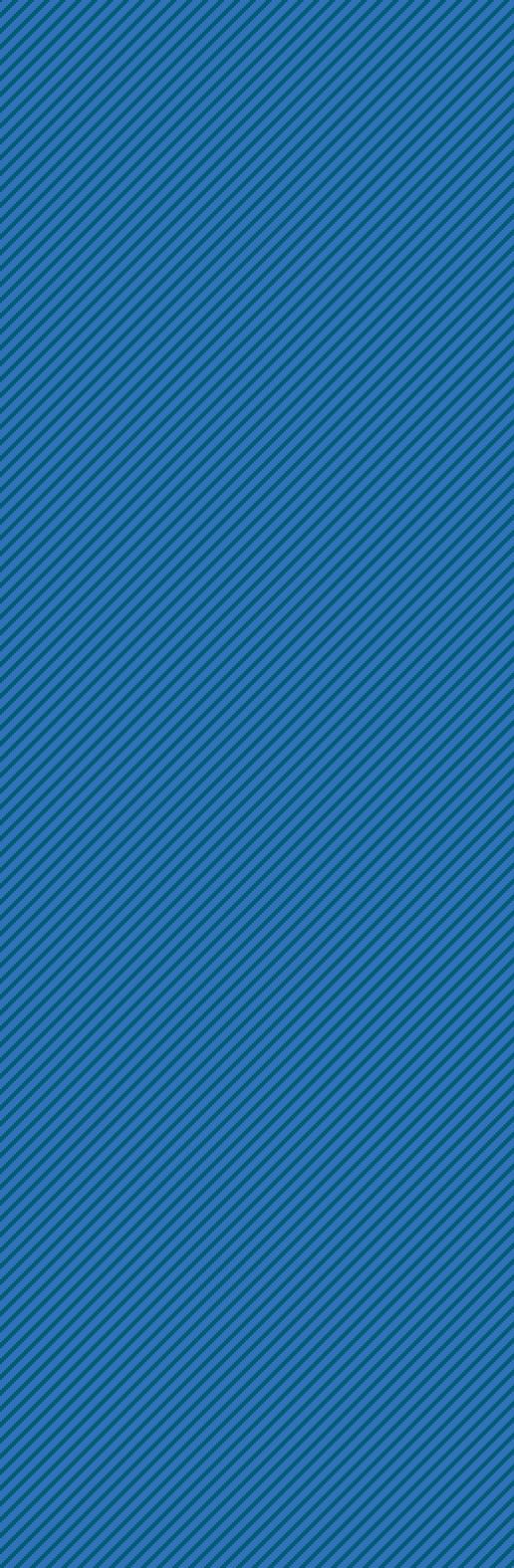
Durante el XVI encuentro del sistema de los INIA de Iberoamérica, celebrado del 23 al 25 de octubre del 2017 en La Serena (Chile), se discutió de forma destacada el tema “*Estado del Arte sobre la gestión del agua en la agricultura en los distintos países de América Latina y el Caribe (ALC)*”. En este sentido, las instituciones asistentes manifestaron la necesidad de seguir avanzando en la generación de conocimientos para el manejo eficiente de los recursos hídricos y el desarrollo y adaptación de tecnologías para las diferentes condiciones productivas de las actividades agrícolas en los países miembros. Se señaló también que el fortalecimiento de la interacción entre la investigación y el desarrollo tecnológico permitirá enfrentar de mejor forma los desafíos que representan el cambio climático, el aumento de la demanda por alimentos por una población mundial creciente y la modernización del riego en los diferentes sistemas productivos de los países de ALC.

A partir de estos análisis, se concluyó crear un grupo de trabajo específico en el área de “*agua para la agricultura*” considerando el riego como un eje fundamental del desarrollo y sostenibilidad de la agricultura en los países ALC. Se acuerda por tanto promover la formación de una red de especialistas en el uso del agua en la agricultura, liderada por Chile con el apoyo de Argentina y España.

En respuesta a este mandato, en el año 2018 se presentó la iniciativa “*Plataforma de Gestión del Agua en la Agricultura 2030-2050*” a un Fondo Semilla de FONTAGRO el cual fue aprobado y ejecutado a través del Taller que se describe a continuación. El objetivo principal fue entonces dar respuesta a la necesidad creciente de avanzar en la generación de conocimientos, el desarrollo y adaptación de nuevas tecnologías para mejorar el uso de los recursos hídricos en la agricultura. Se plantea como estrategia la interacción entre profesionales investigadores de las instituciones agrícolas de la región y España, de manera de consolidar la *Plataforma* y compartir conocimientos y metodologías para implementar acciones concretas para la modernización tecnológica del riego en los países LAC y de este modo sentar las bases de una agricultura intensiva y sustentable de cara al escenario 2030-2050.



Participantes del Taller Fondo Semilla “*Plataforma de Gestión del Agua en la Agricultura 2030-2050*” realizado en Santiago de Chile en INIA La Platina del 20 al 22 de marzo de 2019.





Proyecto:

ATN/RF-16338-RG (Fondo Semilla)

Organismo Líder:

Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA - CHILE)

Investigador:

Dr. Claudio Balbontín N.

Organismos Co-ejecutores

INTA (Argentina)

INIA (Uruguay)

INIA España CSIC (España)

Montos

FONTAGRO:	US\$ 30.000
CO-FINANCIAMIENTO:	US\$ 130.873
TOTAL:	US\$ 160.873

Periodo

Año de la Convocatoria: 2018

Fecha inicio del proyecto: 10/02/2019

Fecha terminación del proyecto: 31/12/2019

Resumen Ejecutivo

La necesidad de producir más alimentos para una población creciente, el aumento en la competencia por el uso de los recursos hídricos entre los sectores económicos, así como los efectos del cambio climático sobre la agricultura, suponen un futuro con mayores restricciones en la disponibilidad de agua en los países de América Latina y el Caribe (ALC).

Frente a este complejo panorama, los notables avances tanto el conocimiento para el manejo eficiente de los recursos hídricos, así como los evidentes desarrollos tecnológicos para su monitoreo realizados en las últimas décadas, claramente representa un camino para mejorar la eficiencia y la productividad del agua.

Para conducir y enfrentar de mejor forma estos desafíos de modernización, investigadores en riego de las principales instituciones de investigación agrícola de los países ALC-Fontagro, se han reunido en un Taller Técnico financiado con un Fondo Semilla de FONTAGRO y han conformado una “**Plataforma para la gestión del agua para la agricultura 2030-2050**”, liderada por INIA Chile, IRTA Argentina, INIA Uruguay, INIA España y el CSIC (España), en asociación con agencias públicas y privadas, la cual tendrá por misión ejecutar acciones tendientes a la modernización de las herramientas tecnológicas para el uso eficiente de los recursos hídricos en agricultura ALC.

Para articular estas acciones, en esta etapa la Plataforma presentará un **Proyecto Consensuado** a la fuente de financiamiento FONTAGRO, en el cual se incluirán actividades en cuatro países de Latinoamérica (Chile, Argentina, Colombia, Uruguay) más España. En estos países se implementarán pilotos tecnológicos para la validación y transferencia de nuevas tecnologías para el manejo del riego y los recursos hídricos. El objetivo general de este proyecto será acercar la amplia oferta tecnológica disponible desde las empresas tecnológicas al usuario final y de esta manera disminuir las brechas existentes en el manejo del riego.

Las soluciones tecnológicas que serán implementadas en los pilotos regionales tendrán distintas escalas de análisis y acción, que irán desde aproximaciones al estado hídrico de los cultivos hasta el manejo de los recursos hídricos a escala región o cuenca. El énfasis será puesto en identificar soluciones tecnológicas robustas, que en el largo plazo permitan establecer un marco conceptual de agricultura de precisión.

Las tecnologías seleccionadas estarán orientadas a herramientas tecnológicas para:

- **Definición de las necesidades de riego de los cultivos.**
- **Monitoreo del nivel de desarrollo de los cultivos.**
- **Monitoreo del estado hídrico interno de los cultivos.**
- **Monitoreo de la disponibilidad hídrica en el suelo.**
- **Modelamiento del balance hídrico en el suelo**
- **Modelamiento de la oferta y demanda de recursos hídricos a escala regional**
- **Registro y control de los recursos hídricos a escala regional y predial.**

Los proyectos piloto se implementarán en regiones agrícolas con diversas condiciones de intensidad de la producción, tipos de cultivos, edafoclima y necesidades de riego. Los sitios seleccionados serán: en Chile las regiones de Coquimbo y Ñuble, en Argentina las regiones de Mendoza y Córdoba, en Colombia la región del Cauca, en Uruguay la región de Salto y en España la región del Ebro.

Los beneficiarios directos e indirectos serán agricultores, profesionales, asesores, transferencistas, que conocerán y recibirán capacitación en el uso de nuevas tecnologías para el riego. Los grupos de I + D + i de instituciones públicas (pero no exclusivamente) los del Sistema INIA de los países ALC, así como empresas que producen, instalan y explotan nuevas tecnologías para optimizar el uso del agua en la agricultura regional serán beneficiadas con las acciones del proyecto. Los gobiernos de los países de la región, que estarán asociados a la red, podrán actualizar sus políticas, introducir/adoptar tecnologías, incentivos e inversiones a la luz de los problemas y soluciones analizadas dentro de la red. Los administradores de recursos hídricos, que participarán en la red desde el principio, mostrarán sus problemas, plantearán desafíos y compartirán soluciones con el resto de los participantes del proyecto de otros países de la región.

EXECUTIVE SUMMARY

Producing more food for a growing population, the increase in competition for the use of water resources among economic sectors, as well as the effects of climate change on agriculture, represent a future with greater restrictions on the availability of water in the Latin America and the Caribbean (LAC) countries.

Faced with this complex panorama, the notable advances in knowledge for irrigation management, as well as the evident technological developments of the last decades, clearly represent a way to improve the water use efficiency and productivity in agriculture.

To lead and better face these challenges, researchers in irrigation of the main agricultural institutions of the FONTARO LAC countries, established an international network named *Platform for the Irrigation Management for Agriculture 2030-2050*, led by INIA (Chile), IRTA (Argentina), INIA (Uruguay), INIA (Spain) and the CSIC (Spain), in partnership with public and private agencies. This Platform will execute actions aimed at the modernization of technological tools for the efficient use of water resources in agriculture.

The Platform is presenting a **Consensual Project** to the funding source FONTAGRO, which includes actions in four countries in Latin America (Chile, Argentina, Colombia, and Uruguay) and Spain. In these countries *technological pilots* will be implemented for validation and transfer new technologies. The general objective of the project is to evaluate and transfer the wide range of new technologies to end user, using R + D + I alliances between research centers and private agencies and this way to reduce the existing technological gaps in irrigation management.

The technological solutions to be implemented in the pilots will be varied and with different scales of actions. The emphasis will be placed on robust technologies that, in the long term, lay the foundations for a precision agriculture. The technological solutions that will be implemented are referred to:

- Defining the irrigation needs of crops.
- Monitoring the crop development.
- Monitoring the internal water status of crops.
- Monitoring water availability in the soil.
- Modeling of water balance in the soil
- Modeling of water supply and demand in pilot regions
- Registration and control of water resources at regional scales and irrigation at the predial scale.

The pilot projects will be implemented in agricultural regions with diverse conditions of intensity of production, crops types, edaphoclimatic and irrigation needs. The selected sites are: Chile, Coquimbo and Ñuble regions, in Argentina Mendoza and Cordoba regions, in Colombia the Palmira region, in Uruguay in Salto region and Spain in the Ebro region.

The direct and indirect beneficiaries will be: farmers, professionals, advisors, transferees, who will know and be trained in the use of new technologies for irrigation. Likewise, the R+D+i groups of public institutions of the countries of the region, particularly (but not exclusively) those of the INIA System of Latin America Countries. The companies that producing, installing and exploiting new technologies to optimize the use of water in regional agriculture. The governments of the countries of the region, which will be associated with the network, so that they can update their policies, introduce / adopt technologies, incentives and investments in light of the problems and solutions analyzed within the network. Irrigators and their institutions, who will be involved in the network from the beginning, showing their problems, posing challenges and sharing solutions with the rest of the project participants from other countries in the region.

Productos alcanzados

- I. **Establecimiento de vínculos de cooperación entre los investigadores participantes y la conformación de una "Plataforma de Gestión del Agua en la Agricultura 2030-2050".**
- II. **Elaboración de un Proyecto Consensuado en el cual se aborde el uso de nuevas tecnologías para el manejo de los recursos hídricos.**
- III. **Que las escalas de monitoreo y análisis de los recursos hídricos que se propondrán en el Proyecto Consensuado, serán tanto a escala regional (cuencas) como a escala de riego intrapredial.**
- IV. **Se establece que la selección de tecnologías se hará con miras a la definición de las necesidades hídricas reales de los cultivos, la definición de la oferta hídrica, definición de la productividad agronómica del agua, monitoreo tecnológico de la calidad de agua, monitoreo de la distribución del agua y el establecimiento de estrategias para la toma de decisiones basada en el análisis y procesamiento de la información generada.**

Resultados Obtenidos

- **Conformación Plataforma de Gestión del Agua en la Agricultura 2030-2050.**
- **Definición de tecnologías y escala de acción para un Proyecto Consensuado a presentar a FONTAGRO.**

Lecciones Aprendidas

- **La interacción entre investigadores de las instituciones INIA, de universidades y de empresas tecnológicas permitió generar un ambiente de colaboración favorable para el desarrollo de un proyecto consensuado futuro.**
- **Las capacidades y experiencia de los participantes permitieron definir que a través de un Proyecto Consensuado se pueden articular próximas actividades de la plataforma**
- **La infraestructura disponible en las instituciones participantes de la plataforma asegura que la implementación de nuevas tecnologías en pilotos tecnológicos permitirá conducir la transferencia de estas tecnologías en marcos conceptuales adecuados y operativos para el manejo del riego.**

2 METODOLOGÍA

La metodología utilizada durante el Taller fue la exposición por parte de los investigadores de experiencias exitosas en el uso de nuevas tecnologías para el manejo de los recursos hídricos y el riego intrapredial. A través de las exposiciones se entregaron detalles del uso de nuevas tecnologías para el riego y el manejo de recursos hídricos, indicando las fortalezas y las debilidades de las tecnologías. Así mismo, se delinearon su posible incorporación dentro del futuro Proyecto Consensuado. Para esto también una matriz de brechas/soluciones tecnológicas que podrían ser abordadas en el proyecto. En el **Cuadro 1** se indica el listado de expositores, instituciones y temas abordados en cada exposición.

Cuadro 1. Listado de expositores, instituciones y temas abordados en la exposición.

Expositor	Institución	Tema
Dr. Daniel Prieto	INTA Argentina	Antecedentes Recursos Hídricos y Agricultura en países LAC.
Dr. Ami Ben-Shalom Friedman	Israel Innovation Authority (IIA)	Israel's Agrotech & Water Technologies
Dr. Francisco Meza	Universidad católica de Chile	"Uso de Modelos Hidrológicos para la Gestión de Recursos Hídricos"
Dr. Enrique Torres	Universidad Nacional de Colombia	Manejo y uso eficiente del agua en la agricultura como medida de adaptación al cambio climático (caso del Valle del Cauca, Colombia)
Dr. Claudio Balbontín Dra. Magali Odi L.	INIA CHILE	Uso de información satelital para el manejo eficiente del riego. Plataforma PLAS.
Dra. Nery Zapata	EEAD-CSIC	Los sistemas de telecontrol de las comunidades de regantes de España.
Ing. Guillermo Cúneo	Irrigación DGI Mendoza	Nuevas tendencias para el suministro de Agua según la demanda real: Riego Acordado. "Experiencia en riego acordado 2018-2019. Flexibilidad en la distribución"
Dr. Agustín Pimstein	Sup Plant	Manejo autónomo y eficiente del riego.
Ing. Cristian Duschner	Wiseconn	"TELEMETRÍA PARA OPTIMIZAR GESTIÓN DEL AGUA EN LA AGRICULTURA"
Dr. Alfonso Calera MSc. Vicente Bodas	Teledetección y SIG Universidad de Castilla La Mancha	De la investigación al campo
Gastón Sagredo	AgriSat Iberia Rubicon Water	Rubicon Water

A continuación se presenta un resumen de las principales ideas expuestas y las conclusiones obtenidas a partir de las presentaciones realizadas en el Taller.

