

MANEJO SOSTENIBLE DEL AGUA PARA RIEGO EN SUDAMÉRICA



EDITORES:

Alicia Fernández Cirelli

Eduardo Holzapfel

Ivan del Callejo

Max Billib

Proyecto KASWARM

Knowledge Assessment on Sustainable Water Management for Irrigation
Contribución al conocimiento del manejo sostenible de recursos hídricos para riego

MANEJO SOSTENIBLE DEL AGUA PARA RIEGO EN SUDAMERICA

Editores:

Alicia Fernández Cirelli
Eduardo Holzapfel
Ivan del Callejo
Max Billib



SIXTH FRAMEWORK PROGRAMME
PRIORITY [INCO-2004-A.2.3]
[Managing arid and semi-arid ecosystems]

FONCYT
FONDO PARA LA INVESTIGACION
CIENTIFICA Y TECNOLOGICA



AGENCIA
NACIONAL DE PROMOCION
CIENTIFICA Y TECNOLOGICA



Facultad de Ciencias
VETERINARIAS
Universidad de Buenos Aires

ISBN: 978-987-25074-1-1

mayo, 2009

INDICE

PRÓLOGO	1
GRUPOS DE TRABAJO	9
SISTEMAS DE RIEGO	13
GESTIÓN DEL RIEGO	27
ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS E INSTITUCIONALES DEL RIEGO	41
ASPECTOS AMBIENTALES DEL RIEGO	67
ESTUDIOS DE CASO	
ESTUDIOS DE SUSTENTABILIDAD DE LOS SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEO EN ARÁNDANOS EN EL NORTE DE BUENOS AIRES	95
LA CUENCA DEL RÍO MENDOZA, ARGENTINA	119
IRRIGAÇÃO NO SEMI-ÁRIDO DA BAHIA: O PROJETO DE IRRIGAÇÃO DE PONTO NOVO	137
USO APROPRIADO DOS RECURSOS HÍDRICOS PARA IRRIGAÇÃO. ESTUDO DE CASO: REGIÃO DE MOSSORÓ-RN	153
IDENTIFICACION DE LOS PROBLEMAS QUE AFECTAN LA SOSTENIBILIDAD DE LA AGRICULTURA BAJO RIEGO EN EL VALLE DE PUNATA	165
CASO DE ESTUDIO: EL VALLE DE PEUMO, CHILE	175

PROLOGO

La producción mundial de alimentos depende de la disponibilidad de agua, un recurso precioso pero finito. Hoy en día, la agricultura bajo riego se aplica en el 20% de las cosechas, y genera el 40% del total de alimentos producidos. La agricultura bajo riego es responsable del uso del 70% de agua en el mundo, y un porcentaje mayor se usará en el futuro, ya que la producción mundial de alimentos aumenta continuamente para atender una demanda siempre creciente. El desafío para la agricultura bajo riego es contribuir a la producción mundial de alimento y mejorar la seguridad alimentaria a través de un más eficiente, limpio e integrado uso del recurso agua. En muchos países en desarrollo, el crecimiento de la economía rural es crucial para el crecimiento económico general. La producción de alimentos continúa siendo la actividad principal, sobre la que se basa en gran parte el crecimiento económico, su diversificación y desarrollo. Esto requiere el manejo sustentable de los recursos hídricos y un uso más eficiente, en particular en agricultura, el mayor usuario de agua dulce.

En muchos países, en particular en Latinoamérica, la presión socioeconómica para aumentar la producción agrícola entra en conflicto con el cuidado del medio ambiente y los recursos naturales. La intensificación de la producción agrícola en regiones áridas y semiáridas involucra actividades tales como riego, fertilización, y control de malezas con productos orgánicos e inorgánicos. Estas actividades asociadas con un manejo inadecuado y una falta de conocimiento acerca de los requerimientos de las cosechas y la forma de aplicación de los productos, puede producir contaminación. Sin embargo, se han realizado investigaciones que demuestran que los problemas de contaminación derivados de procesos agrícolas pueden ser minimizados cuando se mejora la captación de agua por las raíces de las plantas, y cuando los productos químicos, nutrientes y agua se entregan en el lugar correcto, en la cantidad adecuada, y en el momento preciso. La necesidad de nuevas soluciones a partir de la ingeniería, el gerenciamiento y los aspectos socio-económicos de la agricultura bajo riego han sido objeto de discusión en varios talleres en los últimos años. Sostenibilidad, salud pública,

protección ambiental y economías son los factores que deberían ser integrados para un manejo integral del agua en una región. Algunas organizaciones esperan un desplazamiento del objetivo fundamental del riego, definiéndolo como la maximización de los beneficios globales, incluyendo los no monetarios como la protección de la calidad de agua, la seguridad alimentaria, el aumento del empleo y el reasentamiento de poblaciones.

En la Unión Europea la nueva Directiva Marco del Agua (WFD) ha establecido nuevos criterios para el manejo de las cuencas hidrográficas, su regulación y establecimiento de precios, dando nuevas restricciones para la agricultura bajo riego. Estudios recientes de agricultura bajo riego en regiones áridas y semiáridas de América Latina incluyen el enfoque de gestión integrada del agua combinando el manejo de los recursos superficiales y subterráneos, y el desarrollo de Sistemas Soporte a la Decisión (DSS), por ejemplo, para mejorar la planificación y el manejo en esquemas grandes de riego, o la integración de aspectos multidisciplinarios.

La Comisión de la Unión Europea ha financiado la Acción Soporte Específica **KASWARM** (**“Knowledge Assessment on Sustainable Water Resources Management for Irrigation”**) en el Sexto Programa Marco, para apoyar la vinculación de experiencias europeas con enfoques de agricultura sostenible y la Directiva Marco del Agua, con experiencias regionales específicas de instituciones de investigación en Latinoamérica. El consorcio de investigación **KASWARM** está integrado por tres socios europeos (Alemania: Leibniz Universität Hannover; Hungría: St. Istvan University Gödöllő; España: Universidad de Córdoba) y seis socios latinoamericanos (Argentina: Universidad de Buenos Aires e Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Áridas en Mendoza; Bolivia: Universidad Mayor de San Simón en Cochabamba; Brasil: Universidad Federal de Campina Grande-Paraíba y Universidad Federal do Recôncavo da Bahia; Chile: Universidad de Concepción), coordinado por el equipo alemán. Este consorcio internacional ha trabajado con un enfoque interdisciplinario incluyendo las disciplinas de ingeniería agrícola, agronomía, ciencias del suelo, gestión de recursos hídricos, ingeniería de sistemas, economía y ciencias sociales.

El principal objetivo de **KASWARM** fue construir una base de conocimiento integrado basada en la experiencia internacional en manejo sostenible de recursos de agua para riego teniendo en cuenta los diferentes puntos de vista de las distintas disciplinas. Se seleccionaron varias áreas de agricultura bajo riego en América Latina para realizar un análisis integral de los aspectos más relevantes desde el punto de vista socio-económico, ambiental, institucional y técnico. La comunicación directa entre los investigadores y los principales actores involucrados en las zonas de estudio fue usada para identificar las necesidades principales para un mejor desarrollo futuro de la agricultura bajo riego. Sobre la base de las actividades de investigación de los equipos participantes así como la revisión del estado del arte, el consorcio **KASWARM** pudo identificar las necesidades de investigación y el ámbito para la colaboración de actores potenciales (campesinos, investigadores, decisores). Adicionalmente, el grupo **KASWARM** desarrolló estrategias para actividades futuras para resolver las cuestiones pendientes identificadas en el marco de una gestión integrada y sostenible del agua para riego.

El objetivo comercial más importante de la agricultura latinoamericana es la exportación (p. ej. a la Unión Europea) de productos frescos de alta calidad obtenidos con procesos sostenibles. Los países latinoamericanos han realizado grandes esfuerzos para mejorar sus sistemas agrícolas. Sin embargo, es necesario preparar al sector agrícola, como en Europa, a un nivel que permita mantener la robustez bajo un sistema competitivo y global que requiere producir sobre una “base limpia y sustentable”, de acuerdo a las normas de la regulación europea (EUROGAP) y las normas ISO 14000. Este concepto puede tener un efecto significativo para mantener un acceso seguro a los mercados europeos en un futuro. La agricultura tradicional necesita adaptarse a los avances en las tecnologías de riego y fertilización sobre una base técnico-económica que asegure la competitividad de las empresas.

Los resultados del proyecto **KASWARM** pueden ser usados en futuros proyectos para apoyar los procesos de toma de decisión de los diferentes actores involucrados de los países socios. Este enfoque innovador que combina aspectos ambientales, sociales y económicos de la agricultura bajo riego no es habitual en países

en vías de desarrollo y constituye un gran desafío para el desarrollo futuro. La publicación del proyecto **KASWARM** en América Latina puede contribuir a la distribución de los resultados entre los diferentes actores y los colegas científicos en la región, a iniciar nuevas discusiones sobre las necesidades y las nuevas actividades técnicas, institucionales y académicas, y a mejorar la difusión de nuevos conceptos sobre tecnologías limpias de riego, entrenamiento y control.

RECONOCIMIENTO

Los investigadores participantes de esta publicación desean agradecer el apoyo sustantivo de la Unión Europea a través del proyecto **KASWARM** “Knowledge Assessment on Sustainable Water Resources Management for Irrigation” y al Ministerio de Ciencia y Tecnología de Argentina por proveer los fondos para esta publicación.

*Alicia Fernández Cirelli
Eduardo Holzapfel
Ivan del Callejo
Max Billib*

PROLOG

The world's food production depends on the availability of water, a precious but finite resource. Today, irrigated agriculture is applied on 20 percent of the world's cropland, and it generates 40 percent of total food production. Irrigated agriculture is responsible for approximately 70 percent of all the freshwater withdrawn in the world, and more water will be used for irrigation in the future, as world food production continuously increases in order to meet rising demand. The challenge for irrigated agriculture today is to contribute to the world's food production and improvement of food security through a more efficient, cleaner and integrated use of water.

In most developing countries rural economic growth is crucial for overall economic growth. Food production remains the main activity, on which much of the economic growth, diversification and development rely, requiring the sustainable management of water resources and improved water use efficiency particularly in agriculture, the largest user of freshwater.

In many countries, particularly in developing countries, socio-economical pressure to increase agricultural production is in conflict with the preservation of the environment, and natural resources. The intensification of the agricultural production in arid and semiarid regions involves activities such as irrigation, fertilisation, and weed control with organic and inorganic products. Those activities associated with inadequate management and a lack of knowledge regarding the requirements and the manner of application may produce serious contamination problems. However research has shown that contamination problems derived from agricultural processes can be minimized, when root uptake is improved, and when chemical, nutrients and water are positioned in the correct place, in adequate quantity and in the precise time.

The need for new solutions of engineering, managerial and socio-economic aspects of irrigated agriculture was discussed on several workshops during the last years. Sustainability, public health, environmental protection, and economics are seen as key factors, which should be integrated into the overall water management of a region. Some organisations expect a shift of the fundamental objective of irrigation, defining it as a maximization of

overall benefits, including non-monetary benefits like water quality protection, food security, increased employment, and resettlement of populations.

In the European Union the new Water Framework Directive (WFD) was setting up new criteria for watershed management, regulation and pricing, giving new restrictions for the irrigated agriculture. Recent studies for irrigated agriculture in arid and semiarid regions of Latin America included the integrated water management approach by combining surface and groundwater resources management and the development of decision support systems, e.g. to improve planning and management in large irrigation schemes, or the integration of multi-discipline aspects into a web-enabled spatial DSS.

The Commission of the European Communities financed the **Specific Support Action KASWARM** (*“Knowledge Assessment on Sustainable Water Resources Management for Irrigation”*) in the framework of the 6th Research Programme, to support the joining of European experiences with approaches to sustainable agriculture and the Water Framework Directive together with the specific regional experiences of Latin American research institutions. The **KASWARM** research group consists of 3 European partners (Germany: Leibniz Universität Hannover; Hungary: St. Istvan University Gödöllő; Spain: Universidad de Córdoba) and 6 Latin American partners (Argentina: Universidad de Buenos Aires and Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Áridas at Mendoza; Bolivia: Universidad Mayor de San Simón at Cochabamba; Brazil: Universidad Federal de Campina Grande-Paraíba and Universidad Federal do Recôncavo da Bahia, Chile: Universidad de Concepción) and was coordinated by the German team. The international consortium was focussed on an interdisciplinary approach including the disciplines of agricultural engineering, agronomy, soil science, hydrology, water resources management, systems engineering, economy, and social sciences.

The main objective of **KASWARM** was to build up a comprehensive knowledge base assembling international experience on sustainable water resources management for irrigation taking into account the different interdisciplinary views. In several selected Latin American irrigation areas a comprehensive analysis of the major socio-economical, environmental, institutional

and technical aspects was carried out. The direct communication between the researchers and the stakeholders in the field study areas was used to identify their main needs for future improvement and development in irrigated agriculture. Based on past and ongoing research activities of the participating teams as well as the review of the current state of art the joint **KASWARM** group could identify actual research gaps and the scope for the collaboration of potential stakeholders (farmers, researchers, policy makers). Additionally, the **KASWARM** group developed strategies for future activities to solve the identified open questions of sustainable water resources management for irrigation.

The main commercial goal of the entrepreneurial agriculture in Latin America must be the export (e.g. to the European Union) of sufficient fresh products under sustainable and high quality production processes. The Latin American countries have shown great efforts in order to improve their agricultural systems. However, it is necessary to prepare the agricultural sector, like in Europe, to a level in order to maintain robustness under a competitive and global system that requires producing on a “clean and ecological basis”, and in accordance with the norm of the framework of the European regulation (EUROGAP) and ISO 14000. This concept could pose significant effect to the endeavour of maintaining a safe access to the European market in future. The traditional agriculture needs to adapt to the improvements of irrigation and fertilisation technologies on a technical-economical basis that ensures competitiveness of the enterprises.

The results of the **KASWARM** project could be used in future projects to support the decision making process of the stakeholders in the partner countries. This innovative approach of a link of combined environmental, social and economical aspects of sustainable irrigation is not common in developing countries, it is a great challenge for the future development. The publication of the **KASWARM** research project in Latin America may support the distribution of the results to stakeholders and scientific colleagues in Latin America, initiate new discussions about needs and new activities on technical, institutional and academic level, and improve the introduction of new concepts for clean irrigation technology, training and control.

ACKNOWLEDGMENTS

All researchers involved in this edition want to thank the support of the European Union through **KASWARM** project, and to the Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (Argentina) for the financial support of this publication.

Alicia Fernández Cirelli
Eduardo Holzapfel
Ivan del Callejo
Max Billib

*En la primera parte de este libro se presentan cuatro capítulos. Los dos primeros se refieren a aspectos instrumentales y de gestión del riego, mientras que los dos siguientes se enfocan en aspectos socioeconómicos, institucionales y ambientales. Estos capítulos responden a los grupos de trabajo en el proyecto **KASWARM**, que se describen a continuación:*

GRUPOS DE TRABAJO

Grupo de trabajo 1: DISEÑO Y GESTIÓN DEL RIEGO

Coordinador: Ignacio Lorite (IFAPA/ UCO)

1- DISEÑO DE SISTEMAS DE RIEGO a nivel de establecimiento en condiciones áridas o semiáridas analizando el efecto de la sostenibilidad de la agricultura (Suelo-Agua-Planta- Economía- Condiciones culturales)

Alejandro Pannunzio (Sub-coordinador) (UBA)

Oscar Delgadillo (UMSS)

István Farkas (SIUG)

Eduardo Holzapfel (UDEEC)

Auxiliadora Soriano (UCO)

2- MANEJO DEL RIEGO a escala de campo en condiciones áridas o semiáridas, teniendo en cuenta las características latinoamericanas, y considerando el tipo de suelo, cultivo, aplicaciones de agroquímicos, calidad y disponibilidad de agua para una agricultura sostenible.

Aureo Oliveira (Sub-Coordinador) (UFRB)

Ignacio Lorite (UCO)

Pedro Fernandes (UFCEG)

Grupo de trabajo 2:

IMPACTO SOCIO ECONOMICO E INSTITUCIONAL

Coordinador: Iván del Callejo (UMSS)

1- EFECTO SOCIO-ECONOMICO en la sostenibilidad de la agricultura bajo riego considerando la productividad del agua, la distribución de agua, equidad entre usuarios, el entorno cultural, los usuarios del agua y los conflictos

Elma Montaña (Sub-Coordinadora) (INCIHUSA-CONICET)

Gabriela Pastor (IADIZA-CONICET)

Laura Torres (IADIZA-CONICET)

2- ASPECTOS INSTITUCIONALES para una agricultura bajo riego sostenible considerando organización, gestión y diseño del sistema, marco legal, propiedad de los recursos, actores y sus roles.

Iván del Callejo (Sub-Coordinador) (UMSS-Centro AGUA)

Vladimir Cossio (UMSS-Centro AGUA)

Sonia Vásquez (UMSS-Centro AGUA)

Grupo de trabajo 3: IMPACTO AMBIENTAL DEL RIEGO

Coordinadora: Alicia Fernández Cirelli (UBA)

1- CALIDAD DE AGUA Y SUELO en regiones áridas y semiáridas de Latinoamérica a escala de campo y en zonas con condiciones similares

Alicia Fernández Cirelli (Sub-Coordinadora) (UBA)

Diego Rivera (UDEEC)

Peter Boochs (LUH)

Cecile du Mortier (UBA)

Olga Heredia (UBA)

2- DEGRADACION DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO influyendo salinización en áreas bajo riego y desertificación bajo condiciones similares

Hans Raj Gheyi (Sub-Coordinador) (UFCG)
Elena Abraham (IADIZA-CONICET)
Elma Montaña (INCIHUSA-CONICET)

3- GESTION INTEGRADA DE RECURSOS HIDRICOS a nivel de cuenca hidrográfica, bajo condiciones de riego y climáticas similares, para una agricultura sostenible

Max Billib (Sub-Coordinador) (LUH)
José Luis Arumi (UDEEC)
Ferenc Ligetvari (SIUG)
Karin Bardowicks (LUH)

Los equipos participantes en KASWARM, a través de las actividades de discusión de los working groups, han dado origen a cada uno de los cuatro primeros capítulos:

- **Sistemas de riego**
- **Gestión del riego**
- **Aspectos socioeconómicos e institucionales del riego.**
- **Efectos ambientales del riego.**

SISTEMAS DE RIEGO

Ignacio j. Lorite¹, Eduardo A Holzapfel² y Alejandro Pannunzio³

¹IFAPA- Centro Alameda del Obispo, Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía, Córdoba, España.

²Departamento de Recursos Hídricos, Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad de Concepción, Chile.

³Cátedra de Riego y Drenaje, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires

RESUMEN

El manejo operación y diseño de los sistemas de riego es un factor relevante en el proceso de mejorar la aplicación del agua, la eficiencia y el retorno económico del proceso productivo en la agricultura irrigada. Los sistemas de riego son seleccionados, diseñados y operados para suplir los requerimientos específicos de cada cultivo a nivel predial controlando la percolación profunda, escorrentía, evaporación, y pérdidas operacionales para realizar un proceso productivo sustentable en el tiempo. El diseño, operación y manejo de los sistemas de riego debe efectuarse en base a criterios con amplia base técnica que deben estar relacionados con conocimientos de riego, hidráulica, economía, energía, medioambiente y factores agronómicos.

ABSTRACT

The design, management and operation of irrigation systems are relevant factors in the process to improve the water application, the efficiency of irrigation and the economical return in the productive process of irrigated agriculture. The irrigation systems are selected, designed and operated to apply the required water of the specifics crop and controlling the deep percolation, run-off, evaporation, and operational losses to carry out a sustainable process. The design, operation, and management of irrigation systems must be done under technical criteria that are close related with knowledge in irrigation, hydraulic, economy, energy, environmental and agronomic parameters.

INTRODUCCIÓN

En climas áridos y semi-áridos, el riego es un factor esencial para obtener producciones económicamente viables. El beneficio del riego puede provocar efectos colaterales detrimentales como por ejemplo el aumento de la elevación de la napa freática y la salinización del suelo. Sistemas ineficientes de distribución y conducción de agua e inadecuadas técnicas de riego a nivel predial pueden desperdiciar enormes cantidades de agua.

SISTEMAS DE RIEGO

El agua requerida por los cultivos es suplementada en forma natural por las precipitaciones, pero cuando estas son escasas o su distribución no coincide con la demanda, es necesario suplementarla en forma artificial con riego. Hay una gran variedad de métodos de riego disponibles para riego. La selección e implementación de uno de esos métodos depende de factores tales como disponibilidad de agua, tipo de cultivo, características del suelo, topografía del terreno y sus costos asociados.

En el futuro cercano la agricultura bajo riego necesitará producir dos tercios del incremento de productos requeridos por un aumento de la población (English *et al.*, 2002). La creciente dependencia de la agricultura irrigada coincide con la acelerada competencia por el recurso hídrico y un inadecuado diseño y manejo de los sistemas de riego.

Un manejo óptimo de los recursos hídricos disponibles a nivel de granja o predio es imperioso en vista a la creciente demanda, limitados recursos, variación de los niveles freáticos en tiempo y espacio y la contaminación del suelo (Kumar y Singh, 2003). El eficiente manejo del agua es uno de los elementos claves para el éxito en la operación y manejo de los sistemas de riego.

Las tecnologías de riego han establecido significativos avances en los últimos años. Se han desarrollado procedimientos y criterios para mejorar y racionalizar la aplicación del agua a través de nivelación de suelos, diseño de sistemas de riego, regulación de caudales, estructuras de aducción, sistemas de información, sensores y equipos. Sin embargo, esos avances no han sido aún implementados en forma masiva a nivel predial.

Los sistemas de riego son seleccionados, diseñados y operados para suplir los requerimientos específicos de cada cultivo a nivel predial controlando la percolación profunda, escorrentía, evaporación, y pérdidas operacionales para realizar un proceso productivo sustentable en el tiempo.

Playán y Mateo, (2006), mencionan que los sistemas de riego modernos a nivel predial implica la selección apropiada de los métodos de riego y de estrategias relacionadas con la disponibilidad de agua, a las características del clima, suelo y cultivo, a las condiciones sociales y económicas y a las restricciones de distribución del sistema.

Sistemas de Riego y Eficiencia de Aplicación

El diseño y manejo de los métodos de riego afecta en forma sustantiva la eficiencia de aplicación e involucra numerosas variables y restricciones cuyo principal objetivo es maximizar beneficios y minimizar costos. En un sistema de riego exitoso, los recursos utilizados deben producir el máximo retorno. Para obtener lo expresado anteriormente, el diseño y manejo de los sistemas de aplicación de agua requieren el soporte de un proceso de optimización debido a la gran cantidad de combinaciones posibles de variables que satisfacen las condiciones de riego establecidas.

Los métodos de riego tienen aplicaciones específicas que se basan en variados factores entre los cuales los más relevantes son cultivo, suelo, topografía y disponibilidad y calidad del agua. La eficiencia de aplicación de los diferentes métodos de riego superficial y presurizado varía en un amplio rango como se muestra en la Tabla 1 obtenido desde estudios realizados por el Departamento de Recursos Hídricos de la Universidad de Concepción y es dependiente del diseño, manejo y operación.

TABLA 1. Eficiencia de aplicación para diferentes métodos de riego.

METODOS DE RIEGO	RANGO DE EFICIENCIA DE APLICACIÓN (en %)
SUPERFICIAL	
Riego Tradicional o Tendido	10 – 30
Riego en Curvas de Nivel	30 – 60
Riego por Bordes	40 – 80
Riego por Surcos	40 – 85
PRESURIZADO	
Riego por Aspersión	50 – 90
Riego por Microjet	60 – 95
Riego por Goteo	65 – 95

Indudablemente, un sistema de riego bien diseñado y operado correctamente tendrá una alta eficiencia y adecuados niveles de distribución en el área irrigada, lo que debe dar como el resultado una gran producción con productos de alta calidad (Holzapfel *et al.*, 2000).