3 ESTADO DEL ARTE

3.1 LA AGRICULTURA EN LA GESTIÓN MODERNA DEL AGUA

De acuerdo a predicciones realizadas por FAO, hacia 2050 solo el 10% del crecimiento mundial de la producción de cultivos provendrá de la expansión de la tierra cultivada, mientras que el resto lo hará a partir de mayores rendimientos e intensidad de cultivos. Se proyecta que la tierra cultivable se expandirá en total 69 Mha (menos del 5%), con una expansión de alrededor de 107 Mha en los países en desarrollo compensada por una disminución de 38 Mha en los países desarrollados. El problema es que para aumentar tanto la productividad de la tierra, como la superficie cultivada, es necesario aumentar el suministro de agua para la agricultura.

En el año 2000 la agricultura fue responsable del 70% de las extracciones de agua y 93% de su consumo, mientras que la industria del 20% de las extracciones y 4% del consumo y los hogares del 10% y 3%, respectivamente (FAO AQUASTAT , 2018). Estas estadísticas muestran no sólo la dimensión de la agricultura respecto a la utilización del agua, sino que las relaciones entre usos y consumo muchas veces no van de la mano. El uso y consumo de agua para distintos destinos y por diferentes usuarios son temas complejos y sujetos a una gran competencia en las asignaciones y reasignaciones de un recurso cada vez más escaso y comprometido en su calidad. Por esto se habla de usos consuntivos y no consuntivos, siendo este último cuando el agua queda disponible para usos sucesivos, dependiendo en todo caso de la calidad resultante. En las actividades agrícolas el mayor porcentaje de uso del agua es del tipo consuntivo (es consumida en la evapotranspiración), por lo que respecto a otras actividades genera una marcada diferencia. Según OECD-FAO (2012) hacia el año 2050 la demanda de agua aumentará en un 55% para todos sus usos y la producción de alimentos en un 60%.

Si en el año 2000 la agricultura era responsable del 93% del consumo de agua dulce (o azul) a nivel mundial, queda claro que el único camino para satisfacer las demandas estimadas es mediante el llamado *more crop per drop*, es decir, aumentando la productividad del agua en las producción de alimentos. Estos aumentos de productividad deberán darse dentro de un nuevo paradigma compatible con la gestión ambiental y el ordenamiento territorial, comenzando por la planificación a nivel de las cuencas hídricas y atendiendo los distintos usos y usuarios. En ese contexto, la gestión del agua para usos agrícolas debe hacerse de manera integrada, empezando a escala de cuenca, luego su almacenamiento, transporte y distribución y, finalmente, su aplicación a nivel predial. Como veremos durante este trabajo, la propuesta de avanzar hacia una agricultura de precisión a nivel predial debe ir integrada con las otras escalas de manejo. Por tanto, el Estado del Arte, así como la propuesta de trabajo para la futura plataforma, analizarán estas tres escalas de la gestión del agua, en uso conjunto.

I. Las cifras del regadío a nivel mundial

Los resultados de estas políticas expansionistas del regadío descritas anteriormente son contundentes. A nivel mundial el área bajo riego creció de 50 Mha en el año 1900 a 267 Mha en el año 2000. Actualmente, más del 75% del área regada se encuentra en países en desarrollo, permitiendo el aumento del área total cultivada y los rendimientos por hectárea, disminuyendo además la mayor variabilidad productiva de la agricultura de secano, basada solamente en el agua de lluvia (Gleick, 2000).

Desde el año 1960 hasta el 2015, la superficie cultivable en el mundo ha permanecido casi estable, pasando de 1.373 Mha a 1.548 Mha. De acuerdo a la tendencia observada, este valor podría llegar 1.645 Mha hacia el año 2050 (Figura 1).

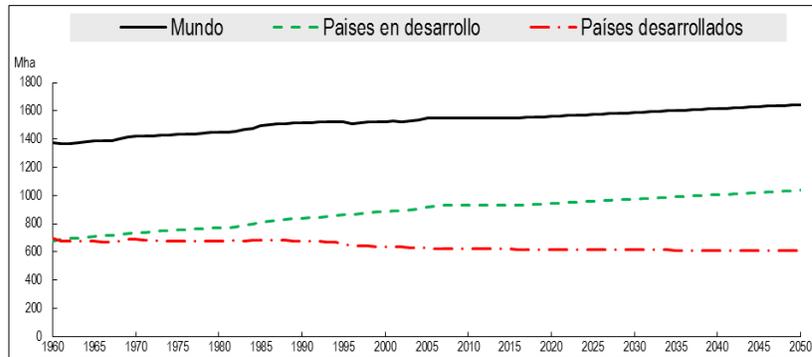


Figura 1. Evolución de la superficie cultivada desde el año 1960 hasta el año 2015 y pronóstico hacia el año 2050. (Fuente: OECD-FAO Agricultural Outlook 2012 - © OECD 2012).

Sin embargo, la superficie regable se ha duplicado, pasando de 160 Mha a 327 Mha para el mismo periodo. A principios de los años 60, solo se regaba el 12.4% de lo que se cultivaba, mientras que en el 2015 ese porcentaje llegó al 23.23% (FAOSTAT). Como consecuencia de este cambio de relaciones, ya en el período 1997-1999 el 40% de la producción agrícola en los países en desarrollo fue con la aplicación de algún tipo de riego, en sólo el 20% del área cultivada total (FAO, 2002). En la Figura 2 se señalan cifras de la evolución de la superficie cultivada y bajo riego en el mundo que comprueba el avance del regadío, que como se ha mencionado se quintuplicó durante todo el Siglo XX y duplicó entre los años 1960 y 2015.

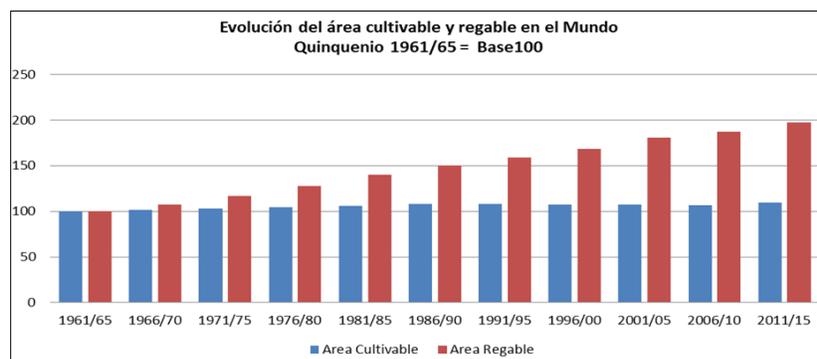


Figura 2. Evolución de la superficie cultivada y bajo riego en el mundo (Fuente: OECD-FAO Agricultural Outlook 2012 - © OECD 2012).

Sin embargo, vale recalcar que esta tendencia ha tenido distintos derroteros según las regiones y países. Si separamos la evolución del regadío en Europa y Norte América respecto al resto del mundo, es claro el desfase. Para el primer grupo, considerado en general de países más desarrollados, la caída de la tendencia creciente fue marcada, con un crecimiento del 19% en el quinquenio 1976/80 para luego pasar a la pérdida de área regable a partir de los años 90. De este modo, en los últimos 20 años se han perdido 15 millones de ha regables en esa parte del mundo, pasando de 62 a 47 millones en total. Para el resto del mundo, el crecimiento fue máximo en el quinquenio 1991/95 (un 13%), descendiendo hasta el 6% en el periodo 2010/15. Así y todo se han ganado 90 millones de ha regables en estas regiones en los últimos 20 años, pasando de 177 a 265 Mha (FAOSTAT).

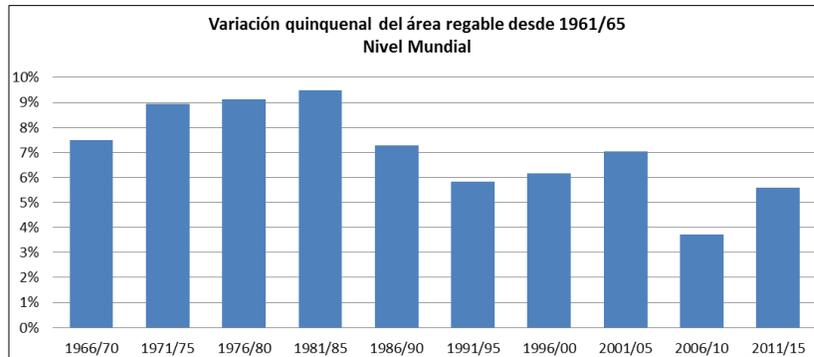


Figura 3. Evolución del porcentaje de la superficie bajo riego en el mundo (Fuente: FAOSTAT 2018¹).

Las mayores extracciones de agua, la creciente competencia por usos no agrícolas y la mayor conciencia ambiental, están dando fuerza al concepto de escasez del recurso en todos los países, creando un consenso sobre considerar al agua como un activo eco-social y promover una gestión más eficiente y racional del recurso.

II. Agricultura y recursos hídricos en los países ALC

La agricultura representa un 5% del producto interno bruto (PIB) de la región ALC y millones de hogares dependen de ella para su ingreso y subsistencia considerando que genera un 19% del empleo y que un 20% de la población es rural. Estos indicadores presentan notables diferencias entre los distintos países que conforman la región. En contraposición con las tendencias mundiales, la superficie cultivada en los países ALC ha crecido un 75% entre los años 1960 y 2015, pasando de 100 Mha a 165 Mha, representando actualmente el 14% del total a nivel mundial.

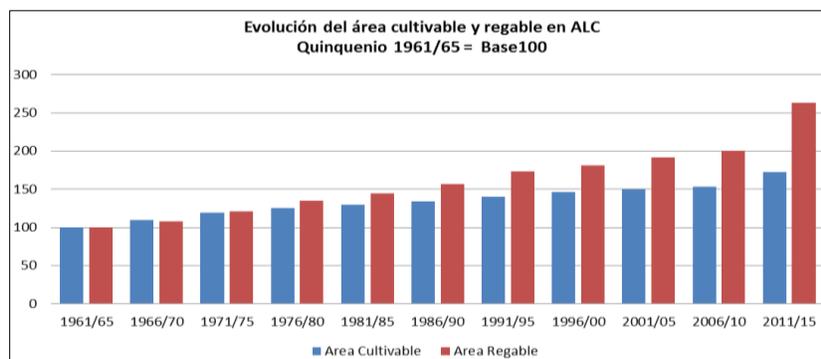


Figura 4. Evolución del porcentaje de la superficie bajo riego en el mundo (Fuente: FAOSTAT).

Paralelamente, el área regable se ha casi triplicado, pasando de 12 Mha a 31 Mha para el mismo período, lo que hoy representa una cifra muy cercana al 10% del total en el mundo (Figura 5). Es decir, en la actualidad la región ALC ostenta el 14% del total de la tierra cultivable y el 10% de la regable. Eso indica una relación entre la agricultura de regadío y la total del 16%, menor a la media mundial, que a 2015 representaba algo más del 23%.

¹ FAO, 2016. FAOSTAT, Roma. AQUASTAT, División de Tierras y Aguas.

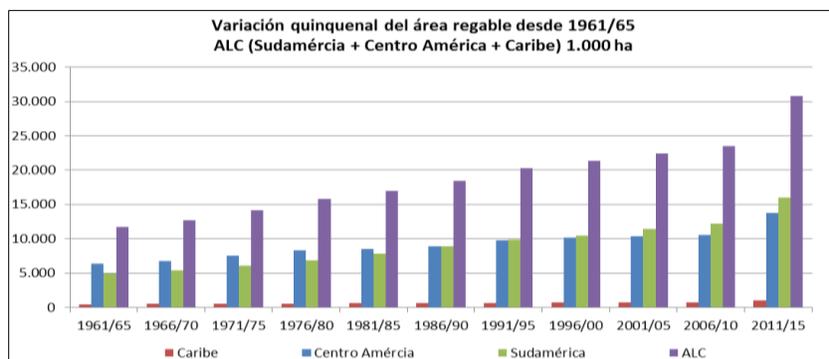


Figura 5. Evolución de la superficie bajo riego en los países ALC (Fuente: FAOSTAT).

Como se ha mencionado anteriormente de manera promisorio, el área regable en ALC en la última década registró un incremento del 31% muy por encima del 6% a nivel mundial y del 5% en que lo había hecho las tres décadas anteriores. Son tal vez estas cifras las que avalan el gran desafío que la región tiene por delante.

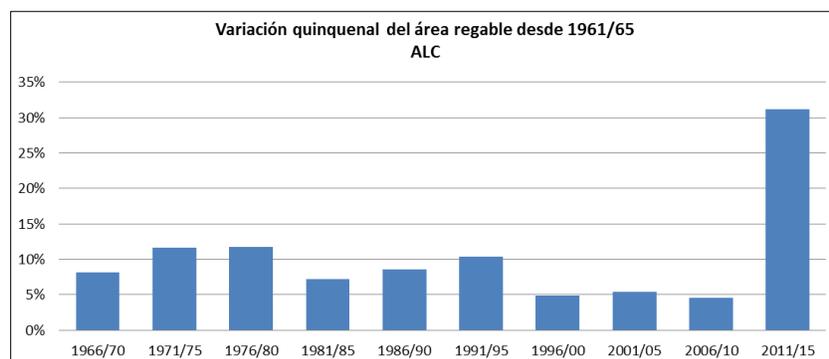


Figura 6. Evolución del porcentaje de la superficie bajo riego en los países ALC (Fuente: FAOSTAT).

Según AQUASTAT (FAO) y de acuerdo a su dotación de recursos hídricos, las únicas dos regiones del mundo con posibilidades de ampliar su área regada de manera sostenible son África Sub-Sahariana y América Latina y el Caribe (ALC). En 2005, estas regiones sólo aprovechaban un 18% y 23% del área potencial para desarrollar una agricultura con riego.

Con base a esta información, la región ALC se visualiza con grandes posibilidades de abastecer las demandas de alimentos mundiales para el año 2050. Cabe entonces plantear que los países ALC desempeñarán cada vez un rol más importante como proveedor de alimentos hacia el mundo, lo cual convierte este trabajo en un gran compromiso para aprovechar la oportunidad que la región tiene por delante en los próximos 30 años.

3.2 ESTADO DEL ARTE DE LOS RECURSOS HÍDRICOS Y LA AGRICULTURA EN LOS PAÍSES ALC

La región ALC está compuesta por 33 países, con una disponibilidad total de recursos hídricos de 18.5 billion m³/año, lo cual representa alrededor de 34% de los recursos hídricos del mundo. La región está compuesta por tres grandes subregiones²: la Subregión Centroamericana (SCA) compuesta por 8 países, que reúnen el 6% de la superficie y un 21% de la población (lo cual implica la mayor densidad habitacional de todas las subregiones); la Subregión Andina (SRA), compuesta por 5 países que concentran el 50% de la superficie 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 (Figura 7). De acuerdo a estas cifras la densidad poblacional de las subregiones es de 47,6 hab./km².