Análisis Comparativo de los Sistemas de Riego

Para un adecuado diseño, manejo y operación de los sistemas de riego superficiales se han desarrollado una serie de elementos de soporte que incluyen modelos de simulación, control y automatización con estructuras de aducción. En el caso de riego presurizado, hay un enorme avance en modelos para diseño, automatización y regulación de su operación, precisión de los emisores en su aplicación y la incorporación de aplicación de químicos en el riego (Holzapfel y Arumi, 2006).

Para aumentar la sustentabilidad de la agricultura, un aspecto importante que ha sido considerado por numerosos investigadores es el eficiente diseño de los sistemas de riego (Hillel y Vlek, 2005; Khan *et al.*, 2006; Hsiao *et al.*, 2007). Parece ser este un aspecto crucial y un factor clave en la agricultura irrigada debido a la competencia por el recurso hídrico. En los últimos años, varios sistemas de riego han mejorado significativamente la eficiencia de aplicación de agua a nivel predial, a través de un mejoramiento en su manejo. Así introduciendo nuevas tecnologías que son más eficiente, manejo de la programación de riego en tiempo real en

los principales distritos de riego de México han logrado un ahorro de agua del 20 % sin disminuir la producción de los cultivos (Quiñones *et al.*, 1999).

Diversos estudios han analizado la eficiencia de riego de varios métodos de riego, como es el caso de Al-Jamal *et al.*, (2001), que analizó en el sur del estado de Nuevo México en Estados Unidos riego por aspersión, goteo y surcos, donde la máxima eficiencia del uso del agua se obtuvo con aspersión y los valores más bajos ocurrieron para goteo superficial y surcos, los que presentaron mayores valores de pérdidas por evaporación. Ibragimov *et al.*, (2007) comparó riego por surcos y goteo, obteniendo que con riego por goteo hay un ahorro de agua de un 18 a 42 % al compararlo con surco y que la eficiencia de uso de agua aumento de un 35-103% al compararlo con riego por surcos. Una comparación similar fue hecha por Maisiri *et al.*, (2005) en una región semi-árida de clima tropical en Zimbawe, donde encontró que el riego por goteo usó el 35 % del agua que utilizaron los sistemas de riego superficiales, obteniendo una mayor eficiencia del uso del agua y el nivel bruto marginal del riego superficial fue menor que el costo del riego por goteo.

Tognetti *et al.*, (2003), al comparar riego por goteo con aspersión de baja presión determinó que goteo influencia en forma positiva los parámetros técnicos y fisiológicos en condiciones semi-áridas al compararlo con aspersión de baja presión. Hanson y May (2004) obtuvieron aumentos de producción con riego por goteo al compararlo con riego por aspersión bajo niveles similares en la cantidad de agua aplicada. Otro estudio evaluó el sistema de riego por Pivote LEPA (Low-energy precision application) y riego por goteo en algodón en Turquía (Yazar *et al.*, 2002), concluyendo que ambos sistemas de riego podrían ser utilizados exitosamente en riego de algodón en regiones con clima árido de Turquía.

Karlberg *et al.*, (2007) encontró en su estudio que, el sistema de riego por goteo con diferentes caudales de emisores se utilizó para regar tomates, obteniendo que combinando riego por goteo con un mulch de plástico aumentaba la producción. Finalmente Bozkurt *et al.*, (2006) evaluaron tres distanciamientos de laterales 0,7 m, 1,40 and 2,10 m para riego por goteo de maíz, encontrándose que el óptimo es de 1,4 metros, lo que significa dos hileras por lateral. Como se muestra en las investigaciones

previas, el riego por goteo es mirado ampliamente como el sistema de riego más promisorio, y también es especialmente recomendado para condiciones de aguas salinas.

Lo expuesto anteriormente requiere indudablemente para establecer un análisis con mayor precisión, tener en cada uno de los casos los antecedentes de diseño, operación y manejo de los sistemas de riego. Esto porque la comparación se debe realizar bajo condiciones óptimas de diseño, operación y manejo de cada uno de los sistemas de riego evaluado para las condiciones específicas de uso, de otra manera se producen distorsiones en la comparación. No es adecuado comparar sistemas que no estén diseñados, operado y con un manejo bajo condiciones óptimas para las condiciones “sitio específicas” donde están implementados, sobre todo ahora que la energía y el uso del agua son factores importantes en los sistemas de riego en la agricultura.

Calidad del Riego

Los parámetros seleccionados para determinar el comportamiento de un riego deben ser capaces de estimar adecuadamente la calidad del riego. Varios parámetros que describen la calidad de aplicación del agua de los sistemas de riego han sido analizados por numerosos investigadores. Sin embargo, se han encontrado problemas para evaluar efectivamente la calidad de un riego, debido a las dificultades para identificar fallas en la operación, manejo o diseño (Hall, 1960; Merriam y Keller, 1978, Holzapfel *et al.*, 1985). La calidad del riego sólo puede ser determinada usando varios modelos, pues uno solo no es capaz de entregar antecedentes suficientes para evaluar su comportamiento. Para evaluar el riego se han desarrollado varios modelos: eficiencia de aplicación del agua (EA), eficiencia de requerimiento o eficiencia de almacenamiento de agua (ER), eficiencia de distribución de requerimiento (EDR), eficiencia de distribución total (EDT), coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC) y la eficiencia de distribución del cuarto menor (CUCM).

Soporte para Sistemas de Riego Sustentables

Otro aspecto importante relacionado con el análisis de estrategias para manejo de agua se ha realizado en riego por aspersión en el estudio de Ramalan y Hill (2000), que ha considerado la demanda, frecuencia y aplicación continúa como factores fundamentales, demostrando que la estrategia de demanda ha sido considerada la de mayor beneficio.

Teniendo en consideración el gran trabajo requerido y las restricciones de tiempo para desarrollar un sistema de riego, es necesario el uso de métodos y herramientas modernas de análisis y soporte. Sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica (SIG) con su capacidad de recolección de datos y análisis de ellos, son visto en la actualidad como herramientas efectivas y eficientes para diseño y manejo de sistemas de riego (Rodríguez, 2003). La capacidad de los SIG para analizar información espacial y temporal es una ayuda en el manejo de sistemas dinámicos como son los sistemas de riego.

Hazrat Ali *et al.*, (2003) encontraron que el SIG es una herramienta importante que puede ser utilizada para la óptima asignación de los recursos hídricos en un proyecto de riego. Los resultados de los componentes del balance promedio de agua se almacenaron en una base de datos de SIG, fueron analizados y posteriormente se mostró el mapa de requerimientos hídricos mensual.

La agricultura intensiva de riego considera la aplicación de agua, fertilizantes y otros químicos, aplicados en cantidades variables a las áreas de cultivos y frutales (Holzapfel *et al.*, 2001) Aunque como cualquier creciente actividad productiva debe tener presente la contaminación (Wichelns y Oster, 2006). Cuando la utilización de los químicos es incompleta e ineficiente, o cuando el agua se aplica en exceso, la percolación resultante finalmente termina en aumento de los sistemas de drenaje o en recargar los acuíferos bajo la zona cultivada (Hadas *et al.*, 1999), provocando problemas en la calidad de las aguas superficiales y subterráneas.

Durante las últimas tres décadas se han desarrollado técnicas de riego superficial que hoy están disponible para su uso, para lo cual se han establecido criterios y procedimientos para el diseño óptimo, manejo y operación eficiente de la aplicación de agua a los

cultivos para obtener máxima producción y evitar efectos ambientales asociados a lixiviación y escorrentía.

El riego superficial posee varios factores y elementos de diseño y manejo, los que han sido extensivamente analizados. Los métodos de riego superficial más frecuentes son: riego en contorno, riego por bordes, y riego por surcos. Este último es frecuentemente utilizado en cultivos hilerado y frutales.

Los métodos de riego superficiales han últimamente tomado mayor importancia en la zonas de riego, por el aumento en el costo de la energía que se asocian a los sistemas de riego presurizado, siendo el riego por surcos el de mayor importancia por la incorporación de una mayor automatización para su operación (Holzapfel y Arumi, 2006).

Eldeiry, (2004), encontró en un estudio de diseño de riego por surcos en suelos arcillosos que el largo del surco y la descarga son los principales factores que afectan la eficiencia de aplicación. Por otro lado el impacto ambiental de los sistemas de riego por surco se han estudiado en diferentes zonas del mundo (Lehrsch *et al.*, 2000), y se ha establecido que en riego, el riesgo de lixiviación de nitratos depende de la forma en que se aplica el agua y los fertilizantes (Popova, 2005).

La cantidad de agua y elementos lixiviados varía con el tipo de sistema de riego utilizado, eficiencia de riego, cultivo o frutal, utilización del agua y los fertilizantes, descomposición de la materia incorporada su absorción y fracción que se ha descompuesto. La mayor parte de los químicos lixiviados incorporados en el riego son los nitratos, aniones predominantes, derivado de los fertilizantes y la materia orgánica. Además se incorporan con el riego los pesticidas, y se ha encontrado que la lixiviación de estos elementos aumenta con la mayor percolación provocada por el riego (Asare *et al.*, 2001). La estrecha relación entre lixiviación de químicos y la percolación profunda del agua producida por el riego se debe a que la lixiviación ocurre a través de la disolución de los solutos en la solución del suelo y se mueve a profundidades mayores del suelo hasta alcanzar la napa freática. Esto permite demostrar una cada vez es más la importancia de establecer un diseño adecuado de los sistemas de riego superficial y presurizado y técnicas de manejo para reducir la lixiviación y disminuir la percolación profunda.

En muchas regiones del oeste de los Estados Unidos, productores que riegan por surco sus cultivos, están frente a una crítica necesidad de mejorar la eficiencia de riego y reducir la contaminación por la aplicación de agua (Rice, *et al.*, 2001). Sin embargo, el punto más importante es seleccionar adecuadamente las variables en cada sistema con criterios de diseño apropiados, mejorando la programación del riego y el manejo del agua a nivel de campo lo que también permitirá reducir el exceso de riego y la percolación profunda de la aplicación de agua y químicos.

Criterios de Diseño

El diseño de los sistemas de riego es un factor relevante en el proceso de mejorar la aplicación del agua, la eficiencia y el retorno económico del proceso productivo. Para desarrollar diseños con una adecuada base ingenieril es fundamental el uso de criterios adecuados, estos se pueden obtener solamente con un sólido conocimiento del riego y de parámetros técnicos asociados con el cultivo, características del suelo y el agua, la energía y el medio ambiente. Pereira, (1999), consideró que el mejoramiento de los sistemas de riego requiere del conocimiento de factores que afectan los procesos hidráulicos, los procesos físicos del suelo y la forma de aplicación del agua en forma espacial a nivel de campo. Las consideraciones de todos los aspectos mencionados hacen que el manejo del riego sea una práctica y decisión compleja.

Playán y Mateo, (2006), han determinado que en general todos los métodos de riego pueden llegar a obtener aproximadamente el mismo nivel de eficiencia, cuando ellos son bien diseñados y son seleccionados en forma apropiada para las condiciones sitio específicas establecidas. Sin embargo, las diferencias entre los métodos de riego que se encuentran en muchas áreas tienen como consecuencia básica el diseño, el manejo y la mantención.

Una adecuada selección y distribución del número de emisores en riego por goteo (diseño) puede entregar resultados sustancialmente diferentes (Rodríguez *et al.*, 2007; Holzapfel *et al.*, 2004). Colombo y Or, (2006), encontraron que en áreas bajo riego por goteo, el patrón de producción del cultivo estaba determinado por la accesibilidad espacial del agua por la planta la

que podía ser cuantificada y usada debido a un óptimo diseño del sistema de riego. Henríquez, (2005), encontró que un correcto número y distribución de emisores tomando como base las características del suelo y la planta, produce diferencias de 100% en producción de huertos de naranjos. Es importante también destacar como criterios para diseño y operación de los sistemas de riego los costos, así la selección adecuada de los emisores tiene un marcado efecto en los costos de operación asociados a los sistemas de riego presurizado y que es un factor relevante en la producción (Holzapfel *et al.*, 2007a y Holzapfel *et al.*, 2007b). Este factor tiene especial importancia debido al aumento del precio de la energía y la disponibilidad de este recurso.

CONCLUSIONES

El diseño, manejo y selección de los sistemas de riego afecta en forma sustancial la eficiencia de aplicación y considera numerosas variables y restricciones, cuyo principal objetivo es maximizar beneficios y minimizar costos. El diseño de los sistemas de riego es un tópico importante en el proceso de mejorar la aplicación del agua, eficiencia y el retorno económico del proceso productivo. El diseño y manejo de los sistemas de riego debe efectuarse en base a criterios con amplia base técnica que deben estar relacionados con conocimientos de riego, hidráulica, economía, energía, medioambiente y factores agronómicos.

Diseño y operación adecuados de los sistemas de riego a nivel predial son un aspecto crucial y relevante en la agricultura irrigada debido a la competencia por los recursos hídricos y la sustentabilidad económica ambiental de la agricultura. En general los sistemas de riegos superficiales y presurizados pueden lograr un nivel razonable de eficiencia cuando ellos son bien diseñados, adecuadamente operados y seleccionados para las condiciones específicas a las que se han establecido, esto porque el riego es "sitio específico".

La automatización de los métodos de riego asociado a sistemas de soporte, sensores y equipos de registro son tópicos que se debe desarrollar para usar los sistemas en toda su potencialidad.

REFERENCIAS

- Al-Jamal, M.S., Ball, S. and Sammis, T.W. 2001. Comparison of sprinkler, trickle and furrow irrigation efficiencies for onion production. *Agricultural Water Management*, 46: 253-266.
- Asare, D.K., Sammis, T., Smeal, D., Zhang, H. and Sitze, D.O. 2001. Modelling an irrigation strategy for minimizing the leaching of atrazine. *Agricultural Water Management*, 48: 225-238.
- Bozkurt, Y., Yazar, A. Gencel, B. and Sezen, M.S. 2006. Optimum lateral spacing for drip-irrigated corn in the Mediterranean Region of Turkey. *Agricultural Water Management*, 85: 113-120.
- Colombo, A. and Or, D. 2006. Plant water accessibility function: A design and management tool for trickle irrigation. *Agricultural Water Management*, 82 : 45–62.
- Eldeiry, A., García, L., El-Zaher, H. and Kiwan, M. 2004. Furrow irrigation system design for clay soils in arid regions, *Hydrology Days*, 42-53.
- Eldeiry, A., García, L., El-Zaher, H. and Kiwan, M. 2004. Furrow irrigation system design for clay soils in arid regions. *Hydrology Days*, 42-53.
- English, M.J., Solomon, K.H. and Hoffman, G.J. 2002. A paradigm shift in irrigation management. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 128 (5): 267-277.
- Hadas, A., Sagiv, B. and Haruvy, N. 1999. Agricultural practices, soil fertility management modes and resultant nitrogen leaching rates under semi-arid conditions, *Agricultural Water Management*, 42: 81-95.
- Hall, W. 1960. Performance parameters of irrigation systems. *Transaction of the ASAE*. 3 (1): 75-81.
- Hanson, B. and May, D. 2004. Effects of subsurface drip irrigation on processing tomato yield, water table depth, soil salinity, and profitability. *Agricultural Water Management*, 68: 1-17.
- Hazrat, A., Teang Shui, L. and Walker, W.R. 2003. Optimal Water Management for Reservoir Based Irrigation Projects Using Geographic Information System. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE*, 129 (1): 1-10.

Henríquez, K. 2005. Effect of water application, fertilization and location, in production and quality of oranges cv. Valencia Tesis presentada para obtener el título de Ingeniero Civil Agrícola. Facultad de Ingeniería Agrícola Universidad de Concepción, 154 p.

Hillel, D. and Vlek, P. 2005. The sustainability of irrigation. *Advances in Agronomy*, 87: 55-84.

Holzapfel, E., Mariño, M.A. and Chávez-Morales, J. 1985. Performance Irrigation Parameters and their Relationship to Surface Irrigation Design Variable and Yield. *Agricultural Water Management*, 10: 159-174.

Holzapfel, E., Merino, R., Mariño, M. and Matta, R. 2000. Water Production Function in Kiwi. *Irrigation Science*, 19 (2): 73-80.

Holzapfel, E., Jara, J. and Matta, R. 2001. Nivel de agua aplicado y fertirrigación bajo riego por goteo en cítricos. *Agro-Ciencia*, 17:-20-31.

Holzapfel, E., Hepp, R. and Mariño, M. 2004. Effect of irrigation on fruit production in blueberry. *Agricultural Water Management*, 67(3): 173-184.

Holzapfel, E. and Arumi, J.L 2006. Interim Report. Tecnología de manejo de agua para una agricultura intensiva sustentable. Proyecto D02I-1146. 70p

Holzapfel, E., Abarca, W.A., Paz, V.P., Rodríguez, A., Orrego, X. and López, M.A. 2007a. Selección Técnico-Económico de Emisores. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 11 (1): 456-463 .

Holzapfel, E., Pardo, X., Paz, V.P., Rodríguez, A., Orrego, X. and López, M.A. 2007b. Análisis Técnico-Económico para Selección de Aspersores. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 11 (1): 464-470.

Hsiao, T.C., Steduto, P. and Fereres, E. 2007. A systematic and quantitative approach to improve water use efficiency in agriculture. *Irrigation Science*, 25: 209-231.

Ibragimov, N., Evett, S.R., Esanbekov, Y., Kamilov, B.S., Mirzaev, L. and Lamers, J.P. 2007. Water use efficiency of irrigated cotton in Uzbekistan under drip and furrow irrigation. *Agricultural Water Management*, 90: 112-120.

Karlberg, L., Rockstrom, J., Annandale, J.G. and Steyn, J.M. 2007. Low-cost drip irrigation - A suitable technology for southern Africa? An example with tomatoes using saline irrigation water. *Agricultural Water Management*, 89: 59-70.

Khan, S., Tariq, R., Yuanlai, C. and Blackwell, J. 2006. Can irrigation be sustainable?. *Agricultural Water Management*, 80: 87-99.

Kumar, R. and Singh, J. 2003. Regional water management modelling for decision support in irrigated agriculture. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE*, 129 (6): 432-439.

Lehrsch, G.A., Sojka, R.E. and Westermann, D.T. 2000. Nitrogen placement, row, spacing, and furrow irrigation water positioning effects on corn yield. *Agronomy Journal*, 92: 1266-1275.

Pereira, L. 1999. Higher performance through combined improvements in irrigation methods and scheduling: a discussion. *Agricultural Water Management*, 40: 153-169.

Maisiri, N., Sanzanje, A., Rockstrom, J. and Twomlow, S.J. 2005. On farm evaluation of the effect of low cost drip irrigation on water and crop productivity compared to conventional surface irrigation system. *Physics and Chemistry of the Earth*, 30: 783-791.

Merriam, J.L. and Keller, J. 1978. *Farm irrigation system evaluation. A guide for management.* Utah State University, Logan, Utah, U.S.A.

Playán, E. and Mateos, L. 2006. Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity. *Agricultural Water Management*, 80 :100–116.

Popova, Z., Crevoisier, D., Ruelle, P. and Mailhol, J.C. 2005. Application of Hydrus2D model for simulating water transfer under furrow irrigation – Bulgarian case study in cropped lysimeters on Chromic Luvisol. ICID 21th European Regional Conference Frankfurt. Germany, 1-13.

Quiñones, P.H., Unland, H., Ojeda, W. and Sifuentes, E. 1999. Transfer of irrigation scheduling technology in Mexico. *Agricultural Water Management*, 40: 333-339.

Ramalan, A.A. and Hill, R.W. 2000. Strategies for water management in gravity sprinkle irrigation systems. *Agricultural Water Management*, 43: 51-74.

Rice, R.C., Hunsaker, D.J., Adamsen, F.J. and Clemmens, A.J. 2001. Irrigation and nitrate movement evaluation in conventional and alternate-furrow irrigated cotton. *American Society of Agricultural Engineers*, 44 (3): 555-568

Rodríguez, A. 2003. Diseño y planificación de riego utilizando sistemas de información geográfica. Tesis presentada para obtener el título de Ingeniero Civil Agrícola. Facultad de Ingeniería Agrícola Universidad de Concepción 170p.

Rodríguez, J., Sánchez, L.R. and Losada, A. 2007. Evaluation of drip irrigation: Selection of emitters and hydraulic characterization of trapezoidal units. *Agricultural Water Management*, 90: 13-26.

Tognetti, R., Palladino, M., Minnocci, A., Delfino, S. and Alvino, A. 2003. The response of sugar beet to drip and low-pressure sprinkler irrigation in southern Italy. *Agricultural Water Management*, 60: 135-155.

Wichelns, D. and Oster, J.D. 2006. Sustainable irrigation is necessary and achievable, but direct costs and environmental impacts can be substantial. *Agricultural Water Management*, 86: 114-127.

Yazar, A., Sezen, S.M. and Sesveren, S. 2002. LEPA and trickle irrigation of cotton in the Southeast Anatolia Project (GAP) area in Turkey. *Agricultural Water Management*, 54: 189-203.

GESTIÓN DEL RIEGO

Ignacio j. Lorite¹ y Eduardo A Holzapfel²

¹*IFAPA- Centro Alameda del Obispo, Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía, Córdoba, España.*

²*Departamento de Recursos Hídricos, Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad de Concepción, Chile.*

RESUMEN

El objetivo final en las zonas regables debe de ser aumentar la producción, potenciando el incremento de la eficiencia en el uso del agua, por medio de la mejora de la gestión de los recursos hídricos disponibles. Son múltiples los factores que afectan una deficiente gestión del agua de riego a nivel predial y que es necesario considerar para lograr los beneficios del área irrigada. El mejoramiento de la gestión del riego se puede realizar aplicando metodologías como el riego deficitario, el empleo de Sistemas de Información Geográfica o de técnicas de teledetección, y el empleo de la productividad del agua

ABSTRACT

The main objective of the irrigated areas must be increase the production, promoting the improvement of the efficiency in the use of the water, by means of the improvement of the management of the available water resources. Multiple factors affect the deficient water management at farm level that is necessary to consider achieving the benefits of the irrigated area. The improvement of the irrigation management can be obtained applying techniques as deficit irrigation, implementation of Geographic Information Systems, satellite image and the use of water productivity concept.

INTRODUCCION

En zonas áridas, la producción agrícola generalmente no es posible sin el regadío. Sin embargo, en climas semiáridos y húmedos, los agricultores invierten en sistemas de riego para reducir el riesgo a bajas cosechas en años con lluvias escasas.

Así, el riego es usado como suplemento a la lluvia en periodos de escasez.

El riego es solamente justificado cuando el beneficio con el incremento de cosecha y / o calidad exceda el capital invertido y los costes anuales de operación asociados al riego. Por lo tanto, la decisión de búsqueda de suministro de agua, compra e instalación de sistemas de riego, y planificación del riego debe analizarse detenidamente. Cuando todos estos aspectos estén listos, el siguiente paso será definir un programa de gestión del riego como requisito imprescindible para el uso eficiente del agua.

La gestión del agua de riego afecta a la determinación de cuando regar, la cantidad de agua a aplicar en cada riego y en qué etapa del ciclo del cultivo, sin olvidar la operación y mantenimiento del sistema de riego. El objetivo principal de la gestión del riego es manejar el sistema productivo para el obtener el mayor beneficio sin comprometer el medio ambiente.

FACTORES QUE AFECTAN LA GESTIÓN DEL AGUA

Son múltiples los factores que afectan una deficiente gestión del agua de riego a nivel predial. A continuación se describen las principales causas que generan el mal manejo del agua.

Falta de información técnica

Los fundamentos técnicos, así como los avances en tecnología de riego y gestión, generalmente no llegan a los usuarios finales (agricultores), debido a que los servicios de extensión en muchas partes de Latinoamérica son ineficientes o simplemente no existen. Bajo estas condiciones, los regantes están obligados a decidir ellos mismos cómo realizar la gestión del riego en sus explotaciones.

Deficiente diseño de los sistemas, operación y mantenimiento

Algunos sistemas de riego están sobre o sub-diseñados al igual que no presentan un correcta operación para permitir la aplicación de la cantidad de riego optima de acuerdo a las necesidades de los cultivos y con la apropiada uniformidad en la

distribución. Así, por ejemplo en el caso de sistemas como el de micro-aspersión, el deficiente mantenimiento de las unidades de control puede causar significativos incrementos en los requerimientos de bombeo, y una deficiente uniformidad del riego.