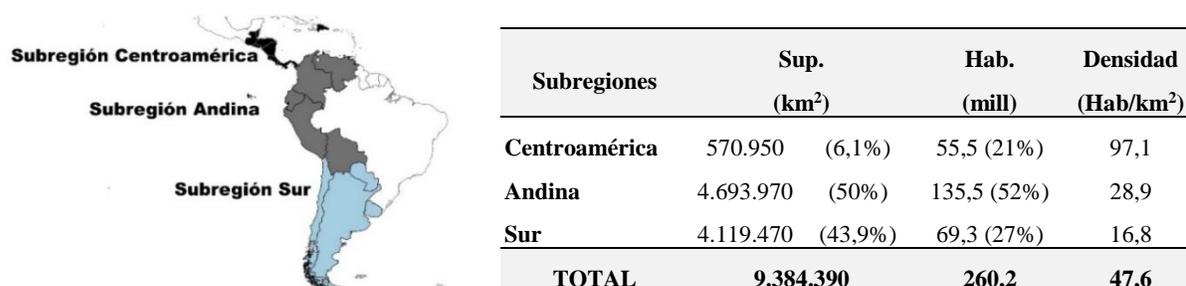


Figura 7. Superficie total y población en las subregiones de los países ALC-FONTAGRO.

La gran extensión latitudinal y variados relieves presentes en la región ALC conllevan a una amplia gama de climas y condiciones ambientales en las que se desarrollan las actividades agrícolas. Es así como, de la superficie total de la región ALC un 36% presenta condiciones de aridez (relación lluvias/evapotranspiración, de acuerdo a PNUD 1997 considerando zonas áridas desde xérico hasta húmedo). Considerando solo los países ALC Fontagro, la superficie árida total alcanza los 3.770.884 km², los cuales se concentran mayoritariamente en la Subregión Sur del continente³ (Figura 8).

² Con objeto de facilitar el análisis la región ALC ha sido agrupada en subregiones compuestas por países Fontagro, estas son la subregión Centroamérica, Andina y Sur. En este capítulo se incluye un estado del arte de los recursos hídricos y agricultura con énfasis en los países miembros de FONTAGRO en las regiones ALC. No se han incorporado en el análisis países como México, Brasil e islas del Caribe. Se ha incluido dentro de la subregión Centroamérica a República Dominicana.

³ UNESCO, 2010. "Atlas de Zonas Áridas de América Latina y el Caribe". CAZALAC. Documentos Técnicos del PHI-LAC, N°25.



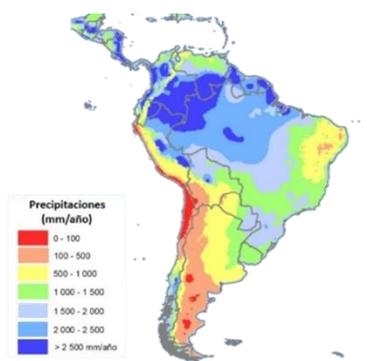
Subregión	Superficie ⁴ (km ²)	Porcentaje de la Superficie en condiciones áridas
Centroamérica	120.452	24,53%
Andina	1.158.550	60,63%
Sur	2.491.882	21,03%
TOTAL	3.770.884	

Figura 8. Superficie total y porcentaje de la superficie bajo condiciones áridas en países ALC.

En estas condiciones ambientales áridas, donde las lluvias son inferiores a la demanda ambiental, existe la necesidad de entregar aportes adicionales de riego (total o suplementario) a los cultivos si se desea obtener productividades comerciales.

3.3 FUENTES HÍDRICAS EN LOS PAÍSES ALC

Del total del agua utilizada en los países ALC, la producción de cultivos consume la mayor parte (71%), seguido de las praderas (23%), el agua doméstica (4%), uso industrial (2%) y bebida animal (1%)⁵. La región ALC en su totalidad 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 (Figura 9).



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 9. Precipitaciones promedio y volumen total disponible.

La abundante cifra promedio de precipitaciones pone en clara ventaja a la región ALC frente a otras zonas del mundo, donde los recursos hídricos son escasos y la producción de alimentos se vuelve compleja por esta razón. Sin embargo, la distribución territorial de las lluvias no es homogénea y pueden coexistir zonas con alta pluviometría y muy baja dentro de una misma región e incluso un mismo país. El caso de Chile es un buen ejemplo donde la extensa

4 Países ALC-FONTAGRO

5 Mekonnen, M.M.; Hoekstra, A.Y. National Water Footprint Accounts: The Green, Blue and Grey Water Footprint of Production and Consumption; UNESCO-IHE: Delft, The Netherlands, 2011.

distribución latitudinal del país confiere muy alta disponibilidad en la zona sur (con precipitaciones superiores a los 2.000 mm) mientras que en la zona norte (Atacama) la precipitación promedio está en torno a 0 mm y por tanto muy baja o nula disponibilidad hídrica. Así mismo, la cordillera de Los Andes, sitio de alta acumulación de recursos (nieve) frente a zonas con nulas precipitaciones en la misma latitud, evidencian los contrastes de la disponibilidad y revelan la importancia de la contar con infraestructura para la distribución, conducción y acumulación de los recursos para lograr un mayor aprovechamiento en agricultura.

Para las subregiones de ALC, los recursos hídricos renovables totales suman 9.65 millones de m³ anuales (Cuadro 2 ⁶) y la dotación media de agua por habitante es 26.557 m³/habitante/año, cifra muy superior a la media mundial de 6.000 m³/habitante/año.

Cuadro 2. 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%

En cuanto a 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 dependencias⁷. Como se advierte, la mayor dotación de recursos se ubica en la Subregión Andina y la mayor dependencia de recursos externos esta presente en la Subregión Sur. En cuanto al origen de estos recursos en promedio en la región un 80% son de origen superficial mientras que el 20% restante es de origen subterráneo (Cuadro 3). En la Subregión Sur la disponibilidad de agua de origen subterráneo (25%) es levemente mayor. Sin embargo, las complejos sistemas de acuíferos en ALC se encuentran parcialmente o no estudiados tanto en hidrodinámica e hidroquímica, caudales extraídos o contaminación. Sólo algunos acuíferos en la región cuenta con un monitoreo estricto y son gestionados de manera informada.

Cuadro 3. 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

⁶ http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/americas/index.stm.

⁷ Se entiende por dependencia externa a los recursos hídricos de cuencas compartidas con otros países.

TOTAL	7.257	80%	1.840	20%	9.097
--------------	--------------	------------	--------------	------------	--------------

3.4 SUPERFICIE AGRÍCOLA EN LAS REGIONES ALC

La mayoría de los alimentos producidos en los países ALC provienen de una agricultura realizada en condiciones de secano, la cual representa el 87% del área de cultivo⁸. Al igual que muchos lugares del mundo, en los países ALC el principal consumidor de los recursos hídricos es la agricultura frente a otros usuarios, por lo que el aporte eficiente del riego es un factor clave en el manejo del recurso. En este sentido, en las últimas décadas el incremento de la superficie bajo riego ha sido muy importante en los países ALC, a tasas superiores al resto del mundo. La superficie total acondicionada para riego alcanza las 24,4 Mha en los países ALC⁹ (incluidos Brasil, México y países del caribe), mientras que en conjunto para los países ALC-FONTAGRO (en las tres subregiones indicadas) es de 10,4 Mha, donde la subregión Andina concentra la mayor superficie (aprox. 6,5 millones de hectáreas), luego la subregión Sur 3,8 Mha y finalmente la subregión Centroamérica 1.1 Mha (Cuadro 4).

Cuadro 4. Superficie acondicionada para el riego en los países ALC.

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

i. Subregión Centro América

Esta subregión está compuesta por Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá, con una superficie total de 522.280 km², un 2,6% de la región ALC (Figura 10). La población total es de 45 mill. de habitantes, con Guatemala como el país más poblado. El Salvador presenta la menor superficie y la mayor densidad poblacional con 301 hab/km². El relieve es mayormente montañoso con zonas llanas ubicadas en las costas. El clima es principalmente tropical, suavizado por el mar, la altitud y el relieve.

⁸ Rockstrom, J.; Hatibu, N.; Oweis, T.Y.; Wani, S.; Barron, J.; Bruggeman, A.; Farahani, J.; Karlberg, L.; Qiang, Z. Managing water in rainfed agriculture. 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, 2007; pp. 315–352.

⁹ Recursos de agua por país. FAO 2014 AQUASAT, <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/queries/show.html?id=35>



Subregión	Sup.	Hab.	Densidad
Centro América	km ²	Mill.	hab./km ²
Nicaragua	130.370	6,1	47
Honduras	112.490	8,1	72
Guatemala	108.890	15,5	142
Panamá	75.420	3,9	51
Costa Rica	51.100	4,9	95
Belice	22.970	0,3	15
El Salvador	21.040	6,3	301
Rep. Dominicana	48.670	10,4	214
TOTAL	522.280	45,1	86,3

Figura 10. Países, superficies, habitantes y densidad en la subregión Centro América.

En promedio, las precipitaciones alcanzan los 2.126 mm/año, un valor alto en comparación al resto del mundo (Cuadro 5). El país con el mayor volumen generado por las lluvias (precipitaciones por la superficie de captación) es Nicaragua seguido de Honduras.

Cuadro 5. Precipitaciones promedio anuales y volumen anual de lluvias en países de la subregión Centro América.

Países Subregión	Superficie	Precipitaciones promedio	Volumen Total
Centro América	(km ²)	(mm/año)	(millón m ³ /año)
El Salvador	21.040	1.784	37.535
Belice	22.970	1.705	39.164
Guatemala	108.890	1.996	217.344
Nicaragua	130.370	2.280	297.244
Panamá	75.420	2.928	220.830
Honduras	112.490	1.976	222.280
Costa Rica	51.100	2.926	149.519
República Dominicana	48.670	1.410	68.625
TOTAL		2.126	1.252.541

A pesar que en promedio la disponibilidad hídrica en Centro América es alta, existen diferencias en la distribución temporal y espacial de los recursos hídricos entre las vertientes atlántica 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 pacífico 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. A partir de estos antecedentes, se advierten brechas en infraestructura para mejorar la administración de los recursos hídricos tanto en su distribución como en su conservación (GWP, 2017).

El Corredor Seco de Centroamérica es un ejemplo de una condición compleja en cuanto a la disponibilidad de recursos hídricos. En la zona habitan cerca de 8,6 millones de personas donde continuamente se encuentra bajo el efecto de las fluctuaciones climáticas, con períodos cada vez más largos y frecuentes de sequía estacional e importantes eventos de lluvias cuando ocurren huracanes. Se podría esperar que en los próximos 20 años, al menos ocurran entre tres a cinco eventos de sequía y un número de tormentas tropicales al menos, similares a las ocurridas en los últimos 20 años. Esta situación afecta la disponibilidad hídrica e incrementa los daños a cultivos, degrada y erosiona los suelos, provoca hambre e incrementa el riesgo a la desnutrición y a la inseguridad alimentaria (PMA-ONU, 2002).

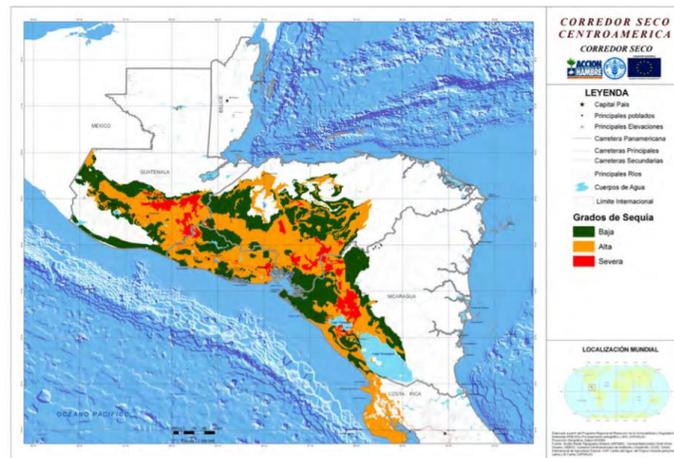


Figura 11. El corredor seco de Centroamérica y grados de sequía.

En cuanto a la dependencia de recursos externos, el país con mayor dependencia es El Salvador con un 41% de los recursos, seguido de Belice con un 30% y Guatemala con un 15% (Cuadro 6¹⁰). Esto significa una mayor importancia de los acuerdos internacionales sobre cuencas compartidas para suplir la demanda total de los países. El resto de los países no presentan dependencias mayores.

¹⁰ FAO 2014 AQUASAT, <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/queries/show.html?id=35>

Cuadro 6. Recursos hídricos renovables, disponibilidad hídrica y dependencia en la subregión Centro América.

Países Subregión Centro América	Recursos hídricos renovables (109 m ³ /año)			Disponibilidad hídrica interna (m ³ /hab)	Dependencia
	Internos	Externos	Totales		
El Salvador	15,6	10,6	26,3	2.465	41%
Belice	15,3	6,5	21,7	45.964	30%
Guatemala	109,2	18,7	127,9	7.060	15%
Nicaragua	156,2	8,3	164,5	25.692	5%
Panamá	136,6	2,7	139,3	35.352	2%
Honduras	90,7	1,5	92,2	11.195	2%
Costa Rica	113	0,0	113,0	23.194	0%
Rep. Dominicana	23,5	0,0	23,5	2.259	0%
TOTAL	660	48	708	19.148	7%

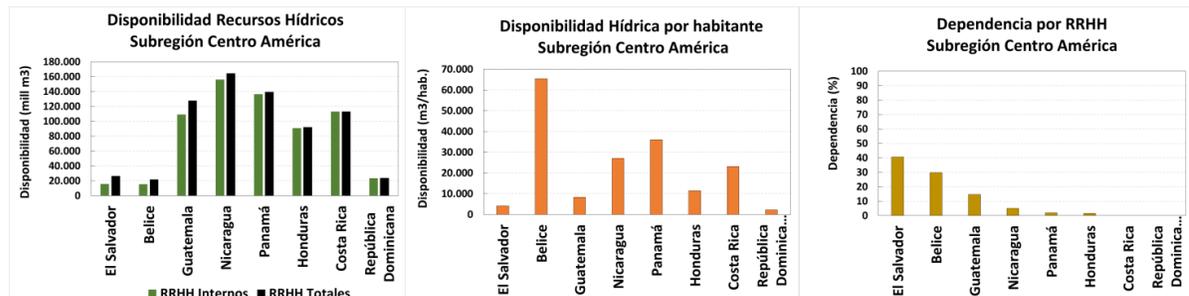


Figura 12. Disponibilidad de recursos hídricos en países región Centro América

En cuanto al almacenamiento de agua, Panamá presenta la mayor capacidad con 9 mil km³, seguido de Honduras, El Salvador y Costa Rica. En total el volumen en presas es de 20851 km³ (Cuadro 7).

Cuadro 7. Capacidad de almacenamiento en países región Centroamérica.

Países Subregión Centro América	Capacidad total de presas (km ³)
Belice	0,1
Costa Rica	1.997
El Salvador	3.879
Guatemala	0,5
Honduras	5.805
Nicaragua	32
Panamá	9.137
TOTAL	20.851

Adicionalmente, en el uso de los recursos hídricos la región muestra una clara tendencia al deterioro de la calidad del agua ya sea por contaminación, modificación de la estructura física de las fuentes de agua y/o la explotación intensiva.

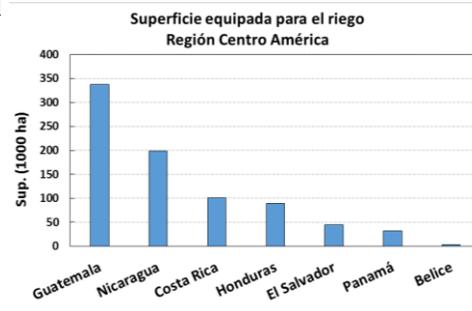
Así mismo, frente a los efectos del cambio climático se espera que en la región disminuyan las precipitaciones estacionales, las cuales se volverán más erráticas y aumenten promedio los eventos de precipitaciones extremas. Se esperan, por lo tanto que los episodios de sequía sean más prolongados en los periodos ‘Niños’ y que las lluvias sean más intensas, influidas por huracanes, depresiones tropicales y tormentas. Desde la producción agrícola, el efecto de las sequías se ve reflejado principalmente en alimentos básicos de la dieta del segmento más pobre de la población (producción de maíz y frijoles). En contraste, pero con similares resultados, los eventos extremos como huracanes y tornados, provocarán inundaciones y disminución de la productividad agrícola.