Un efecto más del deficiente diseño de los sistemas es la ausencia de contadores a nivel de parcela, lo que hace que los regantes no tengan ningún control sobre la cantidad de agua aplicada por su sistema de riego, causando sobre o sub-riego, lo cual en muchas ocasiones puede provocar encharcamiento, pérdida de agua por precolación o déficit hídrico en el suelo, con la consiguiente reducción en la producción del cultivo.

Desconocimiento de los factores que afectan al uso del agua por el cultivo

En general, la cantidad de agua requerida por el cultivo en cada etapa específica de crecimiento es desconocida debido a que los regantes no usan ninguna metodología para calcular la demanda de agua en función de los parámetros de suelo, cultivo o atmósfera. En similares términos se podría hablar sobre la falta de control de las condiciones agrometeorológicas, lo que impide la correcta determinación de las necesidades de riego de los cultivos.

Igualmente, en muchas ocasiones la cantidad de agua almacenada en el suelo no es considerada cuando se emplean sistemas de riego por aspersión o por superficie lo que implica la aplicación de riego en exceso.

Falta de concienciación y estímulo en el uso responsable del riego

La falta de motivación por el ahorro de agua, propiciado muchas veces por el hecho de que no se paga por el volumen de agua consumido, hace que muchos programas de mejora de la gestión no tengan el resultado esperado. Y así, una deficiente gestión de los recursos hídricos tiene claras consecuencias sobre los sistemas agrarios.

Desde el punto de vista ambiental, una agricultura de regadío incorrectamente gestionada puede tener impactos negativos sobre la calidad del suelo y el agua; agroquímicos como fertilizantes,

herbicidas e insecticidas ya han sido detectados en algunos retornos de riego.

Otra consecuencia relacionada con la contaminación de los recursos es la acumulación de sales, la cual causa la alcalinización y sodificación de los suelos, conduciendo a la desertificación de las zonas agrícolas, lo cual reduce la producción a niveles mínimos y presenta una difícil recuperación de los mismos.

Igualmente, la contaminación de las aguas subterráneas por nitratos es perjudicial para los humanos. Así, el nitrato es altamente soluble y está presente en una amplia variedad de fertilizantes que son usados con agua de riego a través de la fertirrigación.

Finalmente, y también en relación a la componente ambiental del riego, el ascenso de la capa freática, causada por un ineficiente control del riego y el drenaje, causa salinidad en los suelos y consecuentemente reducción las cosechas.

Otras consecuencias negativas de la incorrecta gestión del riego están relacionadas con el encharcamiento asociado al pobre drenaje natural, dosis de riego mayores de las que el suelo puede infiltrar, o ausencia de sistemas de drenaje para eliminar el exceso de agua de la zona radicular.

Finalmente la consecuencia final de la deficiente gestión del riego es la reducción de las cosechas o de la calidad de las mismas, debido a la ocurrencia de déficit de agua a lo largo del ciclo del cultivo causado por riegos mal planificados.

Ante esta situación, surgen alternativas para mejorar la gestión del riego como son la implementación de servicios de formación y transferencia de tecnología para agricultores con la ayuda de organismos públicos, incluyendo universidades y centros de investigación. En relación con estas medidas la adopción de prácticas para mejorar la gestión del agua en el suelo, evitando la escorrentía superficial y reduciendo las tasas de evaporación por medio del uso de residuos de los cultivos sobre la superficie del suelo, son algunas de las prácticas propuestas, permitiendo un significativo ahorro de agua a nivel de parcela.

Para reducir el efecto de la contaminación de los recursos surge la utilización de cultivos tolerantes a sales y otros iones tóxicos para mantener los niveles de cosecha dentro de los

umbrales de rentabilidad. Este aspecto es aún más importante en el caso que el agua disponible para riego presente niveles elevados de sales. Igualmente, la instalación de sistemas de drenaje sub-superficiales para la eliminación de los excesos de agua en el perfil del suelo y evitar la acumulación de sales, es otra medida conducente a la mejora de los sistemas agrarios de regadío.

Finalmente se perfila como esencial el establecimiento de programas de asesoramiento sobre la gestión del riego a nivel de parcela y zona regable para caracterizar la situación actual e identificar mejoras en uso del agua. Así, algunas de las funciones de estos programas sería la utilización de procedimientos para la programación de riegos (idealmente en tiempo real) adaptados al cultivo, suelo y condiciones climáticas encontradas en parcela. Entre los métodos y sensores disponibles, dos son los más usados: basados en medidas en suelo y basados en medidas en planta.

MEJORAMIENTO DE LA GESTIÓN DEL RIEGO

Dentro de las alternativas para la mejora de la gestión del riego surgen algunas metodologías aplicadas con éxito en diferentes zonas regables del mundo. Así, el riego deficitario, el empleo de Sistemas de Información Geográfica o de técnicas de teledetección, y el empleo de la productividad del agua como indicador de la mejora de la gestión del riego, son algunas de las metodologías que se describen a continuación.

Riego deficitario

El riego deficitario se ha demostrado como una herramienta útil para mejorar el manejo del riego a nivel de parcela para condiciones áridas y semi-áridas. Trabajos previos sobre riego deficitario en frutales se han realizado sobre melocotón (Girona *et al.*, 2005a), almendro (Romero *et al.*, 2004; Girona *et al.*, 2005b; Romero *et al.*, 2006; Goldhamer *et al.*, 2006), ciruelo (Intrigliolo y Castel, 2006), olivar (Tognetti *et al.*, 2006) y cítricos (Velez *et al.*, 2007).

Igualmente el análisis sobre riego deficitario en cultivos herbáceos se han realizado en cultivos como el maíz ((Payero *et al.*, 2006; Farre y Faci, 2006), algodón (Jalota *et al.*, 2006; Falkenberg *et al.*, 2007), trigo (Jalota *et al.*, 2006), sorgo (Farre y Faci, 2006), cebolla y remolacha (Fabeiro *et al.*, 2003).

Girona *et al.*, (2005a) analizó la respuesta a diferentes regímenes de riego deficitario en melocotón. Así, se determinó que riegos deficitarios durante la etapa II de crecimiento (desarrollo de fruto) y/o durante post-cosecha redujo significativamente el crecimiento vegetativo de los árboles y la producción no se vio afectada en ningún régimen de riego hasta el cuarto año, cuando la cosecha disminuyó ligeramente en algunos regímenes de riego deficitario.

Estudios similares fueron realizados en almendro, aplicando riego deficitario controlado durante la fase de llenado de grano (Girona *et al.*, 2005b). Así, durante los dos primeros años la acumulación de materia seca no decreció, sin embargo, sí se redujo durante el tercer y cuarto año de experimento debido a un agotamiento de las reservas. También en almendro, Goldhamer *et al.*, (2006) analizaron los impactos de tres diferentes tratamientos de estrés hídrico. El tratamiento con mayor éxito en términos de cosecha (tamaño de fruta mas carga) fue aquel que impuso un riego deficitario sostenido aplicando un porcentaje concreto de las demandas óptimas durante la totalidad de campaña de riego. También Romero *et al.*, (2004) analizó la influencia de algunas estrategias de riego deficitario controlado con riego por goteo subterráneo. Así, el riego deficitario controlado, con un severo recorte de agua durante la fase de llenado (20% ETc), y un riego en post-cosecha del 75% de la ET fue una estrategia adecuada en almendros en condiciones semiáridas, ahorrando una cantidad significativa de agua (220-273 mm / año).

Los efectos del riego deficitario sobre la cosecha y el desarrollo vegetativo también han sido analizados en olivar. Así, algunos autores (Tognetti *et al.*, 2006) determinaron que la disponibilidad de agua antes de floración y durante las primeras fases de crecimiento de fruto podría tener efecto sobre el peso del fruto, pero no durante el verano. Así, se recomienda el riego del olivo desde comienzo de endurecimiento de hueso. Comparando diferentes tratamientos, el riego deficitario durante el verano

mejoró las relaciones agua – planta con respecto a otras estrategias de riego deficitario (Tognetti *et al.*, 2005). Resultados similares fueron obtenidos para cítricos. Así, tratamientos de riego deficitario en cítricos permitió ahorros estaciones de entre el 12 y el 18% en ensayos realizados en España (Velez *et al.*, 2007).

También han sido aplicadas estrategias de riego deficitario a cultivos herbáceos como el maíz. Así, Payero *et al.*, (2006) determinaron que estrategias para incrementar la productividad del agua por medio del riego deficitario no fueron correctas debido a que la cosecha en este cultivo se incrementa de forma lineal con el riego estacional.

Otros trabajos analizaron la productividad del agua para sistemas con algodón – trigo en estrategias de riego deficitario (Jalota *et al.*, 2006), determinando que las etapas del cultivo más sensibles al estrés hídrico fueron de floración a la formación de cápsulas en algodón, y la fase de desarrollo del grano en trigo.

Otros estudios compararon la respuesta del maíz y sorgo en condiciones de riego deficitario en un ambiente mediterráneo (Farre y Faci, 2006). La cosecha de maíz fue superior a la de sorgo en condiciones óptimas de riego, mientras que el sorgo tuvo mejor cosecha que el maíz con moderados y severos déficit de agua, debido a un mayor índice de cosecha y una mayor eficiencia en el uso del agua. Así, el sorgo podría ser una buena alternativa al maíz en condiciones de riego limitado en climas semi-áridos.

Para remolacha, algunos autores (Fabeiro *et al.*, 2003) analizaron la producción y calidad bajo riego deficitario controlado en climas semi – áridos. Así, el efecto del riego deficitario en tres etapas del cultivo (desarrollo vegetativo, engrosamiento de raíz y maduración) fue analizado. El tratamiento con mayor cosecha y moderado consumo de agua fue aquel que causó restricciones ligeras, moderadas y severas en cada fase de las anteriores respectivamente. Por el contrario, estrategias sin restricciones en las primeras etapas del cultivo fueron etiquetadas como las menos recomendables.

Finalmente, algunos análisis sobre riego deficitario han empleado nuevas tecnologías como la teledetección. Así, Falkenberg *et al.*, (2007) con una cámara infrarroja distinguió entre estrés biótico y abiótico (sequía) con la asistencia de trabajo de campo. Así, el riego deficitario hasta el 75% de la ETc no tuvo

impacto sobre la cosecha de fibra de algodón, indicando un considerable ahorro de agua sin afectar a la cosecha.

A modo de conclusión, el ahorro de agua obtenido con estas técnicas ayudaría a promover el uso de técnicas de riego deficitario en áreas con baja disponibilidad de agua, y se presenta como una alternativa de gran futuro en Latinoamérica.

Sistemas de Información Geográfica

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son una excelente herramienta para mejorar la gestión del riego. Así, Calera et al., (1999) aplicaron herramientas de SIG para el uso sostenible de los recursos hídricos en España. Estos sistemas han sido empleados para integrar información de diferentes orígenes tales como teledetección o trabajos de campo, permitiendo a los usuarios la visualización de esta información y participar en el proceso de toma de decisiones. Similar integración ha sido realizada por Ray y Dadhwal (2001) al estimar la evapotranspiración de los cultivos empleando técnicas de teledetección y SIG en India.

Herramientas similares fueron empleadas por Fortes *et al.*, (2005) usando un SIG para la programación de riegos por medio de un modelo de simulación para mejorar la gestión del agua en Uzbekistán, o por George et al. (2004) usando un SIG para incorporar modelos de programación de riegos en arroz basado en un balance de agua diario. Otras aplicaciones SIG orientadas a la gestión del riego han sido desarrolladas por Todorovic y Steduto (2003), Singh *et al.*, (2006) y Satti y Jacobs (2004).

Finalmente, Playán *et al.*, (2007) desarrollaron una base de datos para la mejora del manejo del riego a nivel de zona regable en el Valle del Ebro (España). Los objetivos de este software fue manejar información a nivel de zona regable para promover la mejora las prácticas de manejo por parte de los agricultores.

Teledetección

A pesar de que la escala de las técnicas de teledetección tradicionalmente ha sido la zona regable o cuenca, debido al

significativo avance de esta herramienta en la gestión del riego es necesario su análisis.

El empleo de técnicas de teledetección para la determinación de la evapotranspiración real de los cultivos ha mejorado de forma muy significativa la gestión del agua de riego. Así, Tasumi y Allen (2006) y Allen *et al.*, (2007a) emplearon un modelo de balance de energía basado en teledetección para la determinación de la evapotranspiración real a escala de zona regable y cuenca. Este modelo llamado METRIC ha sido usado en EEUU para la regulación de derechos de agua y planificación (Allen *et al.*, 2005). Así, METRIC ha sido aplicado con imágenes Landsat 5 en Idaho, California y Nuevo México para predecir la evapotranspiración estacional y mensual, contabilización de derechos de agua, empleo de modelos de agua subterránea, y la determinación de coeficientes de cultivo y su variabilidad entre agricultores (Allen *et al.*, 2007a, Allen *et al.*, 2007b). Los resultados sugieren que METRIC y otros modelos similares tienen un sustancial compromiso entre eficiencia, exactitud y coste para estimar los flujos de evapotranspiración de zonas regadas.

Un modelo similar como SEBAL también ha sido empleado en varias zonas regables (Bastiaanssen *et al.*, 1998a,b). Así, Bastiaanssen y Bos (1999) determinaron indicadores de funcionamiento en zonas regables basándose en información procedente de satélites. Un gran avance de esta metodología es la estandarización en la toma de datos entre diferentes zonas regables. Similar análisis se realizó en India por Ray *et al.*, (2002) determinando la disponibilidad de agua y el efecto de los sistemas de distribución sobre la uniformidad en el reparto de los recursos hídricos. Otras aplicaciones empleando técnicas de teledetección fueron realizadas por Bandara (2003) con la monitorización de la gestión del riego en Sri Lanka con medidas de satélite de alta frecuencia durante la estación seca. En este caso, el satélite NOAA se empleó para analizar la gestión del riego en 3 grandes zonas regables. Otros trabajos se han centrado en la integración de modelos como el descrito por FAO – 56 (Allen *et al.*, 1998) con técnicas de teledetección, como los desarrollados por Er-Raki *et al.*, (2007) para estimar la evapotranspiración real del trigo bajo diferentes tratamientos de riego en una región semi-árida de Marruecos. Finalmente, otras aplicaciones de teledetección se han

centrado en la estimación de cosecha, agua aplicada a los cultivos o la eficiencia de aplicación a nivel de parcela, desarrollados en el trabajo de Mo *et al.*, (2005).

Productividad del agua

La productividad del agua es un indicador útil para la gestión del riego. Así, para mejorar este indicador la gestión deberá centrarse en incrementar la cosecha reduciendo el agua aplicada. Si bien la productividad del agua puede definirse de varias maneras, el término siempre representa la cosecha obtenida frente a la cantidad de agua necesaria para obtener dicha cosecha.

En relación con el incremento de la productividad del agua, algunos autores han indicado que la mejora de la gestión del riego genera mejores resultados económicos que la mejora de las infraestructuras de riego (Playán y Mateos, 2006). Otros autores indican la dificultad de la mejora de la gestión del riego en agricultura debido a la falta de recetas generales para llevar a cabo esta mejora debido a la gran diversidad técnica y socioeconómica encontrada en el medio agrario (Zoebel, 2006).

Algunos autores indicaron la necesidad de incrementar la productividad del agua de los cultivos (Zwart y Bastiaanssen, 2004) reduciendo la cantidad de agua aplicada e induciendo déficit en los cultivos. Estos autores sugieren la determinación de la productividad del agua empleando técnicas de teledetección para detectar variaciones espaciales en la productividad.

CONCLUSIONES

El riego en Latinoamérica tiene un alto potencial para mejorar el nivel de vida de la población. Sin embargo, la expansión del riego y la intensificación tiene que considerar restricciones medioambientales, cuidando de que el riego no contribuya a la degradación de las tierras y las aguas. Así, el objetivo final en las zonas regables debe de ser aumentar la producción, potenciando el incremento de la eficiencia en el uso del agua, por medio de la mejora de la gestión de los recursos hídricos disponibles.

REFERENCIAS

Allen, R.G., Tasumi, M. and Trezza, R. 2007a. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) - Model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. In press.

Allen, R.G., Tasumi, M., Morse, A., Trezza, R., Kramber, W. and Lorite, I.J. 2007b. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) - Applications. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. In press.

Allen, R.G., Tasumi, M., Morse, A. and Trezza, R. 2005. A Landsat-based energy balance and evapotranspiration model in Western US water rights regulation and planning. *Irrigation and Drainage System*, 19: 251-268.

Bandara, K.M.P.S. 2003. Monitoring irrigation performance in Sri Lanka with high-frequency satellite measurements during the dry season. *Agricultural Water Management*, 58: 159-170.

Bastiaanssen, W.G.M. and Bos, M.G. 1999. Irrigation performance indicators based on remotely sensed data: a review of literature. *Irrigation and Drainage System*, 13: 291-311.

Bastiaanssen, W.G.M., Menenti, M., Feddes, R.A. and Holtslag, A.A.M. 1998a. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) 1. Formulation. *Journal of Hydrology*, 212-213: 198-212.

Bastiaanssen, W.G.M., Pelgrum, H., Wang, J., Ma, Y., Moreno, J.F., Roerink, G.J., and Van Der Wal, T. 1998b. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) 2. Validation. *Journal of Hydrology*, 212-213: 213-229.

Calera-Belmonte, A., Medrano-González, J., Vela-Mayorga, A. and Castaño-Fernández, S. 1999. GIS tools applied to the sustainable management of water resources. Application to the aquifer system 08-29. *Agricultural Water Management*, 40: 207-220.

Er-Raki, S., Chehbouni, J., Guemouria, N., Duchemin, B., Ezzahar, J. and Hadria, R. 2007. Combining FAO-56 model and ground-based remote sensing to estimate water consumptions of wheat crops in a semi-arid region. *Agricultural Water Management*, 87: 41-54.

- Fabeiro C., Martín de Santa Olalla, F., López, R. and Domínguez, A. 2003. Production and quality of the sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivated under controlled deficit irrigation conditions in a semi-arid climate. *Agricultural Water Management*, 62: 251-227.
- Falkenberg, N., Piccini, G., Cothren, J.T., Leskovar, D.I. and Rush, C.M. 2007. Remote sensing of biotic and abiotic stress for irrigation management of cotton. *Agricultural Water Management*, 87: 23-31.
- Farré, I. and Faci, J.M. 2006. Comparative response of maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) to deficit irrigation in a Mediterranean environment. *Agricultural Water Management*, 83: 135-143.
- Fortes, P.S., Platonov, A.E. and Pereira, L.S. 2005. GISAREG - A GIS based irrigation scheduling simulation model to support improved water use. *Agricultural Water Management*, 77: 159-179.
- George, B.A., Raghuwanshi, N.S. and Singh, R. 2004. Development and testing of a GIS integrated irrigation scheduling model. *Agricultural Water Management*, 66, 221-237.
- Girona, J., Gelly, M., Mata, M., Arbonés, A., Rufat, J. and Marsal, J. 2005a. Peach tree response to single and combined deficit irrigation regimes in deep soils. *Agricultural Water Management*, 72: 97-108.
- Girona, J., Mata, M. and Marsal, J. 2005b. Regulated deficit irrigation during the kernel-filling period and optimal irrigation rates in almond. *Agricultural Water Management*, 75: 152-167.
- Goldhamer, D.A., Viveros, M. and Salinas, M. 2006. Regulated deficit irrigation in almonds: effects of variations in applied water and stress timing on yield and yield components. *Irrigation Science*, 24: 101-114.
- Intrigliolo, D.S. AND Castel, J.R. 2006. Performance of various water stress indicators for prediction of fruit size response to deficit irrigation in plum. *Agricultural Water Management*, 83: 173-180.
- Jalota, S.K., Sood, A., Chahal, G.B.S. and Choudhury, B.U. 2006. Crop water productivity of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) - wheat (*Triticum aestivum* L.) system as influenced by deficit irrigation, soil texture and precipitation. *Agric. Water Management*, 84: 137-146.

- Mo, X., Liu, S., Lin, Z., Xu, Y., Xiang, Y. and Mc Vicar, T.R. 2005. Prediction of crop yield, water consumption and water use efficiency with a SVAT-crop growth model using remotely sensed data on the North China Plain. *Ecological Modelling*, 183: 301-322.
- Oster, J.D. and Wichelns, D. 2003. Economic and agronomic strategies to achieve sustainable irrigation. *Irrigation Science*, 22: 107-120.
- Payero, J.O., Melvin, S.R., Irmak, S. and Tarkalson, D. 2006. Yield response of corn to deficit irrigation in a semiarid climate. *Agricultural Water Management*, 84: 101-112.
- Playán, E. and Mateos, L. 2006. Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity. *Agricultural Water Management*, 80: 100-116.
- Playán, E., Cavero, J., Mantero, I., Salvador, R., Lecina, S., Faci, J.M., Andrés, J., Salvador, V., Cárdena, G., Ramón, S., Lacueva, J.L., Tejero, M., Ferrie, J. and Martínez-Cob, A. 2007. A database program for enhancing irrigation district management in the Ebro Valley (Spain). *Agricultural Water Management*, 87: 209-216.
- Ray, S.S. and Dadhwal, V.K. 2001. Estimation of crop evapotranspiration of irrigation command area using remote sensing and GIS. *Agricultural Water Management*, 49: 239-249.
- Ray, S.S., Dadhwal, V.K. and Navalgund, R. 2002. Performance evaluation of an irrigation command area using remote sensing: a case study of Mahi command, Gujarat, India. *Agricultural Water Management*, 56: 81-91.
- Romero, P., Botia, P. and García, F. 2004. Effects of regulated deficit irrigation under subsurface drip irrigation conditions on water relations of mature almond trees. *Plant and soil*, 260: 155-168.
- Romero, P., García, J. and Botia, P. 2006. Cost-benefit analysis of a regulated deficit-irrigated almond orchard under subsurface drip irrigation conditions in Southeastern Spain. *Irrigation Science*, 24: 175-184.
- Satti, S.R. and Jacobs, J.M. 2004. A GIS-based model to estimate the regionally distributed drought water demand. *Agricultural Water Management*, 66: 1-13.

Singh, R., Jhorar, R.K., Van Dam, J.C. and Feddes, R.A. 2006. Distributed ecohydrological modelling to evaluate irrigation system performance in Sirsa district, India II: Impact of viable water management scenarios. *Journal of Hydrology*, 329: 714-723.

Tasumi, M. and Allen, R.G. 2006. Satellite-based ET mapping to assess variation in ET with timing of crop development *Agricultural Water Management*. In press.

Todorovic, M. and Steduto, P. 2003. A GIS for irrigation management. *Physics and Chemistry of the Earth*, 28: 163-174.

Tognetti, R., D'Andria, R., Morelli, G. and Alvino, A. 2005. The effect of deficit irrigation on seasonal variations of plant water use in *Olea europaea* L. *Plant and soil*, 273: 139-155.

Tognetti, R., D'Andria, R., Lavini, A. and Morelli, G. 2006. The effect of deficit irrigation on crop yield and vegetative development of *Olea europaea* L. (cvs. Frantoio and Leccino). *European Journal of Agronomy*, 25: 356-364.

Vélez, J.E., Intrigliolo, D.S. and Castel, J.R. 2007. Scheduling deficit irrigation of citrus trees with maximum daily trunk shrinkage. *Agricultural Water Management*. In press.

Zoebel, D. 2006. Is water productivity a useful concept in agricultural water management? *Agricultural Water Management*, 84: 265-273.

Zwart, S.J. and Bastiaanssen, W.G.M. 2004. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. *Agricultural Water Management*, 69: 115-133.

Zwart, S.J. and Bastiaanssen, W.G.M. 2007. SEBAL for detecting spatial variation of water productivity and scope for improvement in eight irrigated wheat systems. *Agricultural Water Management*, 89: 287-296.

ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS E INSTITUCIONALES DEL RIEGO. APORTES HACIA EL ANÁLISIS DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA AGRICULTURA BAJO RIEGO

Ivan del Callejo V., Vladimir Cossio R. y Sonia Vasquez M.
Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA, Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia).

RESUMEN

En la literatura científica así como en documentación técnica de riego producida por instituciones estatales o no gubernamentales, se exponen preocupaciones, argumentos y las formas de abordar el tema de la “sostenibilidad”, basados sobre todo en la prioridad que tiene la provisión de alimentos y la preservación de un recurso vital como es el agua. Más allá de las consideraciones técnicas del riego, tratadas generalmente en literatura científica especializada, existen diferentes enfoques que abordan la problemática desde una perspectiva más amplia, considerando principalmente aspectos socioeconómicos e institucionales de la gestión del agua. De estos enfoques, cuatro principales corrientes son discutidas en este documento: el denominado “Nuevo Institucionalismo”, que privilegia aspectos económicos y financieros como la recuperación de costos o el rol del mercado en la (re)asignación de los derechos de agua. Un segundo enfoque es el de “Gestión de Recursos comunes”, que releva el rol de organizaciones locales en la gestión colectiva del agua y las posibilidades de “diseñar instituciones” duraderas, considerando el involucramiento de grupos de interés y no solo a las autoridades. El tercer enfoque (o grupo de enfoques) identificado es el de “Empoderamiento”. En éste se discuten temas no abordados por los primeros como ser: relaciones de poder, autonomía, relaciones de género y los derechos y acceso al agua como elementos básicos que configuran la gestión del agua en sistemas de riego. Finalmente una corriente llamada “Post Institucionalismo” discute otros conceptos: “bricolage” institucional, la incertidumbre o el pluralismo legal, como elementos de análisis de la complejidad y dinámica en la que se desarrolla el riego. A manera de conclusión se discuten los diferentes niveles en que puede ser analizada la sostenibilidad

de la agricultura bajo riego, identificando algunos vacíos de conocimiento y la necesidad de integrar varios de los aspectos discutidos en los diferentes enfoques.

ABSTRACT

Within both, scientific and technical irrigation literature, some concerns, arguments and approaches to sustainability are exposed, based on the priority given to food production and the preservation of water as a basic resource. Beyond technical considerations about irrigation, as dealt by very specialized scientific literature, different approaches related to sustainable irrigated agriculture are identified, dealing with the topic from a broader perspective by considering socio economic and institutional aspects of irrigation management. In this document, four main approaches are discussed: the “New institutionalism”, emphasizes economic and financial issues like cost recovery and the role of market in water rights reallocation. A second approach is called “Common pool resources management”. This approach highlights the role of local organizations and institutions on collective water management and the possibilities to design “robust institutions” by considering the involvement of different stakeholders and not only authorities. A third approach is identified as “empowerment approach”. Within this approach, other topics, not dealt by the formers, are discussed, for example: power relations, autonomy, gender relations, and water rights and access as key elements that configure water management practices in irrigation systems. Finally, a fourth approach is called “Post Institutional approach”. Within this, concepts like “institutional bricolage”, uncertainty, legal pluralism are used as analytical elements in order to understand the dynamics and complexities in which irrigation develops. As conclusions, the different levels in which sustainability can be analyzed are discussed, identifying key knowledge gaps and the need to integrate some of the elements found in the different approaches.

INTRODUCCIÓN

Hace varias décadas que se empieza a hablar de la “sostenibilidad” en diferentes ámbitos, especialmente en el relacionado al aprovechamiento de los recursos naturales, dadas las acciones humanas que han ido deteriorando o agotando los mismos. Este paradigma ha orientado distintas iniciativas desde los gobiernos y sobre todo en esferas de discusión internacional. En cierto momento el tema se volvió más que en una preocupación generalizada, en una condición, pero a su vez en una forma segura, de conseguir fondos para la implementación de diferentes proyectos y programas de desarrollo, sean estos implementados por agencias de gobierno o por organismos no gubernamentales.

En esferas académicas el tema ha sido también tratado desde diferentes perspectivas. Unas corrientes que buscan hacer explícito el contenido y las implicancias del concepto, otras que abogan por su importancia pero sin aterrizar en medidas concretas que puedan ser implementadas en la práctica, otras que tienden más bien a ser prescriptivas en el sentido de hacer recomendaciones basadas en experiencias o modelos elaborados en países “Desarrollados” para ser aplicados en países del “tercer mundo”. En fin, después de décadas de discusión sobre el tema, al parecer quedan algunos elementos básicos que describen la noción de la sostenibilidad como “la necesidad de asegurar que los recursos naturales que se vean involucrados en actividades económicas sean preservados en el tiempo para las generaciones venideras”.

La agricultura bajo riego es una de las actividades humanas en las que la preocupación por hacerla “sostenible”, se torna cada vez más evidente. Esta preocupación radica en que la agricultura de regadío se relaciona con dos problemáticas vitales para la humanidad que son inseparables y que son cada vez más críticas: la provisión de alimentos de manera sostenida y el acceso y uso del agua.

Este capítulo se basa en el estudio del estado del arte relacionado a temas socioeconómicos e institucionales desarrollado en el Proyecto KASWARMI (Knowledge Assessment

on Sustainable Water Resources Management for Irrigation)¹. En éste, luego de una amplia revisión de literatura, principalmente sobre aspectos socioeconómicos e institucionales del riego, se discuten dos aspectos:

- 1- Los distintos niveles en los que se puede analizar la sostenibilidad de la agricultura bajo riego y la necesidad de tomar en cuenta las interrelaciones entre estos niveles.
- 2- La necesidad de abordar la problemática desde una perspectiva integral.

Unos de los resultados de este análisis plantea la recurrencia de temas institucionales, a la hora de abordar cualquier problemática de riego aunque esta sea en principio eminentemente técnica.

I. DIFERENTES ABORDAJES EN EL ANÁLISIS DE LA AGRICULTURA BAJO RIEGO

Hace más de tres décadas la preocupación central alrededor de la agricultura, pasaba principalmente por temas tecnológicos, en la búsqueda de cubrir una demanda de alimentos rápidamente creciente. Actualmente se podría decir que se han llegado a niveles de productividad insospechados, fruto de mejoras tecnológicas en distintos componentes del proceso productivo. Everson y Gollin, (2003), citado por Zhang, W (s/f), haciendo una retrospectiva de los diferentes factores que influyeron en el incremento mundial de alimentos, atribuyen un 21% del incremento a la utilización de variedades mejoradas, un 20% a la expansión de la frontera agrícola y el restante 59% a la intensificación en el uso de insumos agropecuarios, entre los que se cuenta al riego.

¹ El proyecto KASWARMÍ fue ejecutado conjuntamente por un consorcio de universidades y centros de investigación de la región y tres universidades europeas, con el objetivo de establecer una base de conocimiento sobre la sostenibilidad de la agricultura regada en zonas semiáridas de Sur América. Este capítulo se basa también en la presentación realizada en la "Reunión Suramericana para el manejo y sostenibilidad del riego en regiones áridas y semiáridas (Salvador-Bahia, Brasil, Octubre 2008).

Alrededor de los años 80 emergen sin embargo, corrientes contrapuestas a este desarrollo desenfrenado de modernización de la agricultura, buscando equilibrar objetivos de productividad y de rentabilidad con objetivos de equilibrio ambiental. En esta línea aparecen nuevas preocupaciones como ser la conservación del suelo, del agua y de otros recursos naturales que se han visto amenazados por los efectos de la revolución verde.

En cuanto al riego, de manera paralela al desarrollo agropecuario, los mayores avances en el campo tecnológico corresponden a la modernización en la aplicación de agua a nivel de parcela, desarrollándose diversas tecnologías de ahorro y dosificación de riego, como son el riego por aspersión, y goteo. Si bien se han alcanzado también niveles importantes en el ahorro del agua y en los niveles de productividad gracias a estas tecnologías, se evidencian otros temas como ser la provisión de energía, limitaciones financieras, el acceso a información y nuevos conocimientos (especializados) que en muchos casos constituyen factores limitantes que dificultan una amplia difusión de estas tecnologías sobre todo para pequeños agricultores o hacia comunidades alejadas.

Haciendo una revisión amplia de la literatura especializada en riego, uno encuentra publicaciones científicas principalmente concentradas en los temas anteriormente mencionados: por una parte se tiende a ver la “sostenibilidad de la agricultura regada” como un tema eminentemente tecnológico, de optimización de insumos productivos, de eficiencia y de rentabilidad (Gruhn, *et al.*, 2000; Khan, 2006; Haie y Keller, 2008; Wichelns y Oster, 2006).

Por otra parte, en el análisis de la agricultura en América Latina, promovido por esta corriente de modernización, se ha hecho bastante énfasis en la agricultura campesina, poniendo en cuestión la “viabilidad” de esta forma de hacer agricultura. Este cuestionamiento se basa principalmente en enfoques de economía neoclásica, viendo la agricultura campesina como “desconectada” del mercado y por lo tanto fuera de la tendencia global de modernización. Ineficiencia, baja rentabilidad, una pobre tecnificación de la agricultura, baja productividad, pobre especialización, agricultura de subsistencia, retraso, son algunos de los calificativos resultantes.

En cuanto al manejo del agua de riego en estos países, se han desarrollado también diferentes recomendaciones para “modernizar” y hacer más eficiente el uso del agua. Además de la tecnificación del riego, se ha prestado en los últimos años bastante atención en el campo de la gestión del agua, principalmente en su dimensión institucional, buscando implementar reformas “innovadoras” que aseguren “instituciones duraderas” y “eficientes”. En esta línea, en países con una importante presencia pública en el sector riego, se ha planteado por ejemplo medidas que promuevan la participación del sector privado como condición inequívoca para mejorar la eficiencia y el desempeño de los sistemas de riego, argumentando problemas de burocracia, deficiencias técnicas, injerencia política y corrupción en los sistemas de riego y administración existentes (Bromley, *et al.*, 1980; Small y Carruthers, 1991; Small y Svendsen, 1992).

Por otro lado, en países con una fuerte tradición de manejo colectivo del agua de riego, la receta ha sido la misma, solo que respaldada por otro tipo de argumentos, siendo el más fuerte el de las ineficiencias e “insostenibilidad” en el manejo de recursos de uso común bajo el denominativo de “la tragedia de los comunes” (Hardin, 1968; Ostrom, 1990).

De forma paralela al desarrollo tecnológico, en las últimas dos décadas, las ciencias sociales han contribuido a desarrollar un entendimiento más amplio de la problemática del riego y de la agricultura en relación al manejo local del agua y de las dinámicas campesinas. Es el caso de estudios etnográficos que describen detalladamente la diversidad de formas organizativas y de prácticas de manejo del agua, inmersos a su vez en una diversidad de manifestaciones culturales y de procesos históricos. Estos estudios, además de analizar la complejidad interna de la gestión colectiva del agua, han ayudado a develar las interrelaciones de estas formas de manejo, con los esquemas y estructuras estatales, así como la influencia de políticas o visiones globales predominantes en cada país (ver para la región andina Gelles, 1984; Trawick, 2001; Guillet, 1995; Gerbrandy y Hoogendam, 1998). Algunos de estos estudios brindan también importantes evidencias que rebaten el postulado de la tragedia los comunes como es planteado por Hardin, (1968).

Todo este cúmulo de conocimientos se ha ido desarrollando sin embargo con muy poca conexión entre las distintas disciplinas. Siguiendo el planteamiento hecho por Mollinga, (1998), es posible agrupar los estudios en riego alrededor de tres grandes grupos que a su vez se relacionan estrechamente con el accionar y las intervenciones promovidas por agencias financieras y por los gobiernos. El primer grupo corresponde a temas ingenieriles (ingeniería de riego) cuyo foco de atención es la infraestructura, temas constructivos, diseño, eficiencias de riego y sobre los requerimientos de agua de los cultivos. El segundo grupo se refiere a la “economía del riego” que, fundamentada principalmente en un enfoque de economía neo clásica, prioriza el análisis financiero de las inversiones hechas por el Estado y por donantes, desarrollando instrumentos de evaluación de la “factibilidad” (evaluación ex ante) y de los impactos (evaluación ex post) de dichas inversiones.

El tercer grupo corresponde a estudios sobre la gestión de riego, estudios que emergieron ante los muchos fracasos o resultados no esperados en sistemas construidos y en muchos casos también manejados por el estado. En este grupo abundan los trabajos que exponen las deficiencias y problemas en temas organizativos, de distribución del agua y del mantenimiento de los sistemas.

La escasa articulación entre esos tres grupos de estudios explica por qué a la hora de analizar la sostenibilidad de la agricultura regada, se tiende a separar o priorizar temas en uno de estos ejes sin tomar en cuenta los otros componentes.

II. ELEMENTOS CONCEPTUALES PARA TRATAR LA SOSTENIBILIDAD DE LA AGRICULTURA REGADA

Nociones en torno a la “sostenibilidad” de actividades económico-productivas, giran en torno a dos aspectos principales que parecen ser mutuamente dependientes: por una parte se busca que las actividades productivas y sobre todo sus resultados (ingresos, beneficios, impactos) sean duraderos en el tiempo y por otra parte que los recursos base (en el caso de la agricultura el suelo y el agua) no sean deteriorados y mantengan su capacidad productiva.

En el caso de la agricultura bajo riego, estas dos nociones han sido enfatizadas en diferente grado por las distintas disciplinas o grupos de estudios según se discutió anteriormente. Tonner y Franks (2006) plantean cuatro componentes o criterios para analizar la sostenibilidad, pudiendo estos ser también aplicados al riego. Estos componentes son:

- Sostenibilidad financiera, de modo que el sistema pueda continuar sin el soporte de financiamiento externo.
- Sostenibilidad institucional, en el sentido de integrar las instituciones existentes (pudiendo ser estas “formales” y “no formales”).
- Sostenibilidad ambiental, de modo que se maximice el uso sostenible de los recursos naturales minimizando los desperdicios y la contaminación.
- Sostenibilidad social, de modo que se minimice la exclusión social, complementando así el contexto cultural local.

Asumiendo los cuatro niveles o ejes de sostenibilidad aplicados a la agricultura bajo riego, en el campo ambiental es previsible la consideración de dos temas principales: Por una parte la afectación del recurso agua como tal, ya sea por la sobre explotación de este recurso finito (más evidente en el caso del uso de aguas subterráneas) o por el deterioro de las fuentes de agua (contaminación). Por otra parte, en relación directa a las actividades agrícolas, se analizan también temas de degradación de los suelos (compactación, salinización, erosión y contaminación), derivados generalmente del uso intensivo de insumos o de “prácticas inadecuadas” de riego. La pérdida de biodiversidad es también una consecuencia prevista de la intensificación agrícola.

En este tema, si bien existen estándares y los protocolos necesarios para evaluar el deterioro ambiental además de recomendaciones técnicas para mitigar sus efectos y también las regulaciones en cada país que prevén y previenen sobre estos impactos ambientales, la principal limitante parece ser la implementación práctica de estos procedimientos y la carencia de mecanismos claros y operativos para poner en funcionamiento las regulaciones existentes. Problemas comunes en la mayor parte de los países de la región son: la falta de información sistematizada, deficiencias en capacidades instaladas y de personal técnico en

las instituciones reguladoras, dinámicas institucionales y burocracia.

En aspectos financieros, el eje central se relaciona a la capacidad de las entidades gestoras (del riego) de recuperar sobre todo los costos de operación y mantenimiento del sistema (cost recovery) e idealmente lograr en sistemas en los que el Estado invierte para su construcción, también la recuperación de los costos de inversión (full-cost recovery). En este tema, se han desarrollado diferentes modelos de gestión en búsqueda de tales objetivos.

Los temas sociales e institucionales han sido justamente los menos atendidos en forma práctica, aunque, como se describe más adelante, se han desarrollado diferentes enfoques que plantean algunas recomendaciones para su implementación, existiendo también una sobreposición con el criterio financiero, ya que se asume éste como una de las condiciones principales para la sostenibilidad de las organizaciones e instituciones de riego.

Tonner y Franks (2006), reconocen sin embargo la existencia de barreras que impiden alcanzar los mencionados componentes (o niveles) de sostenibilidad a la hora de implementar intervenciones aun siendo estas basadas en un “enfoque de procesos”. Estas barreras son:

- Las relaciones de poder, que son las que moldean procesos de intervención en función a las posibilidades de los distintos grupos de interés de involucrarse y tomar control de algunos de los factores presentes en dicho proceso, pero también de las decisiones que se toman en el nivel micro y las influencias de políticas macro sobre estos procesos.
- La segunda barrera se refiere a las dificultades de integrar las acciones y los productos de intervenciones en el contexto institucional local. Esto se debe a que, durante estos procesos de intervención, las organizaciones que lideran estos procesos usualmente tienden a “dominar” las instituciones asociadas, contrariamente al rol esperado de facilitadores en el desarrollo de capacidades locales en relación a propósitos específicos.

Estas dos barreras planteadas anteriormente, se concentran principalmente en aspectos socioeconómicos e institucionales, lo que podría llevar a suponer que los temas técnicos están resueltos, dado además el desarrollo tecnológico actual. Sin

embargo se ha comprobado en muchos casos que la implementación de medidas técnicas, pasa primeramente por “internalizar” estos procedimientos, protocolos, y planteamientos, desde las instituciones locales.

Lo planteado hasta aquí, nos lleva en el presente capítulo, a concentrarnos en temas institucionales y socioeconómicos en el análisis de la agricultura regada, para ello, se retoma el estudio desarrollado en el proyecto KASWARMI (Cossio *et al.*, 2007) sobre el estado del arte en estos temas.

Es necesario también aclarar que los cuatro criterios o componentes de análisis de la sostenibilidad pueden ser abordados en distintos niveles: desde el nivel de una parcela hasta la sostenibilidad en las políticas y en la gestión de recursos naturales en toda una región. Lo importante parece ser reconocer la existencia de estos diferentes niveles y tratar de identificar las principales interrelaciones entre estos.

III. ASPECTOS SOCIOECÓMICOS E INSTITUCIONALES DEL RIEGO: DIFERENTES ENFOQUES

En base a la revisión de literatura sobre temas socioeconómicos e institucionales se pueden identificar cuatro enfoques principales. Estos pueden ser agrupados como:

1. Nuevo Institucionalismo (junto a la denominada “Nueva Economía Institucional”)
2. Gestión de Recursos comunes (Common Pool Resources Management)
3. Enfoques de “Empoderamiento”
4. Post Institucionalismo.

En los siguientes párrafos se desarrollan los conceptos base utilizados por estos enfoques y de allí se desprenden algunos criterios importantes que son útiles para analizar la sostenibilidad del riego.

1. Nuevo Institucionalismo

Este enfoque está basado en las teorías de la Nueva Economía Institucional (NEI). Este concentra su atención en la administración de recursos hídricos basados en las “fuerzas de mercado”, que se supone representan un mecanismo más eficiente y seguro en la asignación y regulación del recurso. El Nuevo Institucionalismo, principalmente se centra en la creación de “incentivos financieros” o de otro tipo de incentivos creados por el mercado y por instituciones para mejorar la “eficiencia económica” en la gestión y uso de los recursos (Ostrom, 1992, 1997; Saleth y Dinar, 1999b; Boelens *et al.*, 2005).

Los conceptos clave bajo este enfoque son:

Instituciones

Dentro de este enfoque, las instituciones son concebidas como “entidades definidas por una configuración de normas legales, políticas y organizacionales; acuerdos y prácticas que están estructuralmente vinculadas y operacionalmente integradas dentro de un ambiente muy específico” (Saleth, 2004). En este enfoque se pone mayor atención en la estructura de las instituciones, es decir se asume que habrá una mejor gestión de los recursos a través del mejoramiento de la estructura institucional.

Sin embargo, varios investigadores abogan por la consideración no solo de la estructura de las organizaciones sino también de las características del contexto en que las instituciones están contenidas, como ser las condiciones socioeconómicas, políticas, culturales y ambientales (Saleth y Dinar, 1999b; Jayanatah y Crase, 2001). Así, “las instituciones pueden ser descompuestas (divididas) haciendo una distinción entre su estructura institucional (estructura de gobierno) y el ambiente institucional (marco de gobierno o gobernanza)” (Williamson, 1975; North, 1990 citado por Saleth, 2004). Las especificidades culturales y socioeconómicas de los países son considerados como parte del ambiente institucional (Dicke, 2000).

Este enfoque ha estado fuertemente vinculado con las políticas de ajuste estructural, reformas legales, privatización y descentralización promovidas a nivel nacional. En relación al riego, nuevas políticas y leyes para el sector hídrico han sido promovidas como medidas institucionales con el propósito de “incrementar la eficiencia” en la asignación y gestión del agua en varios de países en desarrollo (para Asia ver por ejemplo Bandaragoda, 2006; Molle, 2005).

Como una parte importante de estos procesos de ajuste estructural en el sector riego, en muchos países se han ido implementando también políticas y programas de transferencia de gestión de riego (Irrigation Management Transfer), especialmente sistemas de gran escala, desde las agencias del Estado a los usuarios, promoviendo además la participación de agentes privados como prestadores de servicios. Sin embargo, la aplicación de reformas tanto a nivel nacional como de los sistemas de riego han sido ampliamente cuestionados principalmente en relación a la falta de consideración de las condiciones locales y de las características específicas de gestión local de agua, y la forma vertical en que fueron generalmente aplicadas (i.e. Bandaragoda, 1998, 2006; Molle, 2005; Shah, T; van Koppen *et al.*, 2002).

En esta línea de pensamiento, y con el objetivo de reforzar medidas neoliberales, se ha utilizado también como argumento para promover una mayor participación privada y así la reducción de rol que cumplían los Estados y las propias organizaciones locales en el manejo de los recursos, la denominada “tragedia de los comunes” (Hardin, 1968). De esta manera, la implementación de regulaciones (como parte de las instituciones) son vistas como la solución para prevenir el uso libre (oportunista y/o abusivo) de los recursos (Dicke, 2000). Sin embargo, siguiendo la perspectiva del nuevo institucionalismo, se asume que es posible evitar la tragedia de los comunes en base a la formalización de los derechos de agua, al criterio de recuperación de costos y al principio de rendición de cuentas (accountability).

Derechos de Agua

La existencia de derechos de agua claros son identificados como una condición necesaria para el surgimiento de mercados de

agua, siguiendo la controversia ampliamente aceptada por economistas liberales que afirman que “la asignación del mercado será eficiente, una vez que existan derechos de propiedad ‘bien definidos’ y no atenuados” promoviendo así “cero costos de transacción” (Coase, 1960 citado en (Rosegrant y Binswanger, 1994). Bajo ese enfoque, los derechos de agua son vistos como un complemento legal de la infraestructura técnica e institucional, de modo que los tres elementos juntos son necesarios para una efectiva asignación y distribución de agua (Boelens, *et al.*, 2005).

Recuperación de costos y rendición de cuentas (accountability)

Se asume que para una gestión del agua adecuada, las agencias de riego deberían “vender sus servicios” a aquellos clientes que desean y son capaces de pagarles por estos, y por ende recuperar costos de manejo y parte de la inversión mediante esos pagos por parte de los usuarios. Se asume que la autonomía financiera es, junto a la recuperación de costos, el mecanismo más importante (identificado por neo-institucionalistas), para asegurar la responsabilidad y rendición de cuentas (accountability) (Boelens *et al.*, 2005).

2. Gestión de los Recursos Comunes (CPRM)

Así como el Nuevo Institucionalismo, la teoría de Gestión de los Recursos Comunes tiene un fuerte enfoque institucional, sobre la necesidad de adecuar instituciones para mejorar la gestión de recursos naturales. Sin embargo la privatización y la regulación estatal no han estado a la altura de las expectativas, algunas veces causando o acelerando la degradación de los recursos de propiedad común (Steins, *et al.*, 2000).