Riego en países subregión Centro América

En cuanto a la superficie equipada para el riego, la subregión Centroamérica cuenta con 1.1 Mha, donde Guatemala es el país con la mayor superficie con 338 mil ha, seguido de República Dominicana con 307 mil ha y Nicaragua con 200 mil ha. Por su parte, Belice presenta la menor superficie bajo riego con solo 3,5 mil ha (Cuadro 2).

Cuadro 8. Países, superficie agrícola y equipada para riego en la Subregión Centroamérica.

País	Sup. Total	Sup. Agrícola	Sup. equipada riego		
	(ha)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
El Salvador	2.104.000	1.584.000	75%	45.200	3%
Rep. Dominicana	4.867.000	2.352.000	48%	307.000	13%
Nicaragua	13.037.000	5.065.000	39%	199.000	4%
Guatemala	10.889.000	3.856.000	35%	338.000	9%
Costa Rica	5.110.000	1.759.500	34%	102.000	6%
Panamá	7.542.000	2.257.000	30%	32.000	1%
Honduras	11.249.000	3.235.000	29%	90.000	3%
Belice	2.297.000	160.000	25%	3.500	1%
TOTAL	57.095.000	20.268.500	35%	1.116.700	6%



ii. Subregión Andina

Esta subregión está compuesta por Bolivia, Venezuela, Perú, Colombia y Ecuador, con una superficie total de 4.693.970 km² (Figura 13). La población total es 135 Mill. de habitantes, con Colombia como el país más poblado y Ecuador con la mayor densidad de habitantes. Gran parte del territorio y de la población se ubica en la Cordillera de Los Andes y sus estribaciones.



Países	Sup.	Hab.	Densidad
Subregión Andina	(km ²)	(Mill.)	(hab./km ²)
Perú	1.285.220	30,4	23,6
Colombia	1.141.750	48,3	42,3
Bolivia	1.098.580	10,7	9,7
Venezuela	912.050	30,4	33,3
Ecuador	256.370	15,7	61,4
TOTAL	4.693.970	135,5	28,9

Figura 13. Países, superficies, habitantes y densidad, en la subregión Andina.

En cuanto al clima, este presenta gran variación longitudinal y latitudinal, marcada desde la costa pacífico sur (costa Perú y Ecuador) donde el clima es seco y hasta muy lluvioso en el extremo norte (Colombia). En la zona central, la Cordillera de Los Andes induce un clima es frío y seco por altura y finalmente la zona amazónica donde el clima es tropical, con abundantes lluvias. En el Cuadro 9 se presenta un resumen de las precipitaciones y el volumen de agua generado.

Cuadro 9. Precipitaciones promedio anuales y volumen anual de lluvias en países Subregión Andina.

Países	Superficie	Precipitaciones promedio	Volumen Total
Subregión Andina	(km ²)	(mm/año)	(millón m ³ /año)
Perú	1.285.220	1.738	2.233.712
Colombia	1.141.750	3.240	3.699.270
Bolivia (Estado Plurinacional)	1.098.580	1.146	1.258.973
Venezuela (República Bolivariana)	912.050	2.044	1.864.230
Ecuador	256.370	2.274	582.985
TOTAL	4.693.970	2.088	9.639.170

De esta subregión, el país con mayor disponibilidad hídrica interna es Colombia aunque Ecuador no presenta dependencia por recursos hídricos externos (Cuadro 10). En este sentido, la mayor dependencia por recursos hídricos externos se presenta en Bolivia (47%) y Venezuela (39%), países a los cuales entran externamente 271 y 520 10⁹ m³/año,

respectivamente (Figura 14). De este modo, la menor disponibilidad hídrica por habitante también se presenta también en ambos países.

Cuadro 10. Recursos hídricos renovables, disponibilidad hídrica y dependencia en la subregión Andina.

Países Subregión Andina	Recursos hídricos renovables (10 ⁹ m ³ /año)			Disponibilidad hídrica interna (m ³ /hab.)	Dependencia
	Internos	Externos	Totales		
Bolivia	304	271	574	17.201	47%
Venezuela	805	520	1.325	7.045	39%
Perú	1.641	239	1.880	27.062	13%
Colombia	2.145	215	2.360	50.227	9%
Ecuador	442	0	442	25.384	0%
Total	5.337	1.244	6.581	17.201	19%

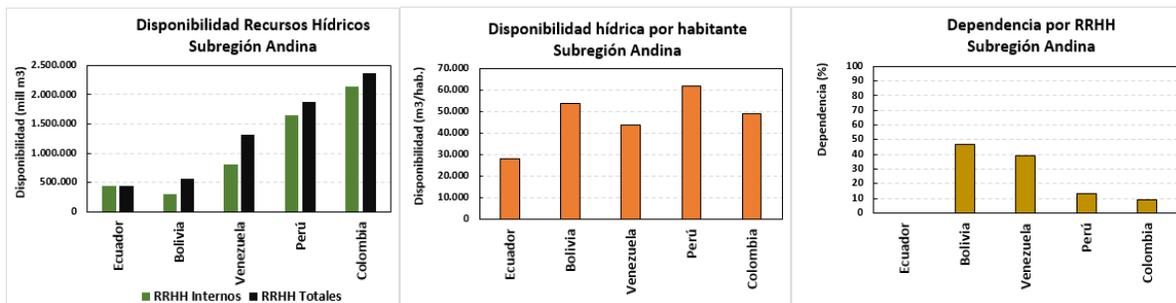


Figura 14. Disponibilidad de recursos hídricos en países de la subregión Andina.

En cuanto a la capacidad de almacenamiento de agua, Ecuador cuenta con el mayor volumen con 7.692 km³, seguido de Perú. En total el volumen en presas alcanza 13.634 km³ (Cuadro 11).

Cuadro 11. Capacidad de almacenamiento en países región Centroamérica.

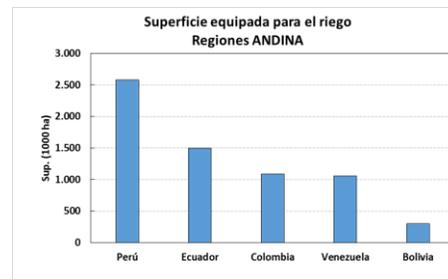
Países Subregión Andina	Capacidad total en presas (km ³)
Bolivia (Estado Plurinacional de)	0,6
Colombia	11,3
Ecuador	7.692
Perú	5.773
Venezuela (República Bolivariana)	157,6
TOTAL	13.634,5

Agricultura y riego en la Subregión Andina

En cuanto a la superficie equipada para el riego, la región cuenta con 6,5 Mha, donde Perú concentra la mayor parte con 2,6 M ha, seguido de Ecuador con 1,5 Mha ha y Venezuela con 1,1 Mha. Por su parte, Bolivia presenta la menor superficie bajo riego con solo 300 mil ha (Cuadro 12).

Cuadro 12. Países, superficie agrícola y equipada para riego en la Subregión Andina.

Países	Sup. Total		Sup. Agrícola		Sup. Riego	
	(ha)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	
Subregión Andina						
Colombia	114.174.900	44.665.600	39%	1.090.000	2%	
Bolivia	109.858.000	37.685.000	34%	300.000	1%	
Venezuela	91.205.000	21.600.000	24%	1.055.000	5%	
Ecuador	25.637.000	5.516.000	22%	1.500.000	27%	
Perú	128.522.000	23.687.000	18%	2.600.000	11%	
Total	469.396.900	133.153.600	28%	6.545.000	5%	



iii. Subregión Sur

Esta subregión está compuesta por Argentina, Chile, Paraguay y Uruguay con una superficie total de 4.121.190 km² (20% de la región) (Figura 15). La población total es 69 Mill. habitantes, con Argentina como el país más poblado y Chile con la mayor densidad de habitantes por km².



Países	Sup.	Hab.	Densidad
Subregión Sur	(km ²)	(Mill.)	(hab./km ²)
Argentina	2.780.399	41,4	14,9
Chile	756.100	17,6	23,3
Paraguay	406.750	6,8	16,7
Uruguay	176.220	3,4	19,3
TOTAL	4.119.470	69,3	16,8

Figura 15. Países, superficies, habitantes y densidad en la Subregión Sur.

El clima en esta región presenta temperaturas variables, templadas en la mayor parte, excepto en el sur de Chile, la Patagonia y la Cordillera de Los Andes donde el clima es frío (incluso

ártico en algunas zonas) y desértico como en el norte de Chile. En el Cuadro 13 se presenta un resumen de las precipitaciones y el volumen de agua generado.

Cuadro 13. Precipitaciones promedio anuales y volumen anual de lluvias en países Subregión Sur.

Países Subregión Sur	Superficie (km ²)	Precipitaciones promedio (mm/año)	Volumen Total (millón m ³ /año)
Chile	756.100	1.522	1.150.784
Argentina	2.780.399	591	1.643.216
Paraguay	406.750	1.130	459.628
Uruguay	176.220	1.300	229.086
TOTAL	4.119.470	1.136	3.482.714

En esta Subregión Sur, el país con mayor disponibilidad hídrica interna es Chile, aunque igual presenta un 4% de dependencia por recursos hídricos externos (Cuadro 14). En este sentido, la mayor dependencia por recursos hídricos externos se presenta en Paraguay (70%) y Argentina (67%), países a los cuales entran externamente 271 y 584 10⁹ m³/año, respectivamente. De este modo, la menor disponibilidad hídrica por habitante también se presenta en Argentina (Figura 16).

Cuadro 14. Recursos hídricos renovables, disponibilidad hídrica y dependencia en la Subregión Sur.

Países Subregión Sur	Recursos hídricos renovables (10 ⁹ m ³ /año)			Disponibilidad hídrica interna (m ³ /hab.)	Dependencia
	Internos	Externos	Totales		
Paraguay	117	271	388	17.201	70%
Argentina	292	584	876	7.045	67%
Uruguay	92	80	172	27.062	46%
Chile	885	38	923	50.227	4%
TOTAL	1.386	973	2.359	25.384	41%

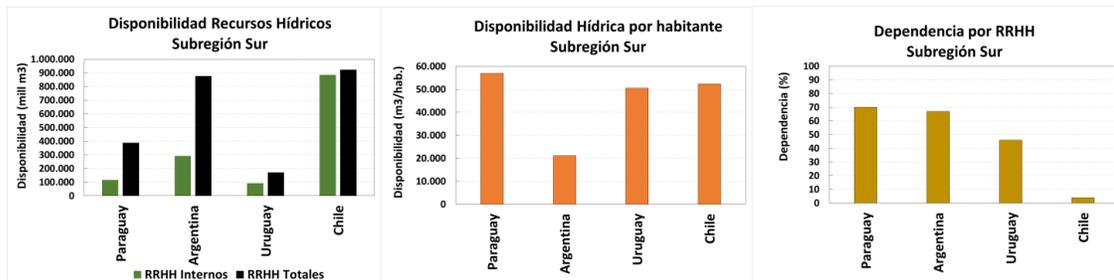


Figura 16. Disponibilidad de recursos hídricos en países Subregión Sur.

En cuanto a la capacidad de almacenamiento de agua, Argentina cuenta con el mayor volumen con 131,6 Km³, seguido de Paraguay. En total el volumen en presas alcanza 196,7 km³ (Cuadro 15).

Cuadro 15. Capacidad de almacenamiento en países Subregión Sur.

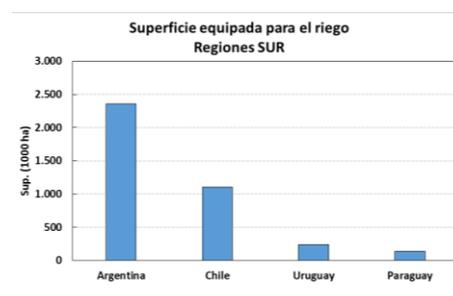
Países Subregión Sur	Capacidad total de presas (km ³)
Argentina	131,6
Chile	14,4
Paraguay	33,5
Uruguay	17,2
TOTAL	196,7

Agricultura y riego en la Subregión Sur

En cuanto a la superficie equipada para el riego, en esta región Argentina cuenta con la mayor superficie con 2,4 mill ha aproximadamente, seguido de Chile con 1,1 mill. ha. La menor superficie bajo riego está presente en Paraguay con 136 mil ha (Cuadro 16).

Cuadro 16. Países, superficie agrícola y equipada para riego en la subregión Andina.

Países Subregión Sur	Sup. Total (ha)	Sup. Agrícola (ha)	(%)	Sup. Riego (ha)	(%)
Uruguay	17.622.000	14.449.600	82%	238.000	2%
Paraguay	40.675.200	21.885.000	54%	140.000	1%
Argentina	278.040.000	148.700.000	53%	2.360.000	2%
Chile	75.670.000	15.741.800	21%	1.110.000	7%
TOTAL	412.007.200	200.776.400	49%	3.848.000	2%



4 BRECHAS TECNOLÓGICAS EN EL MANEJO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN PAÍSES ALC

De cara a los desafíos futuros y los pronósticos climáticos, el crecimiento de la agricultura en los países ALC, tanto en superficie como en productividad, dependerá cada vez más de la mejora en la eficiencia en el uso de los recursos hídricos, que puede resultar tanto de la gobernabilidad de las administraciones de los recursos, como del desarrollo científico-tecnológico para los procesos involucrados en el aporte del riego. La intensificación, la sostenibilidad, los impactos ambientales, el cambio climático y las políticas públicas, sin dudas afectarán la tasa y el curso de la expansión y de la productividad de las tierras cultivadas. Uno de los primeros problemas que se pueden relevar, es la baja eficiencia global en el riego, la cual puede estar en torno al 25% en la región ALC (Figura 17).

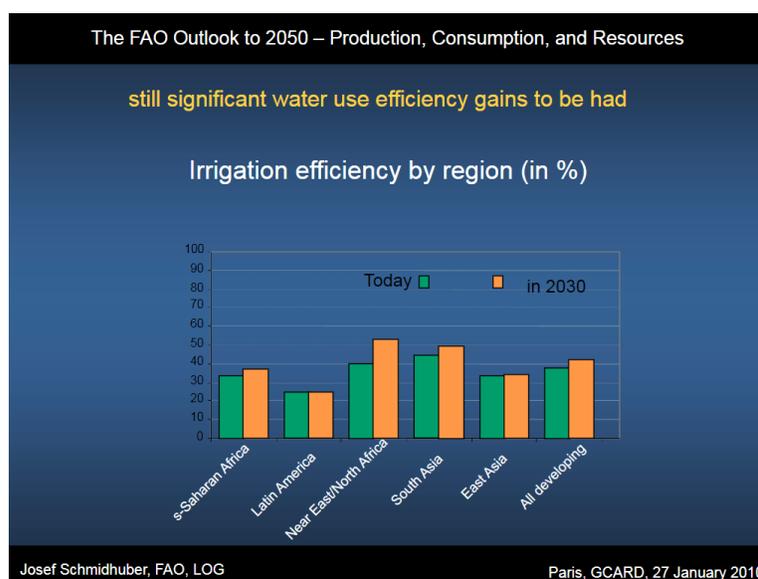


Figura 17. Eficiencia del riego en las regiones del mundo.

Como se ve los valores de eficiencia son muy bajos y deben ser incrementados si se espera aportar sustentabilidad a las actividades agrícolas. Así mismo, esta situación, unida a la alta proporción de uso de recursos hídricos que utiliza la agricultura, puede ser vista como una oportunidad para la agricultura, ya que pequeños aumentos en la eficiencia representan aumentos importantes en la eficiencia global en el uso del agua.

Como una medida básica en el uso de los insumos productivos en la agricultura (incluida el agua) se debe considerar el ajuste de la extensión de las zonas de riego 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 si se piensa en 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 aspersión y micro aspersión, unidos a los sistemas de conducción entubado y bombeo, han permitido incorporar nuevas tierras al riego, manteniendo el equilibrio en la oferta y la demanda por agua. En países ALC 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, hoy en día hay aparece otro factor de peso que 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 18. 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 asignan derechos de aprovechamiento sin tener información sobre la verdadera disponibilidad (caudal) en los acuíferos, todo lo cual 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 insipientes en las zonas históricas de secano.

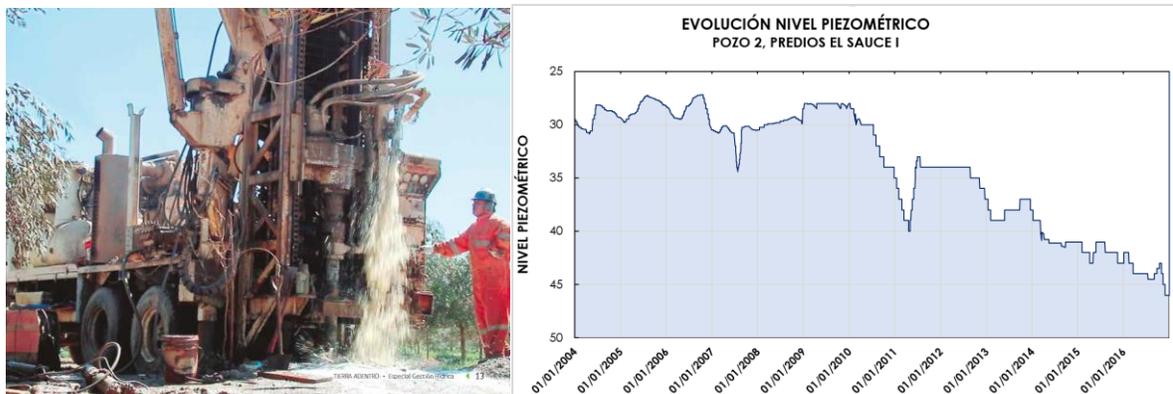


Figura 19. Instalación pozo profundo y monitoreo del nivel freático (Región de Coquimbo, Chile).

Otra brecha tecnológica se visualiza en procesos de salinización de los suelos cultivados, en especial e zonas áridas donde el riego se realiza 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 la 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 afectadas¹¹ (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 rentabilidad¹². 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 tierra¹³. 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 erosión¹⁴.

¹¹ Mahlkecht, 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.

¹² de la Torre, Abelardo (2011), *Los Problemas de Drenaje y Salinidad en el Desierto Costero Peruano*, Lima

¹³ FAO, 2014. Sistematización de prácticas de conservación de suelos y aguas para la adaptación al cambio climático.

¹⁴ CIREN, 2020. Erosión potencial y actual del territorio de Chile.

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 fertilizantes¹⁵ (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 2013¹⁶ (FAO, 2016). 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

¹⁵ 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

¹⁶ FAO, 2016. FAOSTAT, Roma. AQUASTAT, División de Tierras y Aguas.

Figura 20. 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 espacializado con objeto de entregar información a los tomadores de decisión para la planificación de la gestión de los recursos hídricos.

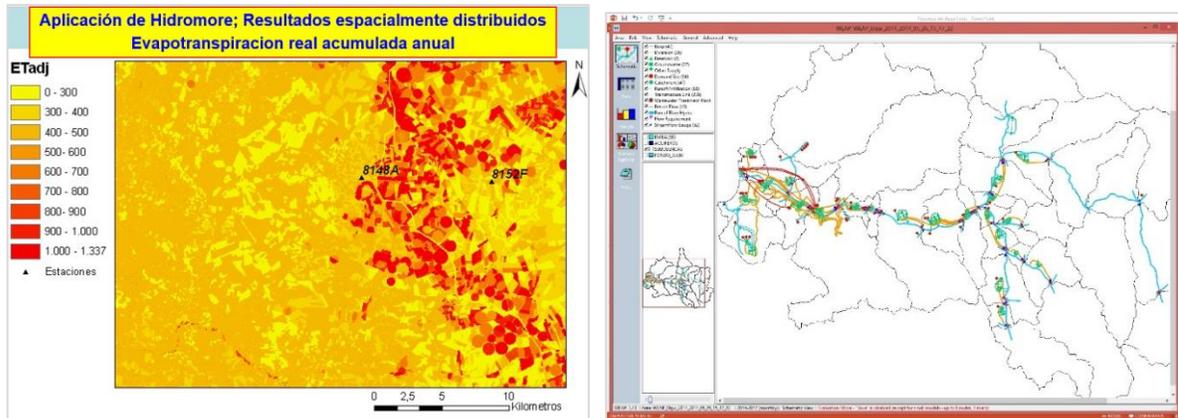


Figura 21. Modelamiento de la demanda hídrica en la cuenca del Río Elqui (Coquimbo, Chile) con modelos HIDROMORE © y WEAP.

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 pacífico 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.

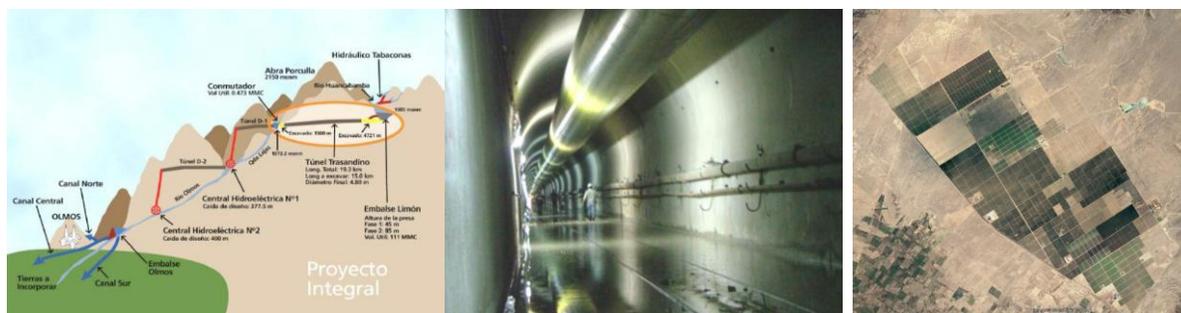


Figura 22. Esquema del proyecto, túnel trasandino, nuevas zonas de riego.

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. De este modo la supervisión de amplias zonas del territorio puede ser realizada a un bajo costo ya se 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, <http://maps.spiderwebgis.org/login/?custom=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 (Figura 23). 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.

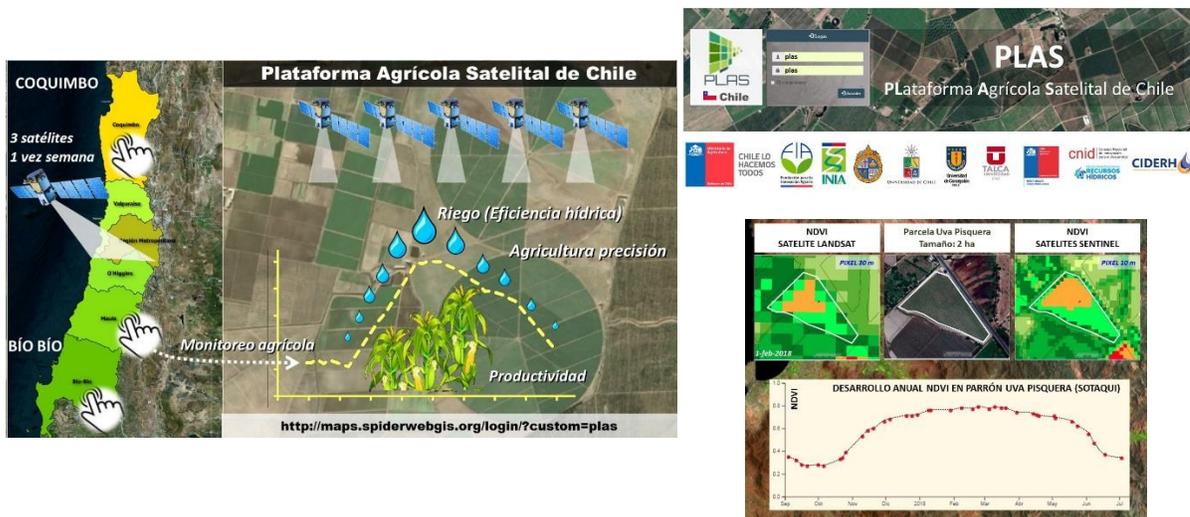


Figura 23. Esquema de metodologías para la determinación de las necesidades de riego de los cultivos basada en el uso de información satelital y registros meteorológicos.

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. La brechas tecnológicas están representadas por la falta de capacitación e infraestructura para realizar estos monitoreo 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 e parcelas.



Figura 24. Monitoreo estado hídrico interno de los cultivos, dendrómetro de tronco, cámara de presión tipo Scholander y sensor de temperatura infrarroja.

5 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. Ya se percibía en esa época 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, 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 (Santos 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.

6 ANEXO I. ANTECEDENTES RECURSOS HÍDRICOS Y AGRICULTURA EN PAÍSES LAC¹⁷

1. Expositor Dr. Daniel Prieto (INTA Argentina).



La exposición del Dr. Prieto comprendió varios temas referentes a los Recursos Hídricos en los países ALC, los cuales fueron orientados a la disponibilidad hídrica en la región y la caracterización del riego en los países ALC. Así mismo, se abordaron temas relativos a las experiencias de Redes de Profesionales del Riego similares a las propuesta en el presente Taller: La Red Iberoamericana de Riego y Drenaje y La Red y Plataforma PROCISUR. Finalmente, se dieron algunas consideraciones y sugerencias en función de las lecciones aprendidas y que pueden ser oportunas para las proyecciones futuras de la Plataforma actual.

Recursos Hídricos en los países ALC: En valores por país, la región cuenta con abundantes Recursos Hídricos que la posicionan como una importante potencia alimentaria hacia el futuro. La disponibilidad por habitante está por encima de los 1.000 m³/hab. año, con una marcada diferencia en favor a los países de america del sur en relación a los países del Caribe. El uso agrícola es el principal extractor de agua, confirmándose valores generales en torno al 70%, seguido por el municipal y el industrial, sin embargo se requiere una mirada mas detallada al interior de los países.

No obstante, existe una enorme diferencia de disponibilidades entre los países ALC. Como ejemplos se pueden indicar, la pampa húmeda y la zona árida en Argentina, el sur lluvioso y el norte seco (hiperárido) en Chile y las diferecnias entre el oeste y el este en los países de América Central (conocido como Corredor Seco). Entre las brechas se resalta también la falta de infraestructura para aprovechar grandes crecidas y descargas de los rios.

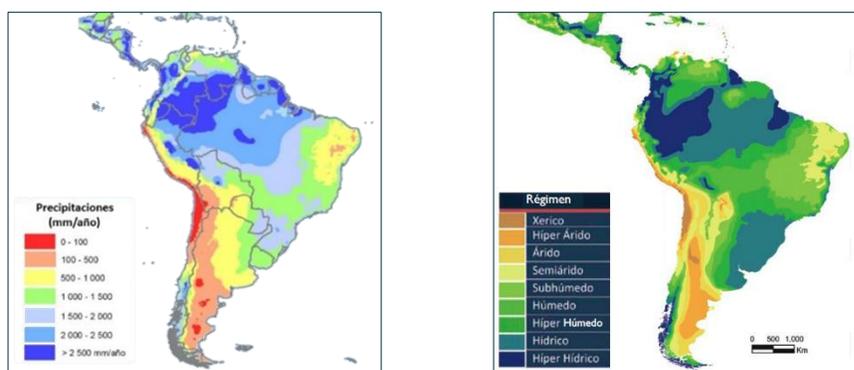


Figura 1. Mapa de precipitaciones y aridez en los países ALC.

¹⁷ Este tema es un producto del Taller por lo cual se anexa al final una versión extensa del "Estado del Arte de los Recursos Hídricos en los países ALC".

El área regada de los países de ALC es un poco mayor a las 12 M ha y solamente en 4 países el área regada supera el 50% de la superficie cultivada. El método de riego más utilizado sigue siendo el riego superficial (68-70%), seguido por el riego por aspersión (10%) y con el localizado en crecimiento pero aún un con solo 5% del área total.

Las fuentes de aguas superficiales son la principal fuente y abastecen al 82% del área. Los cultivos anuales (temporal) son los principales cultivos regados. El área potencial de riego sugiere que podría agregarse un área 4 veces superior al actual.

Experiencias de Redes de Profesionales del Riego:

La primera experiencia de trabajo grupal fue a través de la Red Iberoamericana para la gestión del agua en agricultura, riego y fertiriego, la cual fue financiada primero por CYTED (desde 2005 al 2008) y luego de manera individual (2009 – 2017). Los principales Objetivos fueron:

- Contribuir a racionalizar el uso del agua de regadío
- Contribuir a minimizar la degradación de la calidad del agua de regadío,
- Contribuir a establecer estrategias y el uso de modelos para disminuir el uso del agua,
- Contribuir al desarrollo de políticas y estrategias para la gestión sustentable de los recursos hídricos en el regadío,
- Desarrollar el intercambio de información y experiencias de buena prácticas agrícolas en regadío con la perspectiva de constituirlos en elementos integradores de políticas sectoriales transnacionales,
- Desarrollar el uso de sistemas de información y comunicación para apoyar la gestión, la educación y la sensibilización de los usuarios sobre el uso racional del agua y los fertilizantes en el regadío,
- Contribuir a mejorar el equilibrio entre la oferta y la demanda de agua, en particular en las zonas sujetas a riesgo de sequías.

Una de las cifras interesante de señalar es el número de participantes al inicio de los trabajos (año 2005) y el año final 2017.

Cuadro 1. Participantes actividades de la red año 2005 y año 2017.

PARTICIPANTES INICIALES 2005				PARTICIPANTES 2017 (MOVILIZADORES)			
País	N° Participantes	País	N° Participantes	País	N° Participantes	País	N° Participantes
Argentina	5	España	7	Argentina	44 (3)	España	46 (7)
Bolivia	2	Méjico	4	Bolivia	6 (2)	Honduras	2
Brasil	7	Paraguay	1	Brasil	22 (3)	Méjico	20 (2)
Chile	3	Perú	1	Chile	15 (3)	Nicaragua	1
Colombia	1	Portugal	6	Colombia	4	Perú	11 (1)
Cuba	3	Uruguay	1	Cuba	15 (3)	Portugal	11 (3)
Ecuador	2	Venezuela	1	Ecuador	4 (2)	Uruguay	38 (3)
El Salvador	1	TOTAL	45	El Salvador	3	Venezuela	7 (2)
						TOTAL	253 (34)

Así mismo, se indicó la alta productividad de actividades y publicaciones realizadas durante sus actividades.

Cuadro 2. Participantes actividades de la red año 2005 y año 2017.