Considerando las particularidades de los recursos bajo gestión común, este enfoque ha promovido una larga discusión sobre los marcos institucionales que serían necesarios para su manejo. Una de las características importantes de este enfoque es la promoción de la gestión colectiva tomando en cuenta el involucramiento de grupos de interés y no solo a las autoridades democráticamente elegidas, basados en teorías o supuestos de “racionalidad

comunicativa”, promoviéndose así la formación de plataformas de cuencas o de otro tipo de plataformas de grupos de interés (Steins, *et al.*, 2000). Sin embargo, la crítica principal a este enfoque está en los supuestos relacionados a la racionalidad en la toma de decisiones, disfrazándose así la consideración de relaciones de poder entre los grupos de interés (Mtisi y Nicol, 2003b; Edmunds y Wolleberg, 2001; Cleaver, 2000).

Esta línea es reforzada por el planteamiento hecho por Ostrom (1990 y 1992) sobre los ocho “principios de diseño” para sistemas sostenibles de riego manejados por agricultores (FMIS), destacándose el potencial de este tipo de manejo. Este enfoque orientado al diseño institucional ha sido cuestionado por varios autores, argumentando que puede no ser aplicable en muchos casos (Steins, *et al.*, 2000), considerando las características complejas y particulares de la gestión del agua que se basa fundamentalmente en la acción colectiva (Cleaver, 2000).

3. Empoderamiento

Este enfoque emerge como una reacción directa al enfoque del “Nuevo Institucionalismo”, ya que plantea la reivindicación y reclamo contra injusticias, inequidades, favoritismos, etc. que evidentemente están presentes en cualquier forma de manejo y en el acceso a recursos naturales. Este enfoque se basa en los siguientes conceptos y consideraciones:

Instituciones

Las Instituciones, además de ser vistas como normas y reglas, son consideradas como procesos dinámicos en los cuales diferentes grupos de interés se reúnen, confrontan y negocian la inclusión de sus ideas e intereses dentro el diseño organizacional, técnico y normativo de un sistema (Boelens, 1998; Gelles 1984).

Si bien grupos de interés pueden ser parte de los mismos grupos de usuarios, en este enfoque, se quiere también sobresaltar los intereses explícitos e implícitos de partes externas que intervienen en procesos de diseño de riego. Básicamente se concibe que empoderar procesos de participación debe venir “desde adentro”, ya que se manifiestan como procesos de auto-

movilización y creación de autonomía. Aumentando la capacidad local para negociar y reclamar la toma de poder, son objetivos importantes y al mismo tiempo la perspectiva generalmente se extiende más allá del nivel del sistema de riego (Boelens, 1998).

Relaciones de poder

Uno de los ejes centrales de este enfoque son las relaciones de poder. El objetivo de empoderar involucra desafíos para organizaciones que trabajan en cooperación al desarrollo. En procesos de intervención, es necesario analizar las relaciones socio-económicas y otras dinámicas que generan vulnerabilidad y falta de poder, que pueden permitir interpretar las aspiraciones de la gente en un amplio contexto y desde una amplia perspectiva. Como resultado de esto, las intervenciones tendrán que poner algunas veces énfasis en objetivos materiales y algunas veces sobre el reclamo de derechos. En segundo lugar, la filosofía de empoderamiento obliga a las agencias de cooperación no solo a escuchar y considerar las percepciones y objetivos de personas con las cuales trabajan, sino a apoyar su protagonismo, limitándose ellos mismos a ser solo facilitadores (Murguialday, *et al.*, 2005).

Esto implica que el empoderamiento tiene fundamentalmente una dimensión individual pero también una dimensión colectiva. La dimensión individual implica un proceso a través del cual el excluido sube sus niveles de confianza, autoestima y capacidades para responder a sus propias necesidades. La dimensión colectiva está basada en el hecho que personas vulnerables tienen mayor capacidad para reclamar y defender sus derechos cuando se juntan con objetivos comunes (Murguialday, *et al.*, 2005).

Derechos y acceso al agua

Los derechos al agua están generalmente referidos al acceso al agua, uso de infraestructura y la participación en la toma de decisiones sobre la gestión del sistema. En sistemas bajo manejo colectivo del agua, los usuarios crean sus derechos de agua a través de su involucramiento en la construcción del sistema de

riego, manteniendo y recreando su derecho a través de su participación en el mantenimiento y rehabilitación del sistema.

Boelens y Doornbos, (2001) indican que hay una relación entre derechos de agua y poder. El poder puede definir y determinar derechos y los derechos pueden reafirmar y legitimar el poder.

Bajo este contexto, existe un importante desafío para acompañar organizaciones con referencia a la necesidad de apoyar y legitimar derechos campesinos en riego. Siendo estos derechos un grupo de normas contemporáneas, que son permanentemente modificadas, no es deseable e incluso resulta imposible tratar de “formalizar” el contenido explícito de los derechos (de agua) en la legislación nacional, donde pueden perder su capacidad innovadora y pro-activa. Es por eso que los derechos al agua solo tienen sentido para el contexto particular en el cual han sido creados.

Género y grupos en desventaja

En el enfoque de empoderamiento, al buscar equilibrar las fuerzas de poder en torno a la toma de decisiones y el acceso, uso y control sobre los recursos, prioriza como foco de atención a grupos en desventaja y los desequilibrios en las relaciones de género.

Desde esta perspectiva, Murguialday, *et al.*, (2005) plantean que el empoderamiento de dichos grupos en desventaja y en especial de la mujer, implica:

- a) Conciencia acerca de su subordinación y elevar su autoestima (“auto poder”)
- b) Organización autónoma para decidir acerca de sus vidas y el progreso de sus deseos (“poder con”).
- c) Movilización para identificar sus intereses y transformar las relaciones, estructuras e instituciones que las limitan y perpetúan su subordinación (“poder para”).

Esta forma de entender el empoderamiento de la mujer no identifica poder en términos de dominación de otros sino como el aumento de autoestima, habilidades, educación, información y derechos de mujer, definitivamente como el control de recursos

fundamentales (materiales, intelectuales e ideología), con el objetivo de influenciar en procesos de desarrollo.

Autonomía

El empoderamiento guarda una estrecha relación con el enfoque de desarrollo humano, entendido como un incremento de las capacidades de la gente y con varias dimensiones relacionadas con la participación comunitaria, la toma de decisiones colectiva, el “buen gobierno”, etc. En este sentido, Moser, (1991) citando a Keller y Mbwewe indica que, “el desarrollo puede ser un proceso de empoderamiento”, esto significa “...el proceso por medio del cual la gente termina siendo capaz de organizarse para incrementar su autonomía, para hacer valer su derecho de independencia, para tomar decisiones y controlar los recursos que les ayudará a cuestionar y eliminar su subordinación”.

4. Enfoque Post Institucional

El enfoque Post Institucionalista se enfoca sobre la dinámica del comportamiento social y la forma en la cual las instituciones son constantemente formadas y readaptadas por acción colectiva. Por lo tanto, la formación de instituciones es re-conceptualizada como un proceso articulado socialmente, más que una actividad administrativa deliberada y transparente (Cleaver y Franks, 2005b). Tal visión obliga a tener diferentes niveles de análisis, empezando desde los arreglos institucionales o acuerdos a nivel familiar o de grupo, hasta acuerdos a nivel del sistema de riego, o acuerdos municipales y en la cuenca.

Conceptos clave relacionados con este enfoque son:

Bricolage Institucional

El enfoque Post Institucionalista concibe a las instituciones como estructuras estáticas ni “robustas” dentro del cual se supone que el comportamiento humano está definido. Al contrario, las instituciones son concebidas como una sobreposición (bricolaje)

de diferentes reglas, relaciones sociales y de poder formadas por una continua acción colectiva y resultando en una diversidad de acuerdos a diferentes niveles. En este sentido, “Instituciones sociales no son cosas, son lo que la gente hace; las instituciones por su naturaleza no son necesariamente fuertes, sólidas y duraderas, sino deben ser continuamente reproducidas o re-ade cuadas para existir (Chase Smith *et al.*, 2001, citado por Cleaver y Franks, 2005b). Este constituye un argumento muy fuerte que rebate la posibilidad de “diseñar instituciones desde afuera” y sobre todo esperar que sean “duraderas y estables”, tal como es planteado por Ostrom (1990, 1992).

Pluralismo legal

En el marco conceptual básico para describir instituciones, la ley está concebida como un tema principal, debido a su supuesto carácter mandatorio, regulatorio y de salvaguarda de las relaciones sociales y de las interrelaciones entre la gente, los recursos naturales y el Estado.

Sin embargo, el enfoque post institucional entre otros, considera la ley no como algo absoluto sino como un “recurso social” “dados los diferentes intereses, opciones, límites, dilemas y elecciones y como una parte de estrategias que la gente desarrolla para alcanzar sus metas” (Spiertz, 2000 citado por Boelens *et al.*, 2005).

Bajo un enfoque del pluralismo legal, la ley no es reconocida como una prerrogativa exclusiva del Estado. Al contrario, es reconocida como prácticas sociales que dan forma a las normas locales y nacionales conformando un grupo de marcos normativos que coexisten. En este sentido, el concepto de “acción humana” es útil para entender la ley como un recurso social dándole significado a ésta, empezando por la experiencia y comportamiento humano. (Boelens *et al.*, 2005).

IV. VACÍOS DE CONOCIMIENTO Y TEMAS EMERGENTES PARA INVESTIGACIONES FUTURAS

El estudio del estado del arte en temas institucionales, muestra los temas que son principalmente cubiertos en literatura

científica y no científica (literatura “profesional”). Parte de esta tiende a ser prescriptiva (por ejemplo los principios de diseño y evaluación de arreglos institucionales); otra parte refleja más narraciones que cuentan sobre (in)experiencias sobre temas específicos de la gestión de los sistemas de riego y otro grupo de literatura tienden a desarrollar criticismo sobre los enfoques predominantes, abogando por el desarrollo de enfoques más amplios y flexibles aunque sin aterrizar en instrumentos o acciones concretas.

La tabla 1 resume un grupo de temas o conceptos que son tratados en diferentes niveles, viendo la agricultura bajo riego desde los distintos enfoques. Luego de este resumen se discute a manera de conclusión, los principales vacíos de conocimiento en temas institucionales, que pueden contribuir a entender mejor la sostenibilidad de la agricultura bajo riego. Es decir, los elementos discutidos aquí, contribuirán a identificar criterios más precisos para abordar uno o varios de los componentes de sostenibilidad discutidos al inicio de este capítulo.

Tabla 1: Resumen temas tratados en distintos niveles y enfoques de análisis de la agricultura bajo riego.

Enfoque Nivel	Nuevo institucionalismo	Recursos de uso común	Empoderamiento	Post- institucionalismo
Parcela	Ninguno	ninguno	ninguno	Ninguno
Unidad de producción				Estrategias de sustento Incertidumbre
Sistema de riego	Transferencia de gestión de riego. Derechos de propiedad. Rendición de cuentas	Principios de diseño institucional	Participación de usuarios, control Equidad	Incertidumbre Pluralismo legal “Bricolage” institucional
Cuenca		Gestión de cuencas Plataformas de cuencas		Incertidumbre ambiental
Nivel Nacional y subnacional	Políticas y leyes, Reformas institucionales	Políticas y leyes Reformas institucionales		Incertidumbre Pluralismo legal

Algunas conclusiones sobre estos diferentes enfoques y los niveles en los que se concentran son:

Los diferentes niveles planteados en este acápite, apoyan la aseveración de que la mayor parte de la literatura en riego se concentra principalmente en temas físico-técnicos, sobre todo en el nivel de parcela (estudios de eficiencia y productividad) y también en el nivel de sistemas de riego (estudios de desempeño en la gestión de sistemas de riego).

Por otra parte, los otros niveles, es decir el nivel de unidad de producción y el nivel de cuenca o superior, son tratados principalmente de forma teórica.

A nivel de unidad de producción es posible identificar tres principales enfoques: uno, basado en la economía y administración agrícola, que se concentra en elementos como la renta, optimización de ingresos, análisis beneficio-costos a nivel de unidad productiva, precios sombra, eficiencia y otros conceptos de la economía neoclásica. Un segundo enfoque se dedica a entender la agricultura (campesina) en principalmente en países en desarrollo basados en enfoques de “economía campesina”, que se centra en el análisis de las “relaciones sociales de producción, relaciones de reciprocidad, complementariedad, valores culturales de la agricultura y patrones de mercantilización y no-mercantilización, valores de producción y valores de uso y otros. Además de estos aspectos, la economía campesina entra en el análisis de instituciones locales relacionadas a la producción agropecuaria. Otro grupo de enfoques puede ser identificado como el de “estrategias campesinas de sustento” (peasant and livelihood strategies). Este enfoque reconoce las múltiples actividades y ámbitos en los que la población rural (campesinos) se halla inmersa y de los cuales derivan su sustento.

De la discusión previa se puede también concluir que al concentrarse los estudios en riego en el nivel de parcela o del sistema de riego, queda un vacío en el análisis de la relación de las prácticas agrícolas y de riego en el nivel de la unidad de producción con la gestión del sistema de riego. Esto se debe a que no se analiza el rol del riego como factor importante de desarrollo de la agricultura, ni tampoco las condiciones y requerimientos que genera la agricultura hacia el funcionamiento de los sistemas. Estas relaciones pueden ser explicadas a partir de concebir el

riego no como una actividad meramente técnica sino que representa un complejo proceso “socio-técnico”.

Los enfoques de análisis institucional identificados, consideran diferentes niveles en el la agricultura bajo riego. Sin embargo todos ellos ponen especial atención a nivel de los sistemas de riego, considerando distintos aspectos en este nivel.

El nivel de parcela parece no ser relevante para análisis institucional debido a que en este nivel es en el que se hacen evidentes la mayor parte de las prácticas agrícolas y consecuentemente estas son tratadas principalmente en su dimensión física en términos de: eficiencias, impactos ambientales, degradación y conservación de suelos, etc.

Aunque desde los discursos académicos y profesionales predominantes en temas de gestión de agua se promueven enfoques integradores, las dificultades de tal integración en la práctica es muy evidente. Por el contrario, la mayor parte de la literatura en aspectos institucionales (por ejemplo bajo el enfoque del nuevo institucionalismo) se concentra en problemas exclusivos del sector riego y rara vez en las relaciones intersectoriales en la gestión y tampoco en las interrelaciones entre los niveles de cuenca, local, subnacional y nacional.

Si bien el enfoque sobre recursos de uso común analiza las diferentes dimensiones relacionadas al riego, existe aún un vacío en el análisis de sistemas de riego, y de otros sistemas de aprovechamiento de agua desde una perspectiva de la cuenca. No obstante de haber una larga argumentación de concebir la cuenca como unidad de planificación, y también una amplia discusión sobre la necesidad de integrar los diferentes usos y usuarios en este espacio, sin embargo este enfoque se ha desarrollado principalmente en forma teórica, existiendo muy poca o ninguna experiencia real en este campo.

El empoderamiento se enfoca generalmente en un multinivel, sin embargo las experiencias y acciones bajo este enfoque están aún concentrados principalmente a nivel del sistema de riego, desde una perspectiva sectorial (de riego) e interesado principalmente en temas de acceso al agua y de participación de los usuarios.

El enfoque post institucionalista parece tratar el tema desde una perspectiva más amplia, pero enfocada sobre todo en el

criticismo de los otros enfoques predominantes (nuevo institucionalismo y gestión de recursos de uso común). Este enfoque si bien ofrece nuevas visiones y conceptos emergentes sobre la problemática del riego, sin embargo en algunos aspectos parece estar no suficientemente desarrollado.

Estos vacíos encontrados en el análisis institucional, sugieren tratar diferentes temas como ejes para futuras investigaciones que contribuyan a construir un concepto más preciso de sostenibilidad de la agricultura regada.

El análisis de sistemas de riego considerando la cuenca como unidad de planificación, o como contexto mayor de referencia, puede contribuir en la discusión, por una parte de la relación del riego (y su gestión) con el ambiente (por ejemplo fuentes y extracción de agua, contaminación del agua, degradación de los suelos) pero por otra parte analizar la relación con otros usuarios del agua en la cuenca, dada la creciente demanda de agua debido al crecimiento poblacional y sus efectos en el medio ambiente. Algunos de los temas relevantes en este nivel pueden ser los referidos a planificación, coordinación entre sectores, negociación y (des)balances de poder, mecanismos para la (re)asignación de agua y usos prioritarios del agua. Todos estos vistos desde una perspectiva ambiental, pero también física e institucional.

Un análisis más profundo de la dinámica de las unidades de producción y de las familias (unidades de producción familiar) puede ayudar a distinguir entre las actividades productivas y su interrelación con otras actividades económicas y de riego. Un tema importante en este ámbito es el relacionado a la priorización de actividades que los regantes (o agricultores) hacen en relación al tipo de producción asumida, a su relación con el mercado y a los factores internos y externos que influyen para adoptar ciertas estrategias productivas y sus implicancias sobre las prácticas de riego que desarrollan. Desde el punto de vista institucional algunos temas específicos son: la interdependencia entre las prácticas agrícolas con las prácticas de riego; la interrelación entre las políticas agropecuarias y de riego con respecto a otras políticas sectoriales (ejemplo minería, comercio, medio ambiente).

La incertidumbre, como una característica importante de la agricultura, exige que las instituciones no se concentren solo en

los riesgos a los que se ve sometida aquella. Sin embargo aun no está claro cómo considerar las diferentes dimensiones que implica la incertidumbre, sobre todo relacionada a aspectos institucionales. Este debería ser un tema que se investigue a mayor profundidad.

Los temas de estructuras institucionales, de sobreposición (bricolage) institucional, pluralismo legal y empoderamiento, pueden ser considerados como ejes transversales para el análisis de los temas planteados anteriormente.

REFERENCIAS

Bandaragoda, D.J. 2006. Institutional Adaptation for Integrated Water Resources Management: An Effective Strategy for Managing Asian River Basins. IN: International Water Management Institute (IWMI). Working paper, 107.

Bandaragoda, D.J. 1998. Need For Institutional Impact Assesment In Planning Irrigation System Modernization. IN: International Water Management Institute (IWMI).

Boelens, R. 1998. Collective Water Management and the Construction of Normative Frameworks in irrigation systems. An analysis of some basic working rules, water rights and distribution principles in peasant irrigation. Paper for the forthcoming Conference on Irrigation and Collective Water Management, Montpellier.

Boelens, R. y Doornbos, B. 2001. Derechos de agua y el Empoderamiento en medio de Marcos Normativos Conflictivos en Céceles, Ecuador. En: Derechos de Agua y Acción Colectiva.

Boelens, R., Zwarteveen, M. and Roth, D. 2005. Legal complexity in the analysis of water rights and water resources management. IN: Liquid relations: contested water rights and legal complexity/ edited by Dik Roth, Rutgerd Boelens and Margreet Zwarteveen. Rutgers University Press, 1-20.

Bromley, D., Taylor, D. and Parker, D. 1980. Water reform and Economic Development: Institutional aspects of water management in Developing Countries. In Economic Development and Cultural Change, 28 (2): 365-387.

Cleaver, F. 2000. Moral Ecological Rationality, Institutions and the management of Common Property Resources IN: Development change, 31: 361-383.

Cleaver, F. and Franks, T. 2005. How Institutions Elude Design: River Basin Management and Sustainable Livelihoods. In: Bradford Centre for International Development, Research Paper N°12.

Cleaver, F. and Franks, T. 2005. Water, Governance, and Poverty: A Framework for Analysis. In: Bradford Centre for International Development, Research Paper N°13.

Cossio, V., Del Callejo, I. y Vásquez, S. 2008. Estado del Arte sobre arreglos institucionales para sostenibilidad del riego en zonas semiáridas. Reporte de Investigación proyecto KASWARM. Centro AGUA, UMSS.

Dicke, W. 2000. Institutional Options for Irrigation and Drainage. Rural Development Department, World Bank. Washington DC.

Edmund, D. and Wollenberg, E. 2001. A Strategic approach to Multi-Stakeholder Negotiations, Development and Change, 32 (2): 231-253.

Gelles, P. 1994. Channels of Power, Fields of Contention: The Politics of Irrigation and Land Recovery in an Andean Peasant Community. In: Society for Latin-American Anthropology Publication Series Vol. 12.

Gerbrandy, G. y Hoogendam, P. 1998. Aguas y acequias. Los derechos al agua y la gestión campesina de riego en los Andes Bolivianos. PEIRAV. PLURAL. Cochabamba, Bolivia, 397 p.

Gruhn, P., Goletti, F. and Yudelman, M. 2000. Food, Agriculture, and the Environment Discussion Paper 32. Integrated Nutrient Management, Soil Fertility, and Sustainable Agriculture: Current Issues and Future Challenges. International Food Policy Research Institute (IFPRI).

Guillet, D. 1995. Covering ground. Communal water management and the State in the Peruvian Highlands. The University of Michigan Press.

Haie, N. and Keller, A. 2008. Effective efficiency as a tool for sustainable water resources management. Journal of the American Water Resources Association, 44 (4).

Garrett, H. 1968. The Tragedy of the Commons. IN: Garrett Hardin, Science, 162: 1243-1248.

Jayanath, A. and Crase, L. s/f. A Preliminary Assesment of Water Institutions in India: An Institucional Design Perspective. In: Review of Policy Research, 23(4).

Khan, S., Tariq, R., Yuanlai, C. and Blackwell, J. 2006. Can irrigation be sustainable? Agricultural Water Management, 80: 87–99.

Molle, F. 2005. Irrigation and Water Policies In The Mekong Region Current Discurses and Practices. In: International Water Management Institute (IWMI), Research Report 95.

Mollinga, P. 1998. On the water Fornt. Water distrtrbution, technology and agrarian change in SouthIndian canal irrigation system. PhD thesis, Wageningen University, 307 p.

Moser, C. 1991. La Planificación de Género en el 3^{er} Mundo: Enfrentando las necesidades Prácticas y estratégicas de género. En : Guzman, V. *et al.*, Una nueva lectura Género en el desarrollo entre mujeres, Lima.

Mtisi, S. and Nicol, A. 2003. Water Points and Water Policies: Decentralisation and Community Management in Sangwe Communal Area, Zimbabwe. In: Sustainable Livelihoods in Southern Africa Programme. Institutions, Governance and Policy Processes RESEARCH PAPER SERIES, <http://www.ids.ac.uk/slsa>

Murguialday, C., Pérez De Armiño, C. e EIZAQUIRRE, M. 2005. Empoderamiento. En: Diccionario de acción humanitaria <http://www.efaber.net>

Ostrom, E. 1990. Reflections on the Commons and a Framework for Análisis of Self organizing and Self-Governing CPRs. In: Governing the commons: The Evolution of Institutions for Collective Action Cambridge University Press, 182-221.

Ostrom, E. 1992. Diseño de Instituciones para Sistemas de Riego Autogestionarios. In: Institute for Contemporary Studies San Francisco, California.

Rosegrant, M.W. and Binswanger, H.P. 1994. Markets in tradable water rights: Potential for efficiency gains in developing country water resource allocation. World Development, 22 (2): 1613-1625.

Saleth, R. and Dinar, A. 1999. Water Challenge and Institutional Response. In: The World Bank, Policy Research Working Paper 2045.

Saleth, R.M. 2004. Strategic Analysis of Water Institutions in India Application of a New Research Paradigm. In: International Water Management Institute, Research Report 79.

Saleth, R.M. and Dinar, A. 1999. Evaluating Water Institutions and Water Sector Performance. In: World Bank Technical Paper No. 447.

Shah, T., Van Koppen, B., *et al.* 2002. Institutional Alternatives In African Smallholder Irrigation Lesson from International Experience whit Irrigation Management Institute (IWMI).

Small, L.E. and Carruthers, I. 1991. Farmer-financed irrigation: the economics of reform. Cambridge University Press.

Small, L.E. and Svendsen, M. 1992. A framework for assessing irrigation performance. IFPRI. Working paper on irrigation performance N^o 1. Washington, D.C. International Food and Policy Research Institute.

Steins, A., Röling, N.G. and Edwards, V.M. 2000. Re-Designing the Principles: An Interactive Perspective to CPR Theory. In: Paper for the 8th Conference of the International Association for the Study of Common Property, Bloomington, Indiana, USA.