	N°	PUBLICACIONES	
Organizadas por la Red	16	Número de libros publicados	12
Patrocinadas por la Red	12	Número de artículos publicados	230
Actividades de formación a cargo de la red o sus miembros	17	Número de papers presentados a congresos	228
Presentaciones orales	174	Número de cursos de formación, talleres, etc. organizados	19
Artículos escritos	230	Número total de asistentes a los cursos de formación, talleres, etc. organizados	769
Participantes en Workshop	589	Número de proyectos financiados	5
Participantes de empresas	76		
Participantes de actividades de formación organizadas por la Red	180		
Número de acciones de intercambio para formación avanzada	24		
Número de modelos y metodologías transferidas a través de formación	8		
Países donde se realizaron las acciones	9		

Luego se dieron cifras de la otra plataforma con actividades en riego PROCISUR (Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur). Esta es una iniciativa conjunta de los Institutos Nacionales de Investigación Agropecuaria de Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay, y el IICA creado con apoyo del BID para su formación. El Objetivo General de esta Red es fortalecer las capacidades de investigación y transferencia de tecnologías en el ámbito del riego y drenaje en los países integrantes del PROCISUR. Como objetivos específicos se plantearon:

- Promover el intercambio de información, capacidades y experiencia en temas de I&T de Riego y Drenaje
- Identificar problemáticas comunes y aumentar la masa crítica para resolverlos
- Facilitar la formulación y ejecución de proyectos de I+D Regionales
- Difundir los resultados de investigaciones y trabajos de los miembros de la red
- Articular y complementar las capacidades de la RED con otros organismos y redes

Las actividades realizadas se resumen a continuación:

País	Año	Temática, Duración, Lugar	País	Año	Temática, Duración, Lugar
Argentina	2008	Taller Riego y ambiente, Santiago del Estero	Brasil	2008	Workshop Tecnologías de información y comunicación (TIC) para la modernización de los sistemas de riego y valoración de riegos ancestrales, Florianópolis; (con RIAR)
Argentina	2010	2nd. Reunión Internacional de Riego, Manfredi, Córdoba	Brasil	2011	Simpósio de qualidade de Agua para uso na olericultura
Argentina	2012	1er Seminario Latinoamericano sobre acceso, tratamiento y uso del agua para la Agricultura Familiar.	Chile	2005	Seminario Internacional: Ultimos avances en tecnología de riego a nivel predial en los países del Cono Sur.
Argentina	2012	Congreso Mundial de Olivos. San Juan.	Chile	2013	Congreso Mundial Horticultura
Argentina	2014	Seminario sobre sustentabilidad de los recursos hídricos en el Chaco Argentino. Santiago del Estero	Chile	2014	III Reunión Internacional de Riego discontinuo/por Pulsos.
Argentina	2014	Taller sobre modelación de Cuenca Hidrográficas.	Uruguay	2006	2do Taller de la red de riego.
Bolivia	2007	Workshop Modernización de riegos y uso de tecnologías de la información, Universidad Mayor de San Andrés e IICA, La Paz, (con RIAR)	Uruguay	2010	1er Seminario Internacional: Potencial del Riego Extensivo en Cultivos y Pasturas.
Bolivia	2010	I Congreso Boliviano de Riego y Drenaje (con RIAR)	Uruguay	2013	Primer Curso/Taller de Capacitación para Operadores y Técnicos de Riego
Bolivia	2011	II Congreso Boliviano de Riego y Drenaje	Uruguay	2014	Segundo Curso/Taller de Capacitación para Operadores y Técnicos de Riego
Bolivia	2012	III Congreso Boliviano de Riego y Drenaje	Uruguay	2104	3er Seminario Internacional de Riego Extensivo en Cultivos y Pasturas, Salto.
Bolivia	2013	IV Congreso Boliviano de Riego y Drenaje	Paraguay	2009	Curso Taller Conceptos y Conceptos del Riego de los cultivos
Bolivia	2013	Seminario sobre Diagnóstico y sustentabilidad de los recursos hídricos en el Chaco boliviano Villamontes	Paraguay	2013	Seminario Taller sobre aprovechamiento sustentable de los recursos hídricos en el Chaco paraguayo. Loma Plata
Bolivia	2014	V Congreso Boliviano de Riego y Drenaje	Paraguay	2014	Seminario -Taller: Conceptos y manejo del riego en el cultivo de arroz

Como conclusiones de las experiencia ganada en el trabajo en redes se expuso:

- Que existe una marcado *interés* de los profesionales de ALC a integrarse en redes.
- Que se requiere un **grupo núcleo** que un alto compromiso para conducir, consolidar la plataforma y conducir un proyecto regional.
- Que esa *tarea* debe ser **visualizada y reconocida en las instituciones** porque requiere un tiempo extra de los investigadores.

- Que se requiere **HONESTIDAD** y **GENEROSIDAD** de los integrantes de la red, para no transformar la red en un club de “amigos”.
- Que es necesario construir **CONFIANZA** entre los mismos.

Conclusiones

- El riego tiene un alto potencial de crecimiento en ALC en base a la disponibilidad de agua y de tierras.
- Existe una alta variabilidad no solo en la relación a la disponibilidad de agua sino de la tipología de sistemas productivos, conviviendo en todos los países los sistemas campesinos de autoconsumo con los empresariales enfocados a la exportación.
- Ambas tipologías aplican niveles tecnológicos muy diferentes y disponen de una capacidad de adoptar innovaciones tecnológicas de “punta” muy diferente.
- Los riegos tecnificados son aún un bajo porcentaje de la superficie total regada, existiendo seguramente posibilidades para tecnificarlo.
- En función de las diferencias y la imposibilidad de abarcar todas las situaciones hay que definir y acordar los objetivos de la plataforma y del o los futuros proyectos.

2. Uso de modelos hidrológicos para la gestión de los recursos hídricos: Expositor Dr. Francisco Meza B. (Universidad Católica de Chile).



El Dr. Meza realizó un relato de los orígenes de la línea de trabajo que el actualmente desarrolla. Inicialmente se desarrollo un proyecto llamado “Sistema de soporte a la toma de decisiones para reducir la vulnerabilidad frente a variabilidad y cambio climático en agricultura de riego”, el cual era un Proyecto de Interés Público en el área de Energía y Aguas y la institución mandante fue la Comisión Nacional de Riego.

Los objetivos de este proyecto fueron definir La variabilidad climática interanual la cual genera incertidumbres que dificulta la planificación e impide la operación eficiente de los recursos hídricos. Frente a condiciones de cambio climático en Chile central se proyectan menos precipitaciones y más temperatura. De este modo el proyecto pretendió entender y definir la *Vulnerabilidad* como un término amplio, no sólo climática. Finalmente el trabajo se concentro en el análisis de la vulnerabilidad de la agricultura de riego frente a la variabilidad y el cambio climático. El siguiente diagrama conceptual define la vulnerabilidad

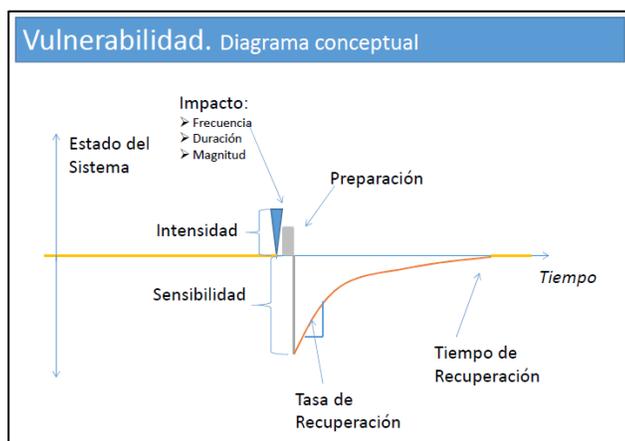


Figura 1. Diagrama conceptual de análisis de la vulnerabilidad.

Para evaluar los escenarios futuros de los recursos hídricos frente a los efectos del cambio climático se utilizan herramientas tecnológicas basadas en modelos matemáticos impelmntados en softwares. El uylitzado en este trabajo fue el modelo WEAP que permite definir parámetros hidrológicos y la distribución del agua. Para el análisis de los cultivos se utilizaron imágenes satelitales y para su tratamiento softwares como ENVI y ArcGIS.

Se calcularon Índices de Vulnerabilidad ante la variabilidad y el cambio climático, la cual se explica de acuerdo a varios factores como la hidrología / Disponibilidad de agua, las

Tecnologías de riego, el tipos de cultivo y demanda evapotransporativa, la salud de la vegetación natural, aspectos sociales y venta de producción vs costos del predio. El siguiente esquema refleja las relaciones de la vulnerabilidad establecidos en el proyecto.

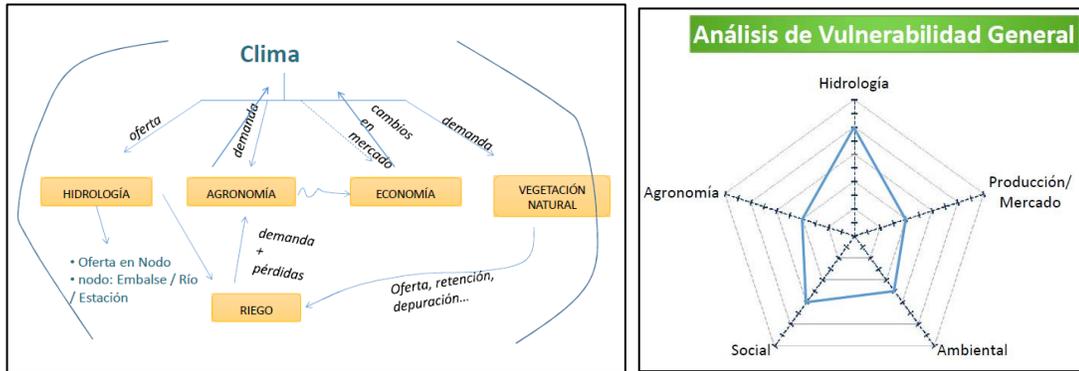


Figura 2. Diagrama conceptual de relaciones de la vulnerabilidad.

Como resultados del proyecto se presentaron índices hidrológicos haciendo énfasis en la confiabilidad, la resiliencia la falla de los sistemas hídricos evaluados.

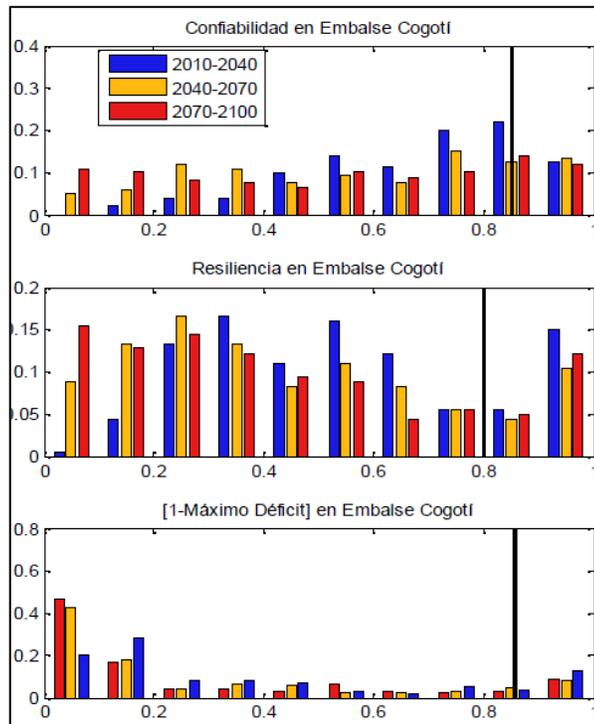


Figura 3. Índice de confiabilidad, resiliencia y máximo déficit en el sistema embalse Cogotí.

También en la charla se abordó las estrategias para la transferencia de información a los usuarios finales y los administradores de los recursos hídricos. Esta tarea siempre es compleja y se debe abordar con herramientas tecnológicas modernas como las disponibles hoy en día (TICs). De este modo se expuso la plataforma web “El Molino”, la cual en una primera etapa resolvió problemas de comunicación de la información. Lamentablemente luego no recibió apoyo para su mantenimiento y al día de hoy no está activa.

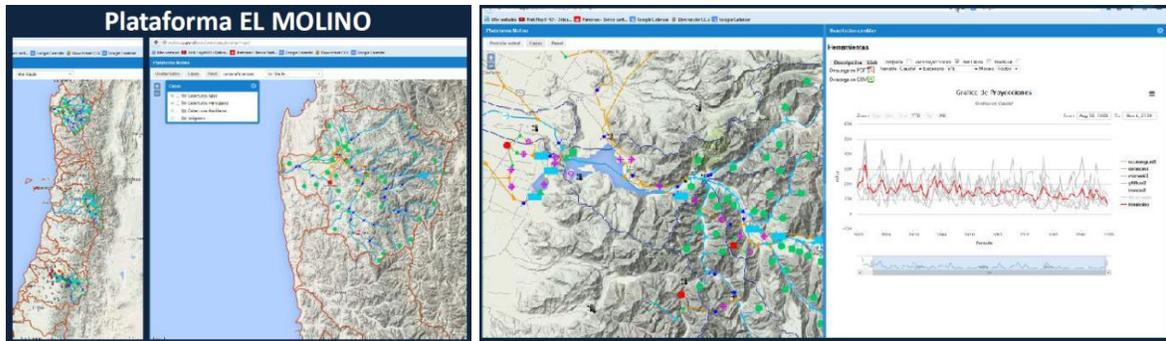


Figura 3. Plataforma web El Molino.

Conclusiones

- Las herramientas de modelación hidrológica son una opción tecnológica adecuada para entregar información a los tomadores de decisiones (administradores de los recursos hídricos) en el uso de recursos hídricos a escala regional.
- La información proveniente de imágenes satelitales permiten estimar de buena forma los usos de suelo
- Las herramientas de transferencia deben ser trabajados de manera de encontrar alojamiento y sustentabilidad de los paquetes tecnológicos hacia el futuro.

3. : Los sistemas de telecontrol de las comunidades de regantes de España. Expositora Dra. Nery Zapata (CSIC, España).



En España las primeras aplicaciones de los sistemas de telecontrol datan del año 1950 en aplicaciones médicas, industriales y ambientales. La gestión del agua agrícola se convirtió en un objetivo para los telecontroles debido a la dispersión geográfica de las redes de riego y la baja densidad de puntos de control. El primer paso fue la automatización mecánica con el riego a presión en la década de 1960 con el desarrollo de válvulas de control hidráulico. Pronto estos sistemas se combinaron con controladores electrónicos para riego en parcela usando solenoides y circuitos de control mini hidráulicos. A fines del siglo XX, los sistemas de telecontrol se instalaron en grandes fincas y en redes colectivas presurizadas.

Los objetivos técnicos eran controlar grandes redes de riego y adquirir datos para la gestión del agua. Un sistema típico de telecontrol de una red de riego está compuesto por una estación de control (PC) y una cantidad de nodos distribuidos por toda el área y comunicados con el PC. Dependiendo de la topología del sistema, algunos nodos pueden concentrar la información de otros nodos y luego reportar esta información a la estación de control (y viceversa). Los nodos están conectados a una serie de actuadores (típicamente válvulas de control hidráulico) y sensores (presión, volumen...).

En la década de 1980, el MAPAMA instaló un prototipo de telecontrol en la finca experimental de cien hectáreas del Centro Nacional de Tecnología de Regadíos (CENTER) con el objetivo de servir como demostrador de estas tecnologías incipientes (Figura 1).