Toner, A. and Franks, T. 2006. Putting livelihoods thinking into practice: implications for development management. Bradford Centre for International Development, University of Bradford, Bradford BD7 1DP, UK.

Trawick, P. 2001. Successfully Governing the Commons: Principles of Social Organization in an Andean Irrigation System. *Human Ecology*, 29 (1).

Wichelns, D. and Oster, J.D. 2006. Sustainable irrigation is necessary and achievable, but direct costs and environmental impacts can be substantial. *Journal: Agricultural water management*, 86: 114 – 127.

Zhang, W. *s/f.* A Forecast Analysis on Global Production of Staple Crops. Research Institute of Entomology, School of Life Sciences, Sun Yat-sen (Zhongshan) University. Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Hainan 571737, China.

ASPECTOS AMBIENTALES DEL RIEGO

Alicia Fernández Cirelli

Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua, Universidad de Buenos Aires

RESUMEN

El crecimiento demográfico y el rápido desarrollo de las actividades económicas, han conducido a un aumento de la superficie agrícola y a la intensificación de sus actividades. El riego mejora sustantivamente la producción, pero si no se maneja correctamente puede tener consecuencias ambientales no deseables. En este trabajo, se realiza una síntesis de los estudios más significativos realizados en relación a los principales aspectos ambientales del riego; en particular: salinización y sodificación de suelos, contaminación por nitratos, fosfatos, metales pesados y microcontaminantes orgánicos. Las variaciones en la cantidad de agua de riego producen sobreexplotación de acuíferos, erosión y/o anegamiento. Por otra parte, la calidad del agua utilizada puede producir salinización, sodificación y contaminación de suelos y aguas subterráneas, y también puede presentar toxicidad para los cultivos. Los fertilizantes producirán contaminación con nitratos en aguas subterráneas y problemas de eutrofización en aguas superficiales. Los metales pesados son microcontaminantes que pueden llegar al agua subterránea por efecto del riego y que pueden ser movilizados en medio ácido por aumento de solubilidad. El uso de plaguicidas, microcontaminantes orgánicos, se ha incrementado en los últimos años. El riesgo de contaminación de acuíferos por estas sustancias puede estimarse mediante el uso de modelos. Cualquier variación que se produzca en el ciclo hidrológico, como es el caso de los sistemas de producción bajo riego, puede acelerar los procesos de contaminación de suelos y cuerpos de agua.

ABSTRACT

The cultivated area as well as the intensification of agricultural activities is the natural consequence of the population growth and economical development. Irrigation improves productivity but may have environmental consequences when it is not properly managed. In this work, a synthesis of the most relevant studies performed on the main environmental aspects of irrigation is presented. In particular, soil salinization and sodification, contamination by nitrates, phosphates, heavy metals and organic microcontaminants, are discussed. Changes in the quantity of water irrigation have as a consequence over-exploitation of aquifers, soil erosion and water logging. On the other hand, water quality may induce soil salinization and sodification, as well as soil and groundwater contamination and crop toxicity. Fertilizers are a source of nitrate in groundwater and produce eutrofization in surface waters. Heavy metals are microcontaminants that may reach groundwater in areas under irrigation and may be mobilized in acidic conditions. The use of plaguicidas, organic microcontaminants, has increased considerably in the last years. Risk of contamination is often modellized. Any change in the hydrological cycle, as is the case of productive systems under irrigation, may accelerate the processes of soil and water contamination.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento demográfico y el rápido desarrollo de las actividades económicas, incluyendo las urbanizaciones y la industrialización, han conducido a un aumento de la superficie agrícola y a la intensificación de las actividades con un aumento significativo de la producción. En números globales, sólo el 20% de las cosechas se realizan bajo riego, pero implican un 40% de la producción global. En los países de menor desarrollo relativo, el riego mejora sustantivamente la producción y las ganancias provenientes de la agricultura. Por otra parte, el riego puede tener consecuencias ambientales no deseables. Una tercera parte de las tierras bajo riego en el mundo han visto reducida su productividad como consecuencia de un manejo inadecuado del

riego que causó entre otros efectos, salinización y anegamiento (Khan *et al.*, 2006).

Los desafíos actuales de la agricultura bajo riego en relación al ambiente pueden resumirse como:

- Uso más eficiente de los insumos (agua, fertilizantes, plaguicidas y laboreo) para reducir los impactos ambientales negativos y los costos de producción.
- Manejo adecuado de los impactos ambientales negativos tales como emisiones de metano y óxidos nitrosos, salinidad, contaminación de aguas, uso excesivo de plaguicidas, eutrofización, especialmente en sistemas intensivos.
- Gestión de las necesidades de agua para riego y las demandas ambientales con vías a un adecuado balance.
- Gestión de la calidad del agua de drenaje para minimizar el impacto en ríos y ecosistemas.

El desarrollo del riego en América Latina y el Caribe ha sido examinado en un informe del Banco Interamericano de Desarrollo (Inter-American Development Bank, 2000), que resume la situación de suministro de agua, y describe las tendencias de demandas de agua y agricultura bajo riego. La principal conclusión en un contexto de demanda creciente es la necesidad de mejorar la eficiencia y la equidad del riego y de los sistemas de suministro de agua. En muchos casos se usan aguas de baja calidad o contaminadas para riego, que traen como consecuencia problemas de salinización, anegamiento y erosión de tierras agrícolas, así como contaminación de aguas. No es tampoco despreciable el riesgo potencial de desertificación, que podría implicar aproximadamente un 20% de la superficie en Sudamérica.

El riego en ambientes áridos y semiáridos invariablemente conduce a variaciones en el nivel freático, además de los problemas mencionados de salinización y anegamiento. El nitrato proveniente de los fertilizantes nitrogenados usados en agricultura es un contaminante frecuente en aguas subterráneas someras, con efectos negativos en salud humana, animal y ambiental. Los fármacos usados tanto en medicina humana como animal emergen como contaminantes cuando se usan aguas residuales para riego.

Si consideramos los impactos ambientales negativos potenciales de los sistemas irrigados sobre el suelo y el agua

subterránea, obtendremos, en líneas generales, una matriz del siguiente tipo (Tabla 1):

Tabla 1: Efectos sobre el suelo y el agua de los diferentes componentes del sistema irrigado

Componentes del sistema irrigado	Efecto
Calidad del agua de riego	Salinización
	Sodificación
	Toxicidad
	Contaminación
Cantidad de agua de riego	Erosión
	Anegamiento
	Sobreexplotación de acuíferos
Tipo de perforaciones	Salinización
	Contaminación
Plaguicidas	Contaminación
Fertilizantes	Contaminación
Drenaje	Anegamiento
	Erosión

El riego puede producir reciclado de elementos que pueden estar presentes en el suelo y en el agua como lo son los metales pesados, arsénico, nitratos, y fósforo. También produce una disminución en el tiempo de tránsito de los elementos tanto inorgánicos como orgánicos que se utilizan en la agricultura (por ej. herbicidas), aumentando de esta manera el riesgo de contaminación. El tema del nitrato es el que ha deparado la mayor atención dentro de los efectos ambientales del riego. En los últimos años, e han considerado también experiencias utilizando aguas residuales y se han iniciado algunos trabajos que consideran los microcontaminantes emergentes, tales como plaguicidas y fármacos.

Conocer los procesos que intervienen en la liberación de distintos compuestos presentes en el suelo y que pueden afectar la calidad del agua es un punto clave en cualquier evaluación ambiental. Los estudios realizados en Latinoamérica son parciales y muy localizados, dificultando una visión integral de lo que sucede en la región. En este trabajo, se realiza una síntesis de los estudios más significativos realizados en relación a los principales

aspectos ambientales del riego; en particular: salinización y sodificación de suelos, contaminación por nitratos, fosfatos, metales pesados y microcontaminantes orgánicos.

SALINIZACIÓN Y SODIFICACIÓN DE SUELOS

El riego es un proceso que modifica las propiedades físicas y químicas del suelo, ya que las aguas usadas para riego o las soluciones empleadas en fertiirrigación contienen concentraciones variables de sales solubles. Las concentraciones de sal en la solución del suelo son también variables en espacio y tiempo, debido a la naturaleza dinámica de los efectos e interacciones de los factores edafoclimáticos, así como también a la acción antrópica (Meireles *et al.*, 2003).

Entre los procesos de degradación del suelo en sistemas productivos bajo riego, se pueden mencionar: a) la compactación que aparece generalmente por debajo de la capa cultivada como resultado del uso de instrumentos tales como el arado, usado en años sucesivos a la misma profundidad y b) perturbación de la estructura del suelo, haciendo que se dispersen los agregados de partículas en agua, principalmente por lluvia que, después de la infiltración del agua, forma capas impermeables en la superficie. Estas capas impermeables y/o compactas modifican el crecimiento de la raíz, la entrada y difusión de oxígeno en el interior del suelo y la velocidad de infiltración de agua, lo que aumenta la escorrentía y los riesgos de erosión (Lana, 2007).

La salinización del suelo es un proceso gradual y el impacto de la acumulación de sales se observa después de algunos años. Gaganesharajah *et al.*, (2007) desarrollaron un modelo acoplado de agua superficial y subterránea (HYDRO-GW) que simula los procesos en la zona de la raíz y en las zonas no saturada y saturada. El modelo presenta ecuaciones simplificadas que tienen potencial aplicación para analizar el proceso de salinización. Esta contribución metodológica se validó aplicándola al área bajo riego de Kashkadarya en Uzbekistán para determinar el impacto de cambios en el manejo del suelo y agua en la reducción de niveles de salinidad.

Los suelos salinos y salino-sódicos son comunes en las regiones áridas y semiáridas debido a las escasas precipitaciones

y el alto porcentaje de evaporación. En estas circunstancias las sales se acumulan en concentraciones dañinas para el crecimiento normal de las plantas. Cabe mencionar que en suelos con problemas de drenaje, el proceso de salinización puede acelerarse por el uso de aguas para riego con altos contenidos de sales (Oliveira *et al.*, 2002; Medeiros *et al.*, 2003).

La degradación de los suelos por sodificación es un problema frecuente en zonas áridas, donde la baja precipitación no es suficiente para promover la remoción de las sales sódicas del suelo. El predominio de sodio sobre otros cationes puede promover la dispersión y migración de coloides en el perfil del suelo, bloqueando poros y reduciendo el movimiento de aire y agua, dificultando el crecimiento de las plantas (Freire *et al.*, 2003).

La pérdida de bases solubles e intercambiables de la zona radicular por filtración a las capas más profundas del perfil del suelo las convierte en inaccesibles para los cultivos, bajando la productividad debido a una limitación nutricional. Por lo tanto, la filtración de los iones solubles de la solución del suelo o de los fertilizantes, debe ser tenida en cuenta, y más aún en condiciones bajo riego donde este efecto puede potenciarse (Santos *et al.*, 2002).

La contribución metodológica de Patel *et al.*, (2002) está orientada al desarrollo de índices de salinidad de suelo. El rendimiento de una cosecha es función de muchos factores agroclimáticos. Los autores tienen en cuenta la excesiva humedad, sequedad o sales solubles en la zona radicular como tres factores de stress que inhiben el crecimiento y reducen el rendimiento. Mientras que el stress debido a excesiva humedad puede expresarse por un índice tal como SEW₃₀ (suma del exceso de agua por encima de los 30 cm), un índice similar no está disponible para el stress debido a salinidad del suelo. Se propone un índice como la suma del exceso de salinidad por encima del umbral (SES_T), que representa la acumulación de salinidad en la zona radicular en exceso para un cultivo específico en relación al umbral de tolerancia. Este índice debe ser validado con datos de campo bajo diferentes regímenes de riego.

Akram Kahlowan and Azam (2003) demostraron que la aplicación de excretas es comparativamente más efectiva que otros tratamientos cuando se riega con agua de baja calidad.

Otro de los procesos debidos al riego es la erosión de los suelos. Fernández-Gómez (2004) establecieron que la erosión del suelo en producida por el riego por surcos reduce la profundidad de la capa superficial y, además, diseñaron un modelo conceptual para explicar la dinámica del proceso de erosión en riego por surcos.

Los procesos de salinización y erosión de los suelos son parte del proceso de desertificación aunque la relación entre riego y desertificación no se ha profundizado al menos en los términos de la desertificación concebida como un proceso complejo que articula procesos biofísicos y sociales.

El manejo del riego tiene el objetivo de maximizar el rendimiento de las cosechas, minimizar el uso de agua y el costo energético, así como mejorar las condiciones físico-químicas del suelo. Sin embargo, el bajo costo del agua, la falta de datos edafoclimáticos, la baja prioridad en relación a otras prácticas agrícolas y el escaso conocimiento de las técnicas de irrigación, son las principales causas por las que la mayoría de los productores no le asignan la importancia debida a este tema, generando serios daños ambientales.

CONTAMINACION CON NITRATOS

Tanto los nitratos como el fósforo son esenciales para la vida, pero su exceso puede ser perjudicial. Durante los últimos tres decenios el problema asociado a la presencia de nitrógeno en suelos y aguas ha pasado de ser un problema a escala local, a un problema de nivel regional o continental (Heathwaite *et al.*, 1993).

El nitrato por sus características es un ión de difícil sorción en las matrices sólidas. Sus sales son muy solubles en agua, por lo que se infiltra con suma facilidad. Las bacterias oxidan las formas reducidas de nitrógeno normalmente presentes en los fertilizantes a nitrato, que es el ión que es tomado por las plantas.

La infiltración en el terreno de aguas con alto contenido en nitrato, derivada del efecto combinado de una excesiva fertilización nitrogenada y unas prácticas de riego poco optimizadas,

contribuye al deterioro de los acuíferos. Es más, si persiste el exceso de nitrato en la solución del suelo en época de intercultivo, también puede producirse lixiviación con la llegada de las lluvias (Arauzo *et al.*, 2003).

La aplicación de altos niveles de fertilizantes nitrogenados a los cultivos o frutales, tiene dos desventajas principales: (1) la baja eficiencia en el uso del fertilizante y (2) la pérdida de nitrógeno por lixiviación que puede causar contaminación de aguas subterráneas. Se ha estimado a través de modelos que las pérdidas de nitrógeno como nitrato son mayores cuando es mayor la tasa de nitrógeno aplicada a través de fertilizantes. Las simulaciones con LEACH-W ajustado y validado con medidas de campo también permitieron determinar los momentos del año cuando ocurren los mayores eventos de transporte de nitrógeno, demostrándose que las pérdidas por lixiviación son mayores durante el crecimiento del cultivo (Aparicio *et al.*, 2008).

La contaminación difusa por nitrato ha sido objeto de estudio en una región representativa del valle central de Chile donde se practica riego intensivo en los planos aluviales de sistemas ribereños con fuentes de agua provenientes de la Cordillera de los Andes. Aunque los niveles de nitrato determinados no alcanzan aún niveles alarmantes, se observa el efecto de la agricultura bajo riego en la calidad de agua de los cuerpos de agua superficiales, por lo que es evidente la necesidad de introducir mejores prácticas de gestión de riego para que la situación ambiental no se agrave (Ribbea *et al.*, 2008).

González *et al.*, (2005) estudiaron los efectos de prácticas agrícolas poco apropiadas, durante cuatro años, en el nivel de nitratos en agua subterránea. Los cultivos de algodón y papa en este estudio demostraron ser los de mayor impacto en el aumento de los nitratos y la salinidad en los acuíferos.

Los efectos del nivel freático y del manejo de los fertilizantes en la concentración de nitratos en aguas subterráneas fue estudiado por Guo *et al.*, (2006), en una experiencia con cultivos de apio (*Apium graveolens*) bajo riego intensivo, con dos profundidades de nivel freático (2,0 m y 0,5 m debajo de la superficie del suelo). En ambos sitios se aplicó fertilizante, tanto de la manera tradicional (aproximadamente 4800 kg N/ha/año), y utilizando un tercio de esta cantidad. Los resultados mostraron que

el nivel freático controla la recarga de infiltración vertical y la evaporación-transpiración. Las concentraciones de nitrato en el agua del suelo fueron considerablemente mayores con los mayores niveles de fertilización, con el consecuente aumento de las concentraciones de nitrógeno (incluyendo nitrato, nitrito y amonio) en la zona de aeración. El nitrato fue la principal especie química en el agua subterránea.

Una evaluación del riesgo potencial de contaminación con nitrato y su posible evolución en el tiempo, requiere de la comprensión de las capacidades de asimilación del acuífero. Este conocimiento también ayuda al diseño de políticas e incentivos para el control de la cantidad de nitrato que entra a los sistemas aguas abajo. Este potencial de atenuación de nitrato en el agua subterránea se analizó a través del estudio de los compuestos capaces de ceder electrones, tales como materia orgánica disuelta e ion ferroso, así como indicadores redox, tales como oxígeno disuelto y Eh. Las bajas concentraciones de nitrato se correlacionaron con altas concentraciones de ion ferroso y bajo oxígeno disuelto, indicando que estas condiciones redox son apropiadas para la atenuación de nitrato y sea por denitrificación o reducción. El ambiente reductor de los acuíferos estudiados también puede asociarse con las altas concentraciones de carbono orgánico disuelto de éstos (Thayalakumaran *et al.*, 2008).

La determinación de la distribución de nitrato mediante el uso de modelos representa un problema no lineal de alta complejidad que incluye adsorción, transformación, convección y dispersión. Li *et al.*, (2004), propusieron una metodología alternativa que combina redes neuronales artificiales y experimentos de laboratorio. Los resultados del ensayo demostraron una buena correlación entre la concentración de nitrato en el suelo estimada a través del modelo y las medidas realizadas en laboratorio. En consecuencia, el uso de estas redes neuronales artificiales optimizadas resulta una herramienta razonablemente precisa para estimar de una forma fácil y eficiente la distribución de nitrato en el suelo en condiciones de fertiirrigación a través de sistemas de riego por goteo. Estos estudios, que permiten predecir el comportamiento o la atenuación a la contaminación por nitrato, son fundamentales para mejorar las prácticas de riego y lograr un uso más eficiente y sustentable del recurso.

CONTAMINACION POR FOSFATOS

El fósforo proviene de las fracciones débilmente sorbidas por el suelo, la mineralización de la materia orgánica y de la fracción soluble de los fertilizantes que se utilizan en agricultura. El desplazamiento de los fosfatos solubles depende del poder de fijación del suelo, de la humedad existente y de las condiciones del riego. Cuanto más arenoso, mayor contenido de humedad y un balance hídrico positivo originado por las lluvias y/o riego aumentarán la desorción del elemento permitiendo su lixiviación.

Existe una estrecha relación entre los procesos de transporte y acumulación de fósforo del suelo y la calidad del agua. En un ecosistema, el fósforo puede ser lavado al agua freática, transportado en formas solubles, o erosionado en forma conjunta con las partículas coloidales (fósforo particulado), depositándose en áreas de sedimentación para luego terminar su ciclo en el agua de un río, lago o dique. La acumulación de fósforo biodisponible permite la multiplicación de algas, lo que produce un aumento en la demanda de oxígeno necesario para el crecimiento y desarrollo de las algas o bacterias cianofíceas, determinando la degradación del agua superficial por eutrofización (Sharpley *et al.*, 1993; Lemunyon y Gilbert, 1993; Indiaty y Sharpley, 1995).

El flujo de fósforo en forma particulada puede ser estudiado mediante técnicas que permitan evaluar la capacidad de retención de fósforo por el suelo (índices de sorción, capacidad buffer de fosfatos, índice de retención de fosfatos).

El transporte de fósforo soluble puede estimarse a partir del fósforo desorbible en CaCl_2 0,01 M o agua destilada, y representa la cantidad de fósforo biodisponible para el crecimiento de algas (Dorich *et al.*, 1985), permitiendo estimar el riesgo ambiental. La Environmental Protection Agency (USEPA, 1992) ha establecido como norma para la mayoría de los estados norteamericanos, un nivel permitido de fósforo disuelto por año en el agua de escurrimiento de $1000 \mu\text{g L}^{-1}$. Existen estados que fijan sus propios límites, que varían de 10 a $50 \mu\text{g P/L}$ de fósforo disuelto en aguas superficiales, como así también fijan valores máximos de fósforo extraíble en suelos, de manera de evitar sobrefertilizaciones con fósforo, que contaminen el agua.

En diversos trabajos se ha planteado que la problemática del P en los ecosistemas pasa por las pérdidas de este elemento, por escurrimiento superficial, y termina desembocando en ríos, lagos y arroyos generando su eutrofización, considerado como el principal problema ambiental del fósforo. La eutrofización causa fundamentalmente un aumento en la población de algas, algunas de las cuales liberan toxinas perjudiciales para la salud (Rast y Thornton, 1996), produciendo, además, una disminución en el contenido de O₂ disuelto que afecta al resto de la cadena trófica y la calidad del agua. Heredia *et al.*, (1996), evaluaron la posibilidad del uso de distintas formas de P en suelos de la región pampeana húmeda Argentina, como indicadores de movimiento vertical y/o lateral de P del suelo al agua ya sea en solución o adsorbido a partículas coloidales.

Existen diversas formas de evaluar el P presente en el agua: fósforo total (PT), fósforo disuelto (Pd) y PBD, los más significativos son aquellos que permiten evaluar la disponibilidad inmediata del P por las algas (Pd y PBD) (Sharpley y Pionke, 1998).

Si bien las pérdidas por escurrimiento superficial son importantes y se les ha prestado mucha atención en los últimos 30 años, las pérdidas por lixiviación han ganado especial atención en los últimos años (Djodjic *et al.*, 2004). El lavado de P disuelto y otros solutos reactivos en suelos arcillosos ha sido considerado despreciable por muchas décadas, pero existe evidencia que el lavado tanto de P particulado como disuelto puede ocurrir en ciertos suelos bajo determinadas condiciones hidrológicas (Jensen *et al.*, 1998).

Grandes cantidades de P parecen lavarse desde el suelo cuando 1) los suelos están ubicados en áreas de descarga, 2) los suelos son enmendados con restos orgánicos animales y 3) son recientemente drenados o laboreados (Jensen *et al.*, 1998; Sims *et al.*, 1998).

La adsorción es uno de los procesos clave que afectan el destino de los compuestos en el medio. Una capacidad baja de adsorción puede constituir un problema en cuanto a la contaminación de los acuíferos, mientras que tasas muy altas de adsorción podrían provocar una acumulación del contaminante en el suelo (El Mabrouki *et al.*, 1999). El período en el cual el suelo puede

asimilar los nutrientes aplicados depende de la capacidad de sorción, de la tasa de aplicación y de la profundidad de la capa freática.

En la evaluación de P en suelos las formas extractables pueden ser un buen indicador de la disponibilidad del elemento para las plantas y en casos de sobrefertilización o elevados niveles de P por enmiendas, puede ser un indicador de la calidad del suelo desde el punto de vista ambiental, especialmente en suelos en posición de loma. Las formas solubles y adsorbidas de P en el suelo juegan un rol muy importante con respecto a la posibilidad de liberación del elemento al agua de poro y de ésta a los acuíferos. Heredia & Fernández Cirelli, (2007), determinaron que la adsorción aumenta con la profundidad del perfil en una relación directa entre la adsorción y el contenido de arcillas. La relación entre los procesos de adsorción-desorción y el movimiento vertical del fósforo a través de la zona no saturada, demuestran que este elemento puede llegar al agua subterránea.

El estudio detallado del comportamiento ambiental del fósforo, que es un elemento poco estudiado en aguas subterráneas, es de relevancia por el aporte de éste a partir de la fertilización. El fósforo puede incorporarse vía flujo subterráneo a fuentes de agua superficial, generando problemas de eutrofización, que constituyen una de las causas más importante de deterioro de los cuerpos de agua superficiales.

CONTAMINACION POR METALES PESADOS

La presencia de metales pesados en suelos no es indicativa de contaminación. Su concentración en suelos no contaminados está relacionada con la geología y los materiales parentales a partir del cual se formó el suelo. La contaminación con metales pesados ha recibido mucha atención en lo referente a su acumulación en el suelo, su absorción por las plantas y la contaminación de las aguas. El reuso de agua o el uso de agua de baja calidad en zonas áridas o semiáridas donde el recurso es escaso, constituye una vía de ingreso de metales pesados al ambiente a través del agua de riego.

El uso de aguas residuales domésticas para riego ha tenido un uso extendido y en aumento durante aproximadamente cien años en el valle de Mezquital en México, por lo que esta área provee

una zona de estudio apropiada para ver sus efectos. Las concentraciones de Zn, Pb, Cu y Cd en los suelos han aumentado linealmente en el tiempo y se observa una disminución de la diversidad de las micorrizas. (Ortega-Larrocea *et al.*, 2007).

Zhang *et al.*, (2004) estudiaron la concentración de nitrógeno, fósforo y metales pesados en el agua de drenaje en plantaciones de productos hortícolas y cítricos bajo riego. Se observaron variaciones espaciales y temporales en la calidad de agua. Los productos hortícolas tienen mayor fertilización y por lo tanto los niveles de N, P y K fueron generalmente mayores en sus drenajes que en los de los correspondientes a las plantaciones de cítricos. Estacionalmente, las mayores concentraciones de N, P, K, Cu, y Zn se determinaron en las estaciones húmedas, como resultado probable de un mayor aporte de nutrientes desde campos adyacentes. Los valores promedio de las concentraciones de N, P, Zn, y Cu en el agua de drenaje se correlacionaron en forma significativa con los niveles de los mismos elementos en suelos y con las cantidades anuales de N y P aplicados en los campos adyacentes. Sin embargo, las concentraciones de Cd, Co, Cr, Ni, Pb, Mo, y As fueron generalmente bajas, con pequeñas variaciones estacionales, probablemente debido a la solubilidad limitada en agua del Cd, Co, Cr, Ni, Pb, Mo, y As presentes en los suelos de los campos adyacentes.

Los suelos anegados son sometidos a variaciones temporales de aeración y condiciones variables aeróbicas-anaeróbicas que tienen influencia en las condiciones redox, y por lo tanto en la movilización de metales pesados. Para monitorear las variaciones se han utilizado sondas multiparamétricas que permiten la adquisición continua de datos *in situ*. Se observaron variaciones de Eh a pH prácticamente constante, que indujeron cambios significativos en las concentraciones de Fe(II) y Mn. Por otra parte, los suelos permanecen saturados con agua en condiciones anaeróbicas durante largos períodos de tiempo, y se pueden producir fluctuaciones de pH controladas por la evolución de pCO₂ que afectan los procesos redox. El análisis de las reacciones en estos sistemas, en condiciones variables, es importante para anticipar las consecuencias del uso del suelo y de las prácticas agrícolas (Cary *et al.*, 2008).

Cabe destacar que las formas extractables tienen mayor significado que los contenidos totales a la hora de evaluar riesgo de contaminación de acuíferos por efecto del riego o absorción de los metales por los cultivos. En zonas bajo riego se pueden modificar la velocidad de disolución y/o precipitación entre las distintas fases según la calidad del agua de irrigación, de allí que es importante conocer es la composición en metales extractables en el suelo y cómo puede variar ésta a través del análisis del agua. (Heredia y Fernández Cirelli, 2005). Por otra parte, el riego mantiene el suelo en capacidad de campo y puede acelerar los flujos de agua, generando un tránsito más acelerado entre el suelo, el agua de poro y el agua subterránea.

El suelo puede considerarse como un sistema depurador porque es capaz de degradar o inmovilizar los contaminantes. El poder de amortiguación de un suelo representa su capacidad de inactivar los efectos negativos de los contaminantes. Esta acción beneficiosa se puede ejercer por varios mecanismos: neutralización, degradación biótica o abiótica, adsorción, complejación, insolubilización.

En estudios de vulnerabilidad de acuíferos se utilizan índices como el GOD (Foster y Hirata, 1988), el DRASTIC (Aller *et al.*, 1985), SINTACS (Civita y De Regibus, 1995) y el EPIK (Doerflinger y Zwahlen, 1997), que tienen en cuenta espesor, textura y mineralogía del suelo, pero el resto de las características físico-químicas del suelo no se analizan. Hewitt y Shepherd, (1997), han desarrollado un índice de vulnerabilidad estructural para los suelos australianos, identificando 4 atributos del suelo como el carbono orgánico total, retención de fosfatos, contenido de arcilla y factor de sequedad. Otros autores desarrollaron índices para mejorar la calidad del suelo y el uso de la tierra (Año Vidal *et al.*, 2002).

Heredia y Fernández Cirelli, (2008), desarrollaron una metodología donde se incorporan propiedades tales como carbono orgánico, CIC, pH y contenido de arcillas, que no han sido considerados para analizar la capacidad de atenuación a la contaminación del agua subterránea. Las propiedades incorporadas inciden en la capacidad de atenuación de los suelos. El índice de atenuación a la contaminación desarrollado fue validado para metales pesados y fósforo. El uso de este índice no ha sido validado para microcontaminantes de naturaleza orgánica

(plaguicidas por ej.), aunque un trabajo preliminar con herbicidas de uso en el país ha demostrado que su uso es promisorio (Bardowicks *et al.*, 2008).

La contaminación por metales pesados de suelos y acuíferos debe ser estudiada por el riesgo sanitario que éstos implican. En muchos países, sobre todo aquellos de menor desarrollo relativo, no se tienen los niveles base de metales pesados en suelos y agua subterránea, dificultando la estimación del aporte por actividades antrópicas. El conocimiento de la concentración de metal total, dato más fácilmente asequible, no es indicativa de la biodisponibilidad del metal, que es la información necesaria para poder estimar el riesgo asociado a su presencia en suelos y aguas.

CONTAMINACION POR MICROCONTAMINANTES ORGANICOS

Un factor decisivo de la Revolución Verde ha sido el desarrollo y aplicación de plaguicidas para combatir una gran variedad de plagas insectívoras y herbáceas que, de lo contrario, disminuirían el volumen y calidad de la producción alimentaria. El uso de pesticidas coincide con la "era química", que ha transformado la sociedad desde el decenio de 1950. En lugares donde se práctica el monocultivo intensivo, los plaguicidas constituyen el método habitual de lucha contra las plagas. Por desgracia, los beneficios aportados por la química han ido acompañados de una serie de perjuicios, algunos de ellos tan graves que ahora representan una amenaza para la supervivencia a largo plazo de importantes ecosistemas, como consecuencia de la perturbación de las relaciones depredador-presa y la pérdida de biodiversidad. Además, los plaguicidas pueden tener importantes consecuencias en la salud humana (Ongley, 1997).

Los plaguicidas, son sustancias químicas o mezcla de sustancias destinadas a matar, repeler, atraer, regular o interrumpir el crecimiento de seres vivos considerados plagas, como insectos, malezas, pájaros, mamíferos, peces y microbios que compiten con los humanos para conseguir alimento, destruyen las siembras y propagan enfermedades. Los plaguicidas no son necesariamente venenos, pero pueden ser tóxicos. Se incluyen en

esta definición a los reguladores del crecimiento de las plantas y los destructores de raíces (fitoreguladores). Se clasifican según sus fines primarios específicos o según el modo de empleo. Ejemplos de pesticidas clasificados según el fin perseguido son: insecticidas, funguicidas, herbicidas, nematocidas y raticidas. Como ejemplos de clasificación según el modo de empleo tenemos los fumigantes, palabra que indica que el producto se aplica en forma gaseosa o de humos.

La contaminación del agua subterránea por agroquímicos está reconocida como un problema ambiental de importancia. La agricultura intensiva incluye el uso combinado del riego con la aplicación de grandes cantidades de agroquímicos para lograr mejores rendimientos en las cosechas. Dentro de los agroquímicos, los fertilizantes aportan fundamentalmente N y P, que pueden llegar a los acuíferos.

El uso de plaguicidas en la Latinoamérica se ha incrementado en los últimos años y dentro de éstos los herbicidas son los de mayor uso, seguidos por insecticidas y funguicidas. En la región se han realizado pocos estudios en relación a su transporte e impacto ambiental. Los plaguicidas son de naturaleza química variada, lo que determina su comportamiento diferenciado. En relación al riesgo de contaminación de aguas subterráneas por plaguicidas, dos parámetros son relevantes: la persistencia del plaguicida y la capacidad de sorción en los horizontes más superficiales.

Además de los evidentes riesgos para la salud que presentan los ingredientes activos de los plaguicidas, sus componentes activos, los portadores y los aditivos pueden ser también corrosivos, reactivos, inflamables o combustibles. Entre los aditivos en todos los casos, se encuentran sustancias tensioactivas, principio activo de los detergentes. Estas sustancias en general son fácilmente degradables en medios aeróbicos y pueden no presentar toxicidad *per se*, pero afectan el comportamiento de otros xenobióticos por sus propiedades de modificar la tensión superficial. La incorporación de tensioactivos a suelos cultivables a través de plaguicidas se estima que puede superar a la incorporación de éstos a través de la aplicación de lodos de depuradora como abono. (Fernández Cirelli *et al.*, 2008).

El uso de modelos que analizan el transporte y destino de plaguicidas es de gran utilidad para estimar el riesgo potencial de

contaminación de los acuíferos. Se han realizado estudios comparativos con diferentes modelos que simulan el transporte de plaguicidas, como por ejemplo el PRZM-3 (pesticide root zone model-3), el PESTAN (pesticide analytical model) y el IPTM (integrated pesticide transport modelling) (Chang *et al.*, 2008). Los valores de concentración de simazina mostraron una tendencia decreciente desde la superficie a través de la zona no saturada.

En un trabajo de Bardowicks *et al.*, (2008), se compararon los plaguicidas utilizados en la Unión Europea y en Argentina y se decidió trabajar con plaguicidas que aun se usan en Argentina y que se usaron hasta hace poco en la UE. Los mismos se usan en la zona de Escobar, provincia de Buenos Aires (Argentina). Algunos de ellos son: aldicarb, atrazina, azinphos-metilo, carbaryl, endosulfan, oxydemeton-metil, simazina, triadimefon and trifluralina, cuyas características físico-químicas fueron buscados en la bibliografía (e.g. PAN Database atrazina, 2007). Se simuló su transporte utilizando el programa PESTAN (EPA). Los datos de suelos corresponden a suelos de Escobar (Heredia, 2005). El PESTAN es un programa muy sencillo que requiere información específica y fácil de obtener como la textura, saturación de agua, carbono fácilmente oxidable, densidad y profundidad del suelo, características del pesticida y de la recarga de agua. Este punto es el que puede modificarse y evaluar a través de distintas láminas de recarga como puede ser el potencial movimiento de los pesticidas en distintas situaciones hídricas (por efecto del riego por ej.) del suelo. Por lo que se pueden obtener rápidamente con datos básicos del suelo los efectos que el riego puede tener sobre el movimiento y llegada de los pesticidas a los acuíferos.

El uso de aguas servidas domésticas con o sin tratamiento para riego es una vía importante de introducción de compuestos farmacéuticos al ambiente. La movilidad y la sorción-desorción de carbamazepina, naprogeno y diclofenac se estudiaron en suelos regados con aguas servidas que había recibido tratamiento secundario. Carbamazepina y diclofenac eran retenidos en forma significativa en las muestras de 0–5 cm ricas en materia orgánica. En las muestras de suelo de 5–15 cm de profundidad con baja proporción de materia orgánica, el naprogeno mostró una gran movilidad, mientras que carbamazepina y diclofenac eran sorbidos por el suelo. En la muestra de 15-25 cm, todos los compuestos

presentaron mayor movilidad, confirmando que es la materia orgánica el factor principal que gobierna las interacciones de estos compuestos con los suelos, no sólo por su cantidad sino también por su naturaleza físico-química. El naprogeno y la carbamazepina exhibieron isotermas de sorción reversibles. Cuando los compuestos pasan la capa superficial rica en materia orgánica o son introducidos en suelos pobres en materia orgánica, su movilidad se incrementa en forma significativa. Estos estudios enfatizan la importancia del transporte potencial de los compuestos farmacéuticos a los acuíferos subterráneos en zonas semiáridas sujetas a riego intensivo con aguas servidas, aunque éstas hayan sido tratadas, en suelos pobres en materia orgánica (Chefetz *et al.*, 2008).

Los macroporos pueden contribuir al movimiento rápido del agua y solutos a través del perfil. Malone *et al.*, (2001), evaluaron este componente por medio del uso de bloques de 30 x 30 x 30 cm de suelo franco limoso, sin labranza, con macroporos naturales. Se aplicó sobre los bloques de suelo, atrazina, alaclor y bromuro en forma superficial, en tres niveles de humedad (seco, intermedio y húmedo). Una hora después, los bloques fueron sometidos a una simulación de lluvia de 30 mm durante 30 minutos. El líquido de percolación fue recolectado en la base de los bloques y posteriormente analizado. Una vez que la percolación cesó, el suelo fue dividido y analizado para determinar la distribución de los compuestos. Se usó el modelo RZWQM para la simulación. Los valores simulados estuvieron dentro de un rango de factor 2 del valor promedio observado. Las modificaciones al modelo tales como incorporar una macroporosidad efectiva dinámica (la macroporosidad efectiva aumenta a medida que aumenta la lluvia) y cinética química en los macroporos, podrían mejorar las simulaciones.

En el Valle del Mezquital, México, donde la irrigación se realiza con aguas servidas, se estimaron las concentraciones de fármacos introducidos al ambiente, a través de la información de uso de agua, ventas de fármacos, y promedios de excretas (Siemensa *et al.*, 2008). Los datos para varios fármacos resultaron del mismo orden de magnitud que los que se determinaron efectivamente. En dos compuestos se realizó la determinación en excretas. Los compuestos básicos con cargas positivas y los

compuestos neutros son más retenidos por el suelo, mientras que aquellos que son acídicos o aniónicos no son retenidos.

Si bien las estimaciones a partir de los modelos sirven como información de riesgo potencial, en ningún caso pueden sustituir a los monitoreos. La determinación de microcontaminantes orgánicos ha cobrado gran envergadura en los últimos años y las metodologías disponibles permiten su cuantificación a muy bajos niveles.

CONSIDERACIONES FINALES

Los sistemas de producción agrícola bajo riego producen efectos en suelos y aguas subterráneas. Las variaciones en la cantidad de agua de riego producen sobreexplotación de acuíferos, erosión y/o anegamiento. Por otra parte, la calidad del agua utilizada para riego produce salinización, sodificación y contaminación de suelos y aguas subterráneas, y también puede presentar toxicidad para los cultivos.

Los fertilizantes producirán contaminación con nitratos en aguas subterráneas y problemas de eutrofización en aguas superficiales. Las formas solubles y adsorbidas de fósforo en el suelo desempeñan un papel importante en relación a la posibilidad de que este elemento pase al agua de poro, y de ésta al agua subterránea.

Los metales pesados son microcontaminantes que pueden llegar al agua subterránea por efecto del riego y que pueden ser movilizados en medio ácido por aumento de solubilidad. El estudio de formas extractables de los metales pesados en suelos es un conocimiento básico para poder predecir su movilización por riego.

El uso de plaguicidas se ha incrementado en la denominada “era química”, que ha transformado la sociedad desde mediados del siglo pasado. El riesgo de contaminación de acuíferos por estas sustancias puede estimarse mediante el uso de modelos. Aún los más sencillos y que requieren datos de fácil accesibilidad aportan información valiosa.

El conocimiento de las características y calidad de los suelos que constituyen la zona no saturada, permiten interpretar su relación con la calidad del agua subterránea y conocer el estado de las principales variables que controlan la capacidad reguladora

de los suelos. El desarrollo de un índice de atenuación a la contaminación de suelos a partir de la normalización y priorización de parámetros vinculados a las características físico-químicas de los suelos, resultó una herramienta útil para estimar el riesgo de contaminación por fósforo y metales pesados de aguas subterráneas. Este índice no ha sido validado para microcontaminantes orgánicos, aunque un trabajo preliminar con herbicidas de uso frecuente en Argentina ha demostrado que su aplicación es promisoría.

Cualquier variación que se produzca en el ciclo hidrológico, como es el caso de los sistemas de producción bajo riego, acelerará los procesos de contaminación de los acuíferos subterráneos.

REFERENCIAS

- Akram-Kahlowan, M. and Azam, M. 2003. Effect of saline drainage effluent on soil health and crop yield. *Agricultural Water Management*, 62 (2): 127-138.
- Aller, J., Alonso, J.L., y Pérez-Estaún, A. 1985. *Boletín Geológico y Minero*. 96 (4): 581-591.
- Año-Vidal, C., Sánchez-Díaz, J., Antolín-Tomás, C. y Goberna-Estellés, M. 2002. Capacidad y vulnerabilidad de los suelos en la comunidad valenciana. *Investigaciones Geográficas*, 28: 105-123.
- Aparicio, V., Costa, J.L. y Zamora, M. 2008. Nitrate leaching assessment in a long-term experiment under supplementary irrigation in humid Argentina, *Agricultural water management*, *in press*.
- Arauzo, M., Díez, J.A. y Hernáiz, P. 2003. Estimación de balances hídricos y lixiviación de nitratos en sistemas agrícolas. En: *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo Vol. VI Álvarez-Benedí, J. y Marinero, P.*, 39-44.
- Bardowicks, K., Heredia, O.S., Fernández-Cirelli, A., Billib, M. and Boochs, P.W. 2008. Impact of Pesticides on the Groundwater Resources in Buenos Aires Province, Argentina. *Proceedings of Ag. Eng. Kreta, Greece*, 23-25.
- CARY, L. and TROLARD, F. 2008. Metal mobility in the groundwater of a paddy field in Camargue (South eastern France), *Journal of Geochemical Exploration* 96: 132-143.
- Civita, M. y De Regibus, C. 1995. Sperimentazione di alcune metodologie per la valutazione della vulnerabilità degli acquiferi (in Italian). *Quaderni di Geologia Applicata*, Pitagora Ed. Bologna, 3: 63-71.
- Chang, N.B., Srilakshmi, K.R. and Parvathinathan, G. 2008. Comparison of models of simazine transport and fate in the subsurface environment in a citrus farm. *Journal of Environmental Management*, 86: 27-43.
- Chefetz, B.T., Mualem, J. and Ben-Ari, A. 2008. Sorption and mobility of pharmaceutical compounds in soil irrigated with reclaimed wastewater, *Chemosphere*, 73: 1335-1343

Djordjic, F., Börling, K. and Bergström, L. 2004. Phosphorus leaching in relation to soil type and soil Phosphorus content. *Journal of Environmental Quality*, 33: 413-418.

Doerfliger, N. and Zwahlen, F. 1997. A new method for outlining of protection areas in karstic environment. In Gunay and Jonshon (Ed). *Int. Symp. On Karst Waters and Environ. Impacts*. Antalya, Turkey, 117-123.

Dorich, I.R., Nelson, D. and Sommers, L.E. 1985. Estimating algal available phosphorus in suspended sediments by chemical extraction, *Journal of Environmental Quality*, 14: 400-405.

El Mabrouki, K., Rodríguez-Maroto, J.M. y Cruz-San Julián, J.J. 1999. Estudios de la movilidad del fosfato a través del suelo: experiencias en discontinuo (batch) y en columnas. *Estudios de la Zona No saturada del suelo*. Eds.: Muñoz-Cárpena, A., Ritter, C. y Tascón. ICIA, 95-100.

Fernández-Cirelli, A., Ojeda, C., Castro, M. and Salgot, M. 2008. Surfactants in sludge-amended agricultural soils. A review. *Environmental Chemistry Letters*, 6 (3): 135-148.

Fernández-Gómez, R., Mateos, L. and Giráldez, J.V. 2004. Furrow irrigation erosion and management. [Irrigation Science](#), 23 (3): 123-131.

Foster, S.S.D., and Hirata, R.C.A. 1988. Groundwater pollution risk evaluation: a methodology using available data, CEPI'S – PAHO/ WHO, Lima, 78p.

Freire, M.B.G, Ruiz, M.R., Ribeiro, P.A., Blacksmith, V.H., Alvarez, F.J. and Freire, F.J. 2003. Hydraulic Conductividade of soil of Pernambuco in reply to the electric conductivity and RAS of the irrigation water. *Rev. Bras. Eng. Agric. Ambient*, 17 (1): 45-52.

González-Vázquez, J.C., Grande, J.A., Barragán, F.J., Ocaña, J.A. and De La Torre, L. 2005. Nitrate Accumulation and Other Components of the Groundwater in Relation to Cropping System in an Aquifer in Southwestern Spain, *Water Resources Management*, 19: 1-22.

Guganesharajah, K., Pavey, J.F., Khasankhanova, G.M. and Lloyd, B.J. 2007. Simulation of Processes Involved in Soil Salinization to Guide Soil Remediation, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133 (2): 131-139.

Guo, H., Li, G., Zhang, D., Zhang, X. and Lu, C.H. 2006. Effects of water table and fertilization management on nitrogen loading to groundwater, *Agricultural Water Management* 82: 86-98.

Heathwaite, A.L., Burt, T.P and Trudgill, S.T. 1993. Overview – The nitrate issue. In: *Nitrate: Processes, Patterns and Management*. Eds.: Burt, T.P., Heathwaite, A.L. y Trudgill, S.T. John Wiley & Sons Lt Chichester.

Heredia, O.S., Giffré, L., Berasategui, L. y Pascale, C. 1996. Fósforo extraíble e índices de sorción. Posibles usos ambientales. *Ciencia del Suelo*, 14: 50-52.

Heredia, O.S. 2005. Relación entre los procesos de la Zona No Saturada y la composición del agua subterránea. Tesis doctorado. Escuela para graduados, F.C.V., UBA, 333p.

Heredia, O.S. y Fernández-Cirelli, A. 2005. Cambios en la calidad del agua en la Zona no Saturada, Congreso Nacional del Agua (CONAGUA, 2005), Mendoza, Libro de Resúmenes: 99, trabajo completo en soporte CD.

Heredia, O.S. y Fernández-Cirelli, A. 2007. Environmental risks of increasing phosphorus addition in relation to soil sorption capacity. *Geoderma*, 137: 426-431.

Heredia, O.S. y Fernández-Cirelli, A. 2008. Groundwater chemical pollution risk. Assessment through a Soil Attenuation Index. *Environmental Geology*, 53: 1345-1351.

Hewitt, A.E. and Shepherd, T.G. 1997. Structural vulnerability of New Zealand soils. *Australian Journal of Soil Research*, 35: 461-474.

Indiati, R. and Sharpley, A.N. 1995. Soil phosphate sorption and simulated runoff parameters as affected by fertilizer addition and soil properties. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 26: 2319-2331.

INTER-AMERICAN DEVELOPMENT BANK. Environment and production technology division, 2000. *Irrigation and water resources in Latin America and the Caribbean: challenges and strategies*

Jensen, M.B., Jorgensen, P.R., Bruun Hansen, H.C. and Nielsen, N.E. 1998. Biopore mediated subsurface transport of dissolved orthophosphate. *Journal of Environmental Quality*, 27: 1130-1137.

Kahn, T.G., Schwartz, Y.B., Dellino, G.I. and Pirrotta, V. 2006. Polycomb complexes and the propagation of the methylation mark at the Drosophila Ubx gene. *J. Biol. Chem.* 281 (39): 29064-29075.

Lana, B.C. 2007. Ambient impact of the culture of the common feijoeiro, Available in: <http://www.cnpaf.embrapa.br/conafe/pdf/palestra06.pdf>

Lemunyon, J.L. and Gilbert, R.G. 1993. The concept and need for a P assessment tool. *J. of Prod. Agr.*, 6: 483-486.

Li, J., Yoder, R.E., Odhiambo, L.O. and Zhang, J. 2004. Simulation of nitrate distribution under drip irrigation using artificial neural networks, *Irrig. Sci.*, 23: 29-37.

Li, Z.Z., Li, W.D. and Li, W.L. 2004. Dry-period irrigation and fertilizer application affect water use and yield of spring wheat in semi-arid regions. *Agricultural Water Management*, 65: 133-143.

Malone, R.W., Shipitalo, M.J., Ma, L., Ahuja, L.R. and Rojas, K.W. 2001. Macropore component assessment of the root zone water quality model (RZWQM) using no-till soil blocks. *Transactions of the ASAE*, 44(4): 843-852.