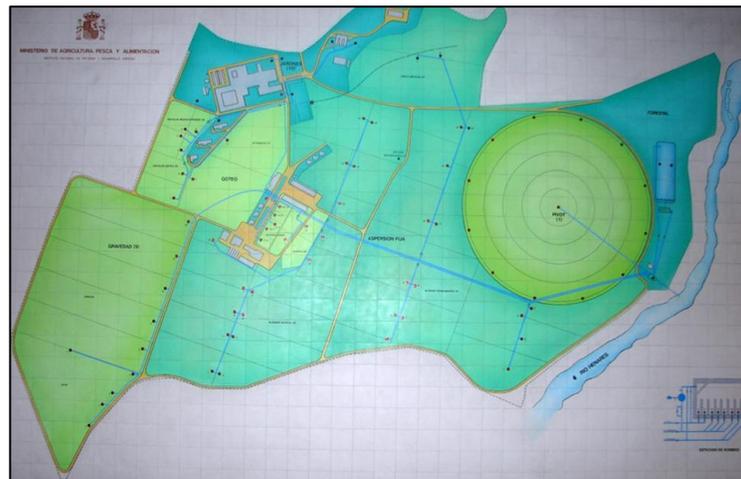


Figura 1. Mural sinóptico del telecontrol instalado en el CENTER en los años noventa del pasado siglo

A principio del siglo MAPAMA implementó planes nacionales de modernización de regadíos. Estos planes se enfocaron hacia la modernización del riego colectivo en el nivel de la comunidad de regantes, típicamente transformando redes de canales en redes a presión y construyendo balsas dentro del área regada. Como resultado, MAPAMA estimó que la modernización del riego había afectado a millón y medio de hectáreas desde el año 2000. La inversión total en infraestructura colectiva fue de 3,815 M €, respaldada por el Gobierno Nacional (46%), Gobiernos de Comunidades Autónomas (23%) y comunidades de regantes (31%). Además, los agricultores invirtieron en nuevos sistemas de riego en parcela (principalmente aspersión y goteo), contando en algunas ocasiones con subvenciones de las comunidades autónomas. Gran parte de estas modernizaciones incorporaron por iniciativa estatal sistemas de telemetría.

La aplicación de estas políticas de modernización del regadío en el siglo XXI tuvo un profundo efecto en los sistemas de riego de España. En la Figura 2 se muestra el cambio en la superficie bajo sistemas de riego tecnificados en detrimento del riego por gravedad entre los años 2002 y 2016.

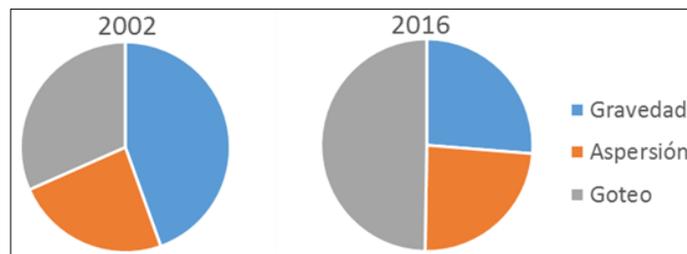


Figura 2. Evolución de la superficie del regadío español desde 2002 a 2016, así como sistemas de riego en 2002 y 2016 (Fuente: ESYRCE 2016).

Características de las Comunidades de Regantes (CCRR): En el trabajo presentado se analizaron 0.332 Mha (86 CCRR) del total de 1.0 M ha, que se estima tienen instalados sistemas de telemetría. El tamaño medio de las CCRR con telecontrol fue de 4.850 ha. Se trata de comunidades grandes dentro del conjunto de España. La dispersión en el tamaño fue muy grande desde 180 ha a 42.000 ha. El riego por goteo y aspersión son mayoritarios e igualmente importantes en las comunidades con telemetría y sólo un 5% tenía telecontrol para el riego por gravedad. Entre los cultivos analizados predominaban los extensivos (51%) y el otro 49% correspondía a frutales, viña, hortícolas y olivo. La mayor parte de estas redes fueron de iniciativa estatal (57%), donde las comunidades autónomas financiaron un 30% de las obras analizadas. El coste de las redes fue de menos de 6.000 €/ha (un 42%).

La forma en que funcionan los telecontroles es que el 68% cubren la red principal más los hidrantes, el 24% gestiona las válvulas de los sectores de riego dentro de las parcelas de los agricultores y el 8% restante sólo gestiona la red de distribución principal, sin llegar a los hidrantes. La principal forma de comunicación de los telecontroles es vía radio (un 46%), mientras que un 24% usa la red de telefonía móvil y un 20% usa cable. En las redes entregadas desde 2005 la red móvil sube al 29% mientras que el cable baja al 16%. Un telecontrol típico tiene unas 50-200 estaciones remotas y controla entre 200 y 1.000 válvulas. En el 58% de los casos las remotas se alimentan con batería y un panel solar. Las capacidades básicas de los telecontrol incluyen apertura y cierre de válvulas, lectura de contadores y lectura de presión. Además, los sistemas permiten enviar una variedad de alarmas a la estación de control. El coste

del telecontrol fue de media entre 200-250 €/ha, aunque la dispersión en los costes apuntados por los encuestados fue muy importante.



Figura 3. Sistemas de antenas de comunicación, consolas y válvulas en un Telecontrol típico. Del total de usuarios de los sistemas descritos, el 71% de las comunidades encuestadas declaró usar el sistema diariamente durante la temporada de riegos, un 8% no le da ningún uso y un 11% hace un uso escaso. Así mismo, el 68% de los encuestados usa el telecontrol para leer los contadores y un 55% factura usando las lecturas del telecontrol.

Al momento de realizar el estudio el 88% de los ordenadores centrales del telecontrol funcionaban y en el 20% de las comunidades el telecontrol no puede abrir más del 50% de los hidrantes. Sólo el 41% de las comunidades declara que todos los hidrantes se pueden abrir desde el telecontrol. La situación se repitió para la lectura de los contadores o de los sensores de presión. A pesar de la elevada satisfacción con el sistema de telecontrol, ante preguntas concretas, los resultados muestran que queda bastante recorrido para disponer de sistemas que controlen la totalidad de la red de forma fiable.

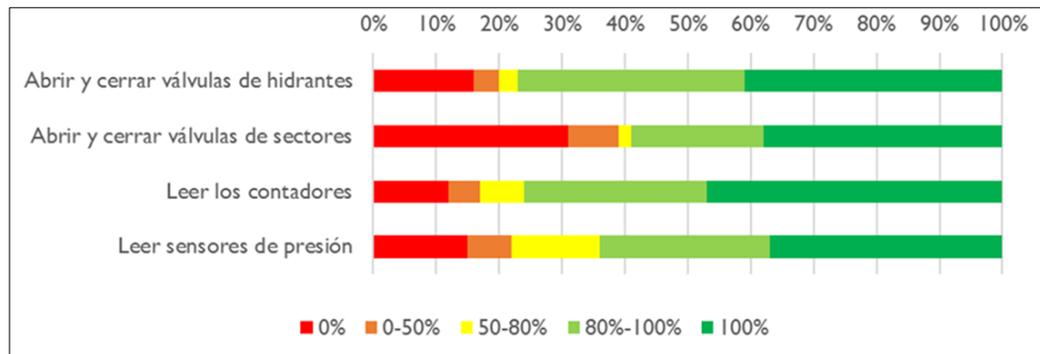


Figura 4. Porcentaje de problemas en la operación de los telecontroles.

Así mismo se identifica que la importancia de los problemas más limitantes son: las comunicaciones, el funcionamiento de las remotas, la baja fiabilidad en la lectura de los contadores, la falta de capacidad para resolver los problemas de la comunidad, la dificultad de uso del software y la baja fiabilidad en la operación de las válvulas.

Sin embargo, la visión de los financiadores de los telecontroles (gobiernos y comunidades de regantes) es bastante coincidente: ambos hacen un análisis crítico desde una opinión general muy positiva del camino recorrido. Los telecontroles han resultado útiles para conservar agua y energía en las comunidades de regantes. Esto ha llevado a un aumento en la renta de los regantes y han supuesto un progreso hacia una gestión transparente y responsable, la adopción de indicadores de rendimiento de la red de riego, una mayor capacidad de las comunidades para responder a los cambios y la implementación de restricciones volumétricas para los usuarios.

Los futuros problemas que se vislumbran están asociados a limitaciones técnicas en los sistemas instalados: obsolescencia rápida, falta de interoperabilidad y estandarización, comunicaciones inestables y dependencia del fabricante. En estos últimos años el MAPAMA está trabajando en la elaboración de una norma ISO que regule la interoperabilidad de los telecontroles. La importancia de aumentar la capacidad de gestión de la energía del bombeo (incluyendo la incomunicación entre el telecontrol de la red y el del bombeo), las dificultades para gestionar en el telecontrol la expansión de la red. Así mismo, faltan aplicaciones que transformen los datos del telecontrol en información útil para los regantes y los gestores y transformar el big data en herramientas de gestión.

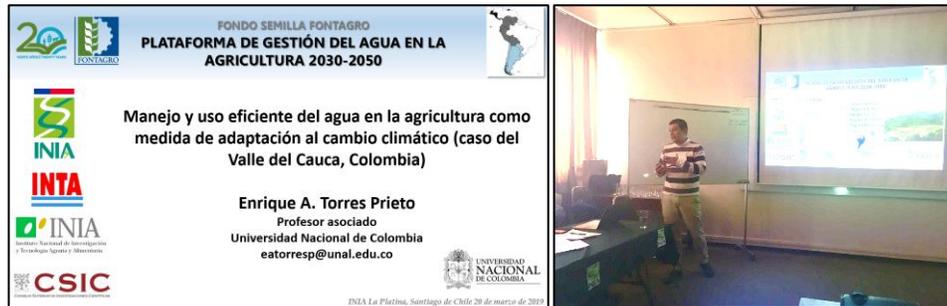
Proyecciones

- **En el futuro la gestión centralizada del riego generalizará un enfoque sistemático de la programación del riego y la eficiencia del uso del agua y de la energía, liberará a los agricultores de actualizar sus programadores de riego (de hecho, los agricultores no necesitarán programadores en sus parcelas) y puede servir para implementar técnicas complejas como el riego deficitario controlado.**
- **Las bases de datos agrometeorológicas están llamadas a tener un efecto sinérgico con los sistemas de telecontrol cuando se trata de centralizar el riego en la comunidad. Para ello, es indispensable que la red SIAR y las redes de otras comunidades autónomas dispongan de APIs que permitan a las aplicaciones de programación y ejecución de riegos un acceso automático a la información agrometeorológica a tiempo real.**
- **Por otro lado, en los últimos años se están generalizando o desarrollando sensores importantes para la gestión del riego. Este es el caso de los sensores de viento, de humedad del suelo o de estado hídrico de las plantas. Estos sensores deben conectarse a los telecontroles para producir información espacialmente distribuida a tiempo real sobre el estado del agua y la eficiencia esperada del riego**

Conclusiones

- **La mejora de la gestión del riego necesita las utilidades que ofrecen los telecontroles.**
- **Este proceso es ahora lento.**
- **La conjunción de elementos de información produce oportunidades sin precedentes que ayudan a abordar los nuevos retos: elevado coste eléctrico, control de especies invasoras, adaptación al cambio global.**
- **Es preciso avanzar por la vía de la programación automática para obtener valor añadido de las tecnologías que ya están presentes en el campo.**

4. Manejo y uso eficiente del agua en la agricultura como medida de adaptación al cambio climático (caso del Valle del Cauca, Colombia). Dr. Enrique A. Torres Prieto (Universidad Nacional de Colombia).



La Universidad Nacional de Colombia fue fundada en 1867 y cuenta con 2700 profesores de planta 2700, 51000 estudiantes y cuenta con cuatro sedes de presencia nacional (Bogotá, Medellín, Manizales y Palmira) y cuatro sedes de frontera (amazonas, caribe, arauca y tumáco).

Según el El IDEAM (2015), las proyecciones de cambio climático para la zona de estudio en el Valle del Cauca para el 2040, 2070 y 2100 no presenta cambios en precipitación (rango entre -10% a 10% en precipitación), sin embargo si presenta un incremento gradual en temperatura, llegando a un incremento de 3.6 grados centígrados.

La agricultura colombiana esta compuesta principalmente por café, caña de azúcar, flores, pastos (ganadería), palma de aceite y hortalizas. El uso eficiente del agua en la agricultura enfrenta varios problemas como la falta de información para el agricultor, riego por programación (administrativo), riego al “ojo”, tecnologías poco eficientes, diferentes escalas de agricultura, agricultura poco rentable, cambio climático y el conflicto armado (acuerdo de paz numeral 1.3.1.2 infraestructura de riego)

Para enfrentar estos desafíos, en la UNC se está trabajando en generar una infraestructura de estaciones meteorológicas para la entrega de información para determinar la demanda ambiental (ETo) y la posterior programación del riego. En este mismo sentido, la determinación mediante radiometría y fotografía el Kcb de cultivos no listados en FAO-56 y que son de importancia en la región. También se esta abordando la determinación de la ETo dentro de casas de malla para realizar una adecuada estimación de las necesidades hídricas de los cultivos. Esta técnica está tomando fuerza en la región por el control de insectos y la reducción de agroquímicos.



Figura 1. Instrumentación para la determinación de la demanda ambiental y coeficientes de cultivo para el riego de cultivos en parcelas experimentales.

Así mismo, la UCN está trabajando en proponer alternativas de medición de las concesiones de agua superficial ya que algunos ríos tiene concesionado más 300% de su caudal. Uno de los principales problemas que se detecta es la falta de tecnologías para el monitoreo y control de las extracciones que aunque es una obligación por la ley, no se cumple ni se superviza.



Figura 2. Trabajos de control y registro de caudales en el valle del Cauca.

Los trabajos de modelación de ciclos hídrológicos también se están implementado para estimar las zonas de recargas y la evaluación de coberturas, manejo y movimiento de agua en el suelo: El modelo seleccionado es el SWAT, el cual permite la determinación de la oferta y consumo de agua a escala regional. Se perfilan hacia el futuro trabajos de cuantificación de servicios ecosistémicos relacionado con los recursos hídricos.

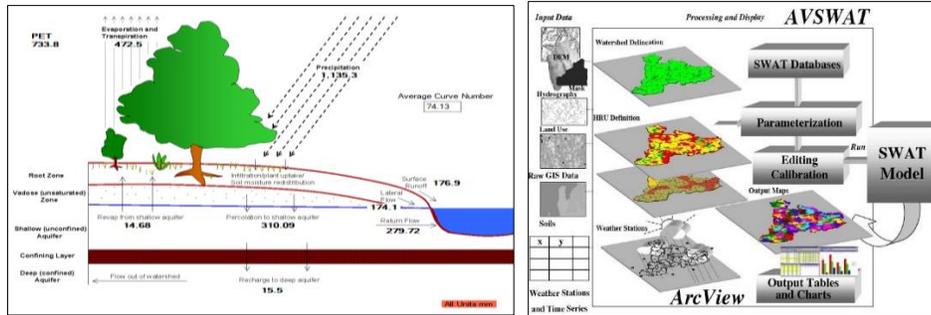


Figura 3. Esquema de análisis de la información con modelos hidrológicos tipo SWAT.

Conclusiones:

- Se identifican falencias básicas en el manejo de los recursos hídricos para la agricultura dada la baja cultura del riego que existe en el Valle de Cauca debido a que el aporte de precipitaciones definen una agricultura principalmente de secano. No obstante, hoy en día se aprecian necesidades de riego en ciertas etapas de los cultivos, las que deben ser repuestas a través del aporte de riego.
- La infraestructura para definir la demanda ambiental es fundamental para implementar metodologías para la programación del riego tipo FAO 56. Hoy en día la red de estaciones es de baja densidad.
- No existe información de coeficientes de cultivo (Kc) para ciertas especies con importancia económica en Colombia y por tanto deben ser definidas por las instituciones de investigación.
- El control de la distribución de recursos hídricos es precaria y se debe trabajar en los registros y controles para lograr una distribución sustentable.

5. Uso de información satelital para el manejo eficiente del riego: Plataforma PLAS. Expositores Dr. Claudio Balbontín / Dra. Magali Odi:



El proyecto Plataforma Agrícola Satelital de Chile (PLAS) es un esfuerzo por modernizar las herramientas de análisis y supervisión de la agricultura nacional. Especialistas en riego y recursos hídricos del Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Universidad de Chile, Universidad de Talca, Universidad de Concepción y Pontificia Universidad Católica de Chile y el financiamiento de la Fundación para la Innovación Agraria de Chile (FIA), se han agrupado en un consorcio para integrar un trabajo colaborativo para el desarrollo de la Plataforma.



Figura 1. Consorcio de riego compuesto por especialistas de las instituciones de investigación agrícola de Chile.

El Proyecto PLAS esta compuesto por dos proyectos paralelos y en desarrollo, el primero llamado “Plataforma Agrícola Satelital (PLAS) para la definición de los requerimientos hídricos de los cultivos” en el cual se trabaja la disponibilidad de información satelital para el seguimiento del desarrollo de los cultivos y el análisis de las necesidades de riego. El segundo es el proyecto “Mapa dinámico a escala diaria de la Evapotranspiración de Referencia (ETO) para determinar las necesidades de riego en Chile”, en el cual se trabaja la implementación de metodologías para trabajar la espacialización de la información de la demanda ambiental registrada por estaciones meteorológicas disponibles en Chile. En la siguiente Figura se muestra un diagrama de conceptual de ambas iniciativas



Figura 2. Diagrama conceptual de las iniciativas integrantes de la “Plataforma Agrícola Satelital de Chile (PLAS)”.

Al día de hoy, la plataforma PLAS cuenta con las series temporales de imágenes satelitales de los programas Landsat y Copernicus (Sentinel). De este modo se cuenta con capacidad para analizar el desarrollo de los cultivos desde el norte del país (región de Coquimbo) y el sur (región de Bio Bio).

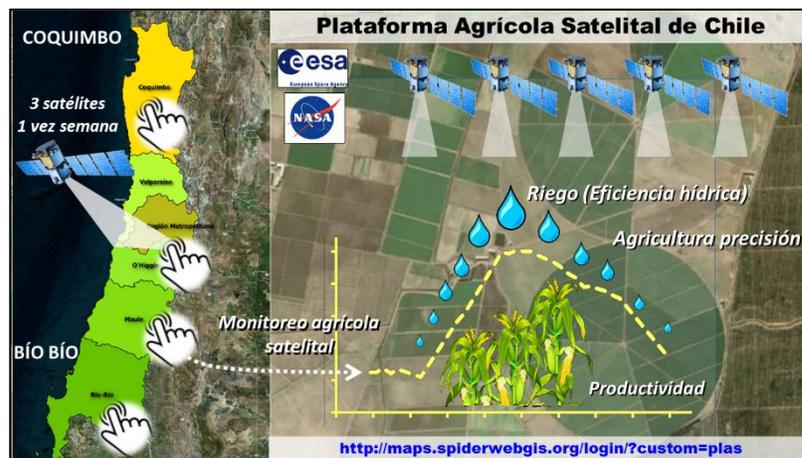


Figura 3. Cobertura geográfica de la “Plataforma Agrícola Satelital de Chile (PLAS)”.

La resolución temporal (frecuencia de disponibilidad de imágenes) varía en las zonas geográficas del país ya que la presencia de nubes en la zona sur disminuye su utilidad. Esta situación se ha mejorado con el uso de “constelación de imágenes” donde los dos satélites Sentinel (2A y 2B) más el Landsat 7, permiten contar con una serie temporal adecuada para el seguimiento del desarrollo de los cultivos.

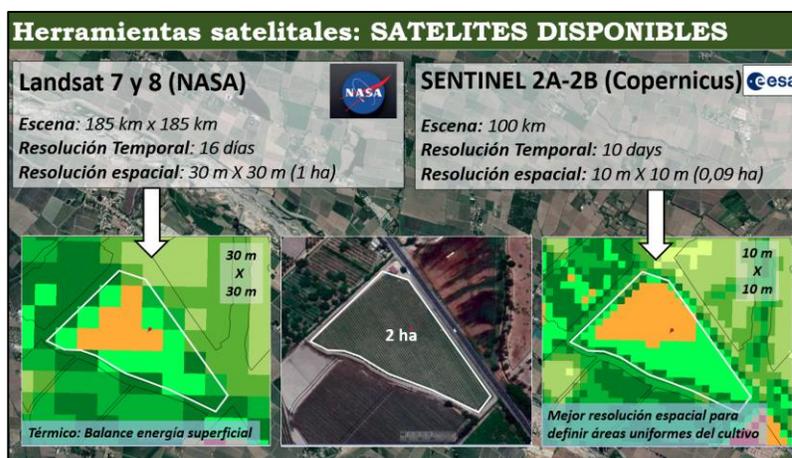


Figura 4. Satélites disponibles en la plataforma “Plataforma Agrícola Satelital de Chile (PLAS)”.

De modo contrario, en la zona norte de Chile la baja presencia de nubes permite contar con una alta disponibilidad de imágenes y dar seguimiento al desarrollo de los cultivos. Esta situación permite caracterizar el desarrollo vegetativo de los cultivos, lo cual es de mucho interés para el manejo agronómico del riego.

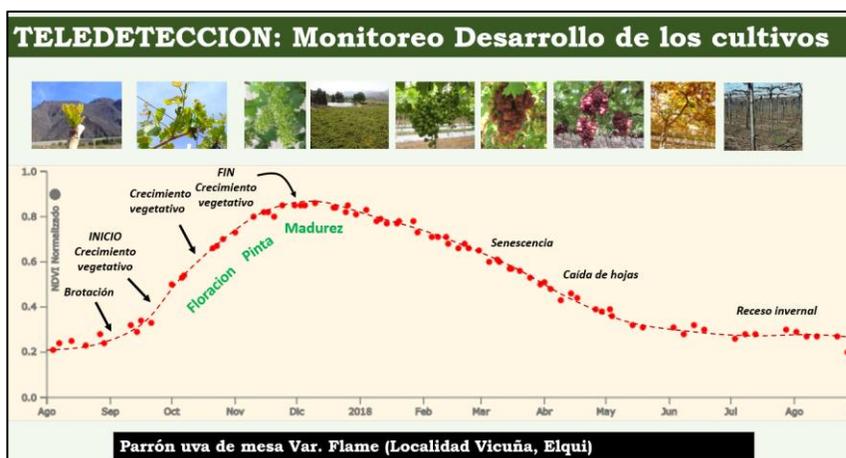


Figura 5. Evolución del desarrollo vegetativo de un parrón de uva de mesa en la localidad del Valle del Elqui a través del índice NDVI obtenido de imágenes satelitales.

Otra de las grandes ventajas del uso de información satelital es la precisión con la que se puede ajustar el manejo del riego de los cultivos, ya que permite diferenciar entre especies y variedades con desarrollo estacionales muy diferentes pero como no existen herramientas para su diferenciación son normalmente manejados con criterios similares. En la siguiente Figura se muestra el desarrollo de vid de mesa, aguardiente (pisquera) y frutales perennifolios como son los cítricos y olivos.

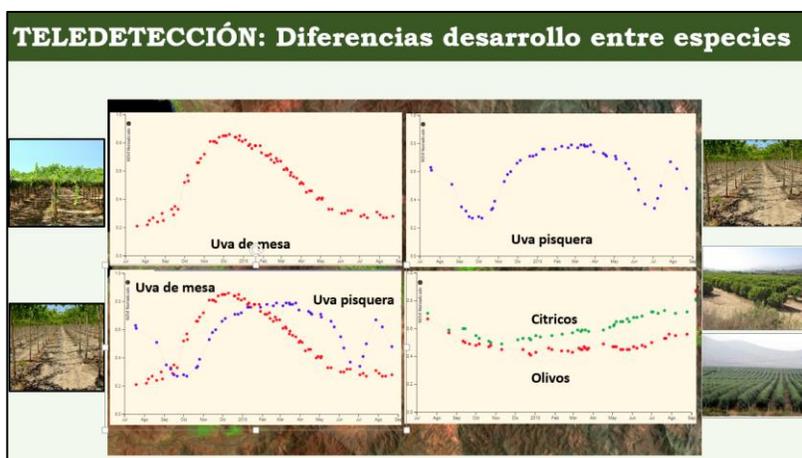


Figura 6. Evolución comparativa del desarrollo vegetativo de vides de uva de mesa y de aguardiente (pisquero), cítricos y olivos.

La definición de la variabilidad espacial de los cultivos es una de las bases de la agricultura de precisión. El uso de herramientas salteliales permiten trabajar estos aspectos a un precio muy económico comprado con otras herramientas de precisión como puede ser el vuelo con drones. Generalmente, la variabilidad espacial observada dentro de una parcela corresponden a diferencias asociadas al tipo de suelo y a la capacidad de retención de humedad. Esto tiene su origen en que los sistemas de riego presentan una descarga uniforme y no consideran las diferencias edáficas presentes. La expresión vegetativa del cultivo posteriormente termina de revelar estos aspectos. A partir de este diagnóstico se pueden establecer enmiendas y manejos agronómicos específicos para el riego orientados a disminuir dicha variabilidad espacial.

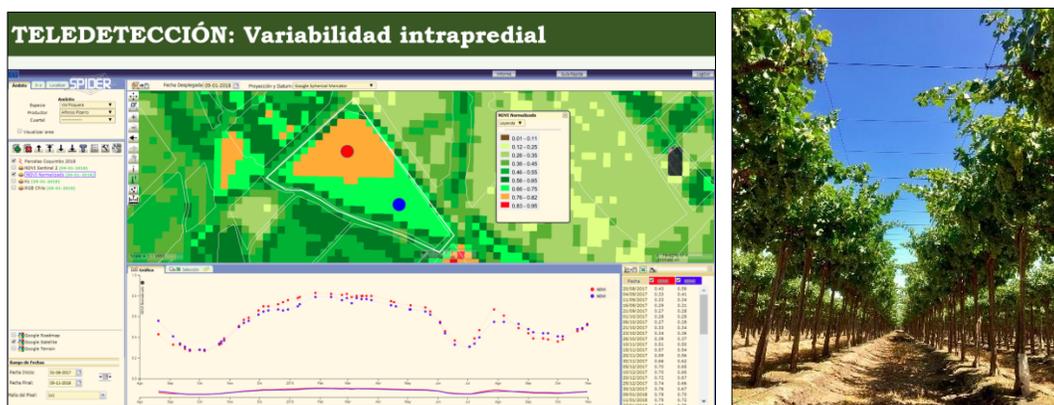


Figura 7. Variabilidad espacial en un cultivo de uva para aguardiente (“parrón pisquero”) desarrollado en la localidad de Sotaqui (región de Coquimbo).

Las diferencias entre variedades también pueden ser definidas a través de la evolución anual del índice de vegetación. De este modo es posible establecer programas de manejo específicos por variedad y edad del cultivo.

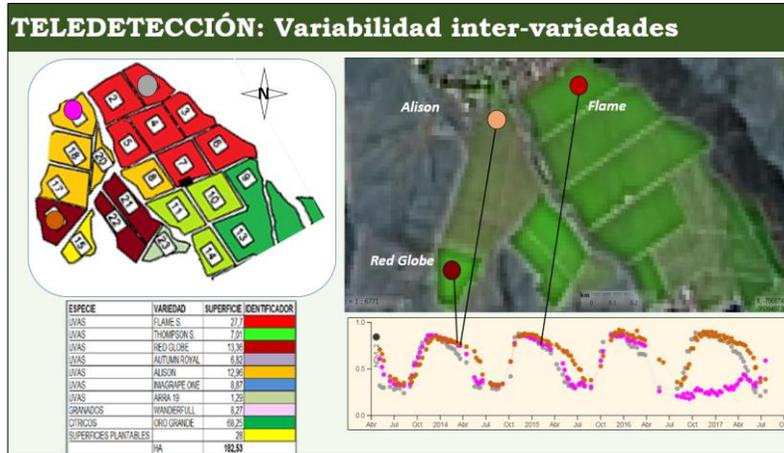


Figura 8. Evolución temporal del índice de vegetación NDVI en un campo con uva de mesa de diversas variedades y edades.

Tradicionalmente, la demanda de riego de los cultivos se obtiene utilizando la metodología propuesta por FAO y detallada en su Manual N°56 (Allen et al., 1998). En esta metodología se considera el uso de un coeficiente de cultivo (K_c), relacionado con el desarrollo y tasa de transpiración del cultivo, y de valores de la demanda ambiental (evapotranspiración de referencia, ETo) estimada a partir de registro meteorológicos de la zona donde se desarrolla el cultivo. Esta metodología ha sido validada en muchas condiciones. El problema es que tradicionalmente los valores de K_c son obtenidos de la literatura y no reflejan necesariamente las condiciones reales de un cultivo en las condiciones locales donde se desarrolla. En este proyecto, el uso de información satelital permite obtener valores de K_c a partir de la información contenida en el índice de vegetación NDVI. A través de trabajos científicos el ajuste de la relación entre el NDVI y el K_c ha sido establecida.

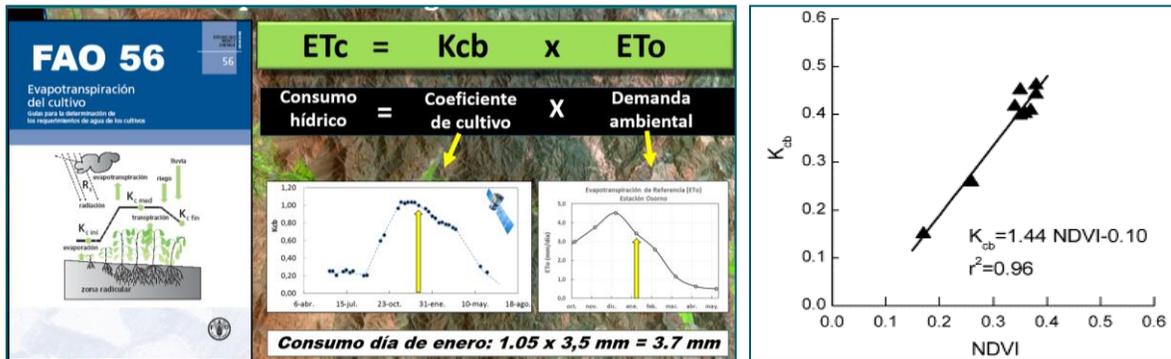


Figura 9. Marco conceptual del manejo del riego asistido por satélites (Manual FAO N°56) y ajuste entre el índice de vegetación NDVI y el coeficiente de cultivo (K_c) (Campos et al., 2010¹⁸).

En este momento, en el proyecto se están haciendo trabajos de validación en campos pilotos con diversos cultivos, donde se analizan los aspectos mencionados anteriormente, como la variabilidad espacial y la fenología de los cultivos, además del análisis de la edafología que

¹⁸ Campos et al., 2010. Assessing satellite-based basal crop coefficients for irrigated grapes (*Vitis vinifera* L.). Agricultural Water Management 98(1):45-54

afecta directamente la agronomía del riego. Así mismo, al final de las temporadas agrícolas los énfasis se hacen la productividad de los cultivos, la productividad del agua y la eficiencia de uso del recurso hídrico.



Figura 10. Aspectos de transferencia y difusión de las herramientas satelitales para el manejo del riego.

Para asegurar la interacción entre los usuarios y la información disponible, se ha implementado una plataforma on line donde cualquier persona puede hacer consultas y descargar la información referente al índice de vegetación y su evolución temporal.



Figura 11. Portal web de la Plataforma Agrícola satelital PLAS.

Conclusiones

La puesta en marcha de una plataforma satelital para la agricultura permite entre otras cosas:

- **Posibilidad de analizar cualquier campo en el territorio**
- **Operativo para cualquier tipo de cultivo: anuales, caducos, perennes**
- **Riego preciso por cuartel, variedad, condición real del cultivo**
- **Ajuste de la temporada de riego al ciclo real del cultivo**
- **Maximizar producción y calidad**
- **Programar con tiempo el riego**
- **Identificación de zonas con vigor y evolución diferente del cultivo**
- **Herramientas útiles para el monitoreo y la productividad de zonas de secano (praderas ganaderas).**

www.fontagro.org