Medeiros, J.F., De, R., De Linbon, M., De Oliveira, M.J., De Silva-Júnior, L.P. and ALVES, A. 2003. Characterization of used underground waters for irrigation in cantaloups the producing area of the Chapada of the Apodi. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambient, Campina Grande*, 7 (3): 469-472.

Meireles, B.C.M., De Andrade, E.M. and Cross, M. 2003. The Evaluation of the impact of the fertirrigação in cambissolos in the chapada one of the Apodi, Ceará. *Magazine Science Agronômica*, 34 (2): 207-212.

Oliveira, L.B., Ribeiro, M.R., Blacksmith, M., Rasp, J.F. and Marques, F.A., 2002. Applied pedagogical inferences to the irrigated perimeter of Custódia, PE. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, 37 (10): 1477-1486.

Ortega-Larrocea, M.P., Siebe, C., Estrada, A. and Webster, R. 2007. Mycorrhizal inoculum potential of arbuscular mycorrhizal fungi in soils irrigated with wastewater for various lengths of time, as affected by heavy metals and available P. *Applied soil ecology*, 37: 129-138.

Ongley, E.D.1997. Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos. Estudio de la FAO riego y drenaje. FAO, Roma, Italia. <http://www.pesticideinfo.org>

Pannell, D.J. and Ewing, M.A. 2006. Managing secondary dryland salinity: options and challenges agricultural water management, 80 (1-3): 41-56.

Patel, R.M., Prasher, S.O., Bonnell, R.B. and Broughton, R.S. 2002. Development of Comprehensive Soil Salinity Index, J. Irrig. and Drain. Engrg., 128 (3): 185-188.

Rast, W. and Thornton, J.A. 1996. Trends in eutrophication research and control. Hydrological Processes, 10: 295-313.

Ribbea, L., Delgado, P., Salgado, E. and Flügel, A.W. 2008. Nitrate pollution of surface water induced by agricultural non-point pollution in the Pochay watershed, Chile. Desalination 226: 13- 20.

Santos, A.B., Fageria, N.K., and Zimmermann, F.J.P. 2002. Chemical attributes of the soil affected for the handling of the water and the potássico fertilizer in the culture of the irrigated rice. Brazilian magazine of Agricultural and Ambient Engineering, Campina Grande, 6 (1): 12-16.

Sharpley, A.N. and Daniel, T.C. 1993. Phosphorus movement in the landscape. J. of Production Agriculture, 6: 453-500.

Sharpley, A.N. and Pionke, H. 1998. Suggest terminology for P lost in runoff and drainage water. Chapter 22, In Tunney (Ed), Phosphorus loss from soil to water. CABINTERNATIONAL, UK, 467p.

Sims, J.T., Simard, R.R., and Joern, B.C. 1998. Phosphorus loss in agricultural drainage: historical perspective and current research. Journal of Environmental Quality, 27: 277-293.

Siemensa, J., Huscheka, G., Siebeb, C. and Kaupenjohanna, M. 2008. Concentrations and mobility of human pharmaceuticals in the world's largest wastewater irrigation system, Mexico City-Mezquital Valley, Water research, 42: 2124-2134.

Thayalakumaran, T., Bristowa, K.L., Charlesworth, P.B. and Thorsten, F. 2008. Geochemical conditions in groundwater systems: Implications for the attenuation of agricultural nitrate. Agricultural water management, 95: 103-115.

USEPA, 1992. National Water Inventory. Report to US Congress.

Zhang, M., Hea, Z., Calvert, D.V. and Stofella, P.J. 2004. Spatial and temporal variations of water quality in drainage ditches within vegetable farms and citrus groves, *Agricultural Water Management*, 65: 39–57.

ESTUDIOS DE CASO

ESTUDIOS DE SUSTENTABILIDAD DE LOS SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEO EN ARÁNDANOS EN EL NORTE DE BUENOS AIRES

Alejandro Pannunzio

Cátedra de Riego y Drenaje, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires

RESUMEN

Los arándanos (*Vaccinium corymbosum* L.) se cultivan en Argentina desde comienzos de la década del 90 en las localidades de Zarate, Lima, San Pedro, Baradero y Mercedes en la provincia de Buenos Aires. El objetivo de la producción es el mercado de producción en fresco, en el hemisferio norte, como fruta de contraestación. Su cultivo se vio acompañado de sistemas de riego por goteo, a modo de riego complementario. También se desarrollaron sistemas de riego Antihelada, para proteger sus flores y frutos de los daños provocados por heladas tardías. La fuente de agua de riego utilizada en la zona es proveniente de perforaciones del acuífero libre Pampeano y del acuífero semiconfinado Puelche. Son aguas con valores de pH de 6 a 7, salinidades de 0,500 a 1,2 dS m⁻¹ y valores de relación de absorción de sodio de 0,8 a 10,1. Los suelos en los que se realizaron los cultivos son Argiudoles, con tasas de infiltración de 10 a 15 mm h⁻¹ y valores de pH de alrededor de 7. El arándano del tipo Southern Highbush cultivados en la zona requieren pH de suelo cercano a 5 y altos contenidos de materia orgánica, que se logran con la incorporación de sustratos provenientes de corteza de pino. El manejo de los sistemas de riego genera modificaciones de parámetros del suelo, en algunos casos en dirección de lo requerido por el cultivo y en otros casos en situaciones contrarias a lo deseable. Esto implica la necesidad de sugerir normas de diseño, operación y mantenimiento de los sistemas de riego. También es necesario atender los requerimientos y necesidades de todos los usuarios del agua, entre los que se encuentran usos para bebida, industria, otros usos agrícolas, etc.

ABSTRACT

The first cultivated areas of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) in the country were Zárate, Lima, San Pedro and Baradero, in the north of Buenos Aires province, and Mercedes in the west of Buenos Aires. Production targeted the northern hemisphere's fresh market. Extra water was supplied with drip irrigation. Antifrost Irrigation systems were developed to protect flowers and fruits from late frost. Irrigation Water came from the Pampeano aquifer and the semiconfined Puelche aquifer. This water has PH values from 6 to 7, salinity values that range from 0,35 to 1,200 dS m⁻¹ and a sodium absorption ratio from 0,8 to 10,1. Cultivated soils were classified as Argiudols, with infiltration rates from 10 to 15 mm h⁻¹, and 7 pH values. Southern Highbush variety grown in the area requires pH values close to 5 and high organic matter content, reached by adding substrates such as pine bark. Managing irrigation systems modify soil parameters. The same supplies can be beneficial or detrimental, depending on the crop. Therefore, it is necessary to design standards for irrigation systems as well as operation and maintenance procedures, to cover all requirements and needs of water users, ranging from consumers, to industry and agriculture.

INTRODUCCIÓN

El arándano se cultiva en Argentina desde los comienzos de la década de los 90. El género *Vaccinium* pertenece a la familia de las Ericáceas. Tuvo un gran desarrollo, como consecuencia de los precios de venta en el hemisferio norte, donde se lo aprecia por su composición nutricional. También adquiere importancia su valoración en los Estados Unidos, donde por razones culturales es consumida en el día de Acción de Gracias. En esa fecha solo es posible el consumo de la fruta en fresco con producciones provenientes del hemisferio sur.

La zona de implantación inicial en nuestro país, fue el norte de la provincia de Buenos Aires (Vilella, 2003), principalmente en las localidades de Zárate y Mercedes. Estos cultivos fueron implantados con la instalación simultánea de sistemas de riego

(Pannunzio, 2003). Los sistemas de riego utilizados en nuestro país, fueron mayoritariamente de riego por goteo. Esto se debe a que la textura franco limoso o bien franco arcillosa de los suelos, hace más conveniente el riego en la zona donde se desarrolla las raíces del cultivo, sin impedir la realización de tareas culturales. En caso de implementarse riego por aspersión de cobertura total se moja toda la superficie, hecho que en suelos de baja infiltración como los arguidoles de la zona mencionada, dificultarían tareas culturales posteriores (Pannunzio, 2003). El arándano es muy sensible a la falta de agua (Mingeau *et al.*, 2001). El cultivo de arándano posee un sistema radicular superficial carente de pelos absorbentes. (Holzapfel *et al.*, 2004). Se desarrolla adecuadamente en suelos ácidos de pH 4,5 a 5,5, bien drenados con elevados contenidos de materia orgánica. Los suelos en los que se plantan arándanos de la zona son arguidoles, con un horizonte B textural a 30 cm., con escasa permeabilidad y tasas de infiltración básica del orden de 10 a 20 mm h⁻¹. Los regímenes pluviométricos de la zona, son de 800 a 1300 mm anuales.

Las prácticas agronómicas recomendadas para morigerar los efectos negativos que puede ocasionar el exceso de agua en la zona radicular son: construcción de camellones elevados de 40 a 60 cm e incorporación de sustratos durante la construcción de los camellones. Los sustratos utilizados son de materiales vegetales de pH ácido (Gugliada, 2008). Su incorporación fue determinada por Lin Wu (2004), en variedad BlueCrop con plantas de dos años de edad. La zona de estudio es parte de la cuenca del Plata que posee 3.100.000 km². Sobre la República Argentina esta cuenca ocupa alrededor de 920.000 de km², representado el 45 % de su territorio continental y el 84 % de sus recursos hídricos superficiales. El caudal medio del río de la Plata es de 22.000 m³ s⁻¹. Los recursos hídricos subsuperficiales son los provenientes de los acuíferos Pampeano y Puelche. El objetivo del trabajo fue el de estudiar el efecto del uso de los sistemas de riego sobre los cultivos de arándano variedad *O'Neal*, que es la que cubre el 70 % del área, y el modo en que se modifica en medio en que se desarrolla por el uso del riego.

Importancia económica y desarrollo del cultivo en nuestro país

El arándano comenzó a difundirse en Argentina enfocado hacia los mercados de exportación del hemisferio norte, donde existía desde muchísimos años la cultura de su consumo. En USA, la principal producción proviene de plantaciones silvestres. Las características de producción en contraestación fue el elemento determinante para que apareciera esa ventana comercial. La producción de primicia Argentina coincide con el momento en el que dichos mercados agotan la producción de las diversas áreas del país, momento en el que obtienen precios elevados.

Ubicación

La zona de estudio es en las localidades de Zarate, Lima, Capilla del Señor, Carmen de Areco, Baradero, San Pedro, en el norte de la provincia de Buenos Aires. También se consideraron, las localidades de Roque Pérez y Pedernales.

Suelos

Los suelos del área son en general argiudoles con 8,5 a 10 % de arena, 68,5 a 74 % de limo, y 17,5 a 21,5 % de arcilla. Los valores de ph de suelo son de 6,8 a 7,3, la salinidad de los suelos es de 0,3 dS m⁻¹, y la capacidad de intercambio catiónico de 17 a 21 meq cada 100 gr.

Agua subterránea

Pampeano: es un acuífero libre, solo usado por algunos productores para uso para riego en esta zona, dadas las fluctuaciones de producción de agua y salinidad que posee.

Puelche: es un acuífero semiconfinado, es el más empleado en la zona de estudio con fines de riego. Su extensión es de 240.000 km², en las provincias de Santa Fe, Entre Ríos, Córdoba y Buenos Aires; en esta última ocupa 92.000 km² El espesor del Puelche es de 20 m en el área de estudio, llega hasta 90 m en otras áreas de su extensión, aumentando ligeramente hacia los

ríos Paraná - de la Plata y marcadamente hacia la cuenca del Salado y el Cabo San Antonio. Se encuentra delimitado superiormente por un acuitardo con una transmisividad del orden de $5 \cdot 10^{-4} \text{ día}^{-1}$ e inferiormente, por un acuicludo que lo separa del Acuífero Paraná (Auge, 2001). Posee una transmisividad de $500 \text{ m}^2 \text{ d}^{-1}$, una conductividad hidráulica de 30 m d^{-1} . Los gradientes hídricos son de $5 \cdot 10^{-4}$, la velocidad efectiva de $8 \cdot 10^{-2}$ a 300 m d^{-1} . En la mayor parte del área posee aguas de baja salinidad (bicarbonatadas sódicas), desmejorando hacia la zona de descarga con más de 20.000 ppm (cloruradas sódicas) (Auge, 1997).

Datos climáticos

Los principales datos climáticos de la zona de estudio se describen en la tabla 1.

Tabla 1: Calculo de la Evapotranspiración de referencia para la localidad de San Pedro, provincia de Buenos Aires. Elaboración propia con datos de la Fuerza Aérea Argentina.

Meses	p	Temp med	f	n	N	n/N	n/N	Hrmin	Hrmin	U2	U2	U2	Eto	Eto
	%	C	mm día ⁻¹	hs	hs			%		Km. h ⁻¹	m s ⁻¹		mm día ⁻¹	mm mes ⁻³
1	2	3	4	5	6	7		8		9			10	11
Ene	0.31	23.6	5.88566	9.3	13.7	0.6788	Med	59	Alta	9.3	2.6	Mod	5.55	172.05
Feb	0.29	21.9	5.27916	8.4	13.1	0.6412	Med	64	Alta	8.6	2.4	Mod	4.25	119
Mar	0.28	20.3	4.89104	7.6	12.3	0.6179	Med	68	Alta	8.2	2.3	Mod	3.85	119.35
Abr	0.26	16.6	4.09916	6.7	11.6	0.5801	Baja	70	Alta	8.1	2.3	Mod	3.60	108
May	0.25	13.4	3.57350	5.6	10.8	0.5209	Baja	74	Alta	8.5	2.4	Mod	2.30	71.3
Jun	0.24	10.4	3.09936	5.2	10.7	0.4860	Baja	72	Alta	8.9	2.5	Mod	1.60	48
Jul	0.24	10.5	3.11040	5.1	10.6	0.4811	Baja	73	Alta	9.5	2.6	Mod	1.40	43.4
Ago	0.26	11.2	3.45332	6.1	11.2	0.5446	Baja	68	Alta	10.0	2.8	Mod	2.00	62
Sep	0.27	13.9	3.92148	7.1	12.0	0.5917	Med	63	Alta	10.7	3.0	Mod	2.85	85.5
Oct	0.28	16.7	4.42736	7.6	12.8	0.5938	Med	63	Alta	10.6	2.9	Mod	3.60	111.6
Nov	0.29	19.3	4.93232	9.3	13.5	0.6914	Med	57	Alta	10.5	2.9	Mod	3.85	115.5
Dic	0.30	22.6	5.55780	9.4	13.9	0.6787	Med	56	Alta	9.9	2.8	Mod	4.50	139.5
ANUAL		16.7	0					65.6		9.4	2.6			1195.2

Riego por goteo en arándano: Su importancia como herramienta para el aumento de la rentabilidad.

El riego es una práctica imprescindible para el arándano, dado que no tolera la sequía y por otra parte su sistema radicular es muy superficial. El diseño y manejo de los sistemas de riego es un problema de alta complejidad que requiere una amplia aproximación de análisis y solución (Holzapfel *et al.*, 2004). Entre los factores que tienen un rol más relevante se puede considerar la demanda de agua, su disponibilidad, la disponibilidad de tecnología, el sistema de manejo y la facilidad de obtener información apropiada. Prácticas ineficientes de riego reducen considerablemente la producción de cultivos y frutales. El uso de agua en la agricultura puede ser mejorado significativamente con el aporte de diseño y manejo óptimo de los sistemas de riego. Por ello el diseño y selección de sistemas de riego y el manejo del agua para riego que maximice los beneficios económicos y sociales, significa un mayor bienestar, lo que implica un proceso de optimización (Holzapfel *et al.*, 2004). Si bien es usual la disponibilidad de instrumental de medición de parámetros climáticos, no es común el cálculo de las necesidades de riego en función de la evapotranspiración. Las funciones de los sistemas de riego son:

Aplicar la Lámina Bruta de Reposición (LBR) que satisfaga la Lámina Neta de Reposición (LNR) y la Eficiencia de aplicación de (Efa).

$$LNR(mm) = (Wmcc - Wmcm).dar.UC.D(mm)$$

$$LBR = \frac{LNR}{Efa}$$

Wmcc= % de agua gravimétrica a capacidad de campo.

Wmcm= % de agua gravimétrica en coeficiente de marchitez.

UC= Umbral crítico, porcentaje de capacidad de campo al que no se resiente el cultivo.

D= profundidad radicular en unidades de longitud.

O bien:

La Lámina a aplicar según el Requisito de lixiviación (LA_{RL}), que considera el RL, que es la relación entre la Conductividad Eléctrica del agua de riego (CE_w) y la conductividad tolerada por el cultivo (CE_{et}).

$$LA_{RL} = \frac{LNR}{1 - \frac{CE_w}{CE_{et}}}$$

La ETo, es función de la radiación neta y se calculo con diferentes metodologías. Las centrales meteorológicas emplean la Formula de Penman-Monteith. En algunos establecimientos se mide la Evaporación de tanque tipo "A". Esto provee la Evaporación de una superficie libre de agua, la que multiplicada por el coeficiente de tanque la transforma en ETo.

$$ETo(mm / dia) = Ev(mm / dia).kp$$

La ETc, es la Evapotranspiración del Cultivo que es igual a la Evapotranspiración de Referencia (ETo) por el kc (coeficiente del cultivo).

$$ETc(mm / dia) = ETo(mm / dia).kc$$

La que resulte mayor de estas dos (LBR o LA_{RL}) es la que debe aplicarse al transcurrir el Intervalo entre Riegos (IR), que es la razón entre la LNR y la ETc.

$$IR(dia) = \frac{LNR(mm)}{ETc(mm / dia)}$$

El riego es un factor determinante en el desarrollo del arándano ya que posee un sistema radicular superficial, fibroso de poca extensión, carente de pelos radicales, restringiendo así su capacidad de absorción (Eck, 1990). Esta susceptibilidad le lleva a requerir riego suplementario a lo largo del período de crecimiento (Gough, 1982; Godoy, 1984; Holzapfel *et al.*, 1994) que asegure al

arándano un buen abastecimiento de agua. El riego oportuno permite obtener un desarrollo máximo de la fruta logrando, además un crecimiento de los tejidos vegetativos que aseguren la producción en la siguiente temporada (Holzapfel, 1994). El uso de materiales para *mulch tales* como aserrín, cortezas, chips o paja, esparcidos bajo los arbustos con un espesor de 15-20 cm., conserva mejor la humedad del suelo y mantiene dicha zona con un alto nivel de aireación. Lyrene y Crocker (1991) estiman un requerimiento de agua total (incluye precipitación y riego) para arándanos de alrededor de 1000 mm por año. Holzapfel *et al.*, (2004) encontraron requerimientos de alrededor de 750 mm anuales en la zona de Chillán-Chile. La sobre irrigación aumenta los problemas sanitarios en su sistema radicular. Un stress hídrico durante el crecimiento de la fruta en las dos últimas semanas de maduración, dará como resultado bayas pequeñas y posiblemente una caída de frutos. Diversos investigadores han considerado que los métodos de riego por microaspersión y goteo son los métodos de mayor adaptabilidad para aplicar el agua a las plantaciones de arándano (Holzapfel, 1994). En suelos arenosos livianos se prefiere los microjet, en cambio en suelos pesados lo mejor es goteo o surcos.

Calculo de la evapotranspiración del cultivo de arándano

A los efectos del cálculo de las necesidades de riego de los cultivos, en este caso de arándano es necesario, tal como fue presentado anteriormente la determinación del coeficiente del cultivo, el que será aplicado del siguiente modo:

$$ETc(mm / dia) = ETo(mm / dia).kc$$

Los autores Bryla y Strik (2006), proponen la evolución del coeficiente de cultivo descripta en la figura 1.

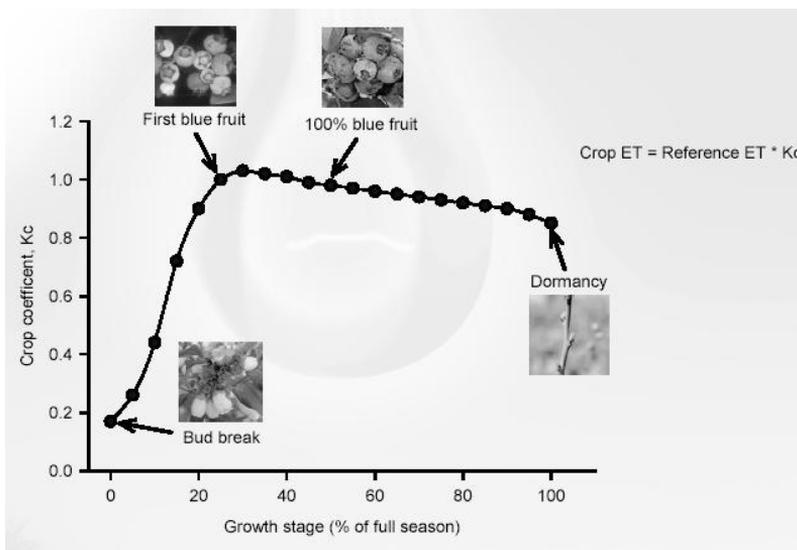


Figura 1: Variación del Kc con la estación de crecimiento. (Bryla y Strik, 2006)

Oportunamente al describir el cultivo de arándanos se mencionó que el mismo tiene raíces muy superficiales. Esto implica que el volumen de suelo que puede explorar es muy reducido. De ese modo el volumen de agua almacenada en el área radicular también es muy reducido. Esto lo hace más susceptible a los picos de demanda de agua. Esto se menciona debido a que las necesidades diarias de los cultivos están calculadas en base a valores medios mensuales, de modo que los picos de demanda están ocultos en el promedio. De acuerdo a lo propuesto por Pizarro (2000), Rodrigo López *et al.*, (2003) se incrementan los valores diarios extraídos de la estadística mensual en un 20 %, para cubrir los picos que se generen, quedando la demanda diaria máxima prevista de acuerdo a la figura 1 y a la tabla 2.

Tabla 2: Cálculo de las necesidades de riego de los cultivos considerando el coeficiente de ajuste por variación climática. Elaboración propia.

Meses	ETc	Kc Arándano	Coef ajuste variacion climatico	Etc ajustada	Etc ajustada
	mm día ⁻¹			mm día ⁻¹	mm mes ⁻¹
Enero	5.55	0.85	1.20	5.66	175.49
Febrero	4.25	0.80	1.20	4.08	114.24
Marzo	3.85	0.80	1.20	3.70	114.58
Abril	3.60	0.80	1.20	3.46	103.68
Mayo	2.30	0.40	1.20	1.10	34.22
Junio	1.60	0.00	1.20	0.00	0.00
Julio	1.40	0.00	1.20	0.00	0.00
Agosto	2.00	0.20	1.20	0.48	14.88
Septiembre	2.85	0.60	1.20	2.05	61.56
Octubre	3.60	1.00	1.20	4.32	133.92
Noviembre	3.85	1.05	1.20	4.85	145.53
Diciembre	4.50	0.90	1.20	4.86	150.66
ANUAL (mm año ⁻¹)					1048.76

El riego, su operación y la producción de arándanos

El cultivo tiene una respuesta al agua de riego, ya que esta determina la cantidad de agua disponible para Evapotranspirar. El modelo de Doorembos y Kassan (FAO, 1988). Este factor relaciona la variación del volumen aplicado en la temporada y la variación en la producción, etapa que en general se produce para arándanos adultos entre aplicaciones de 3.000 a 7.000 metros cúbicos por hectárea temporada. El máximo potencial de producción está asociado a varios factores (Pannunzio, 2008), entre los más relevantes se consideran la variedad, suelo, manejo, método de riego y la zona donde está establecido el frutal.

MATERIAL Y MÉTODOS

A efectos de conocer la percepción de los regantes y las características de los sistemas de riego utilizados se realizaron encuestas a regantes. El objetivo es el de contar con un inventario de datos que caracterice al productor medio de arándanos del área del norte de Buenos Aires. Las encuestas fueron realizadas con los operadores de riego y con la documentación del diseño de los sistemas de riego. La cantidad de establecimientos analizados fueron 20.

Superficie por predio

En primera instancia se interrogó respecto de la superficie total de cada uno de los predios. Los resultados se observan en la figura 2

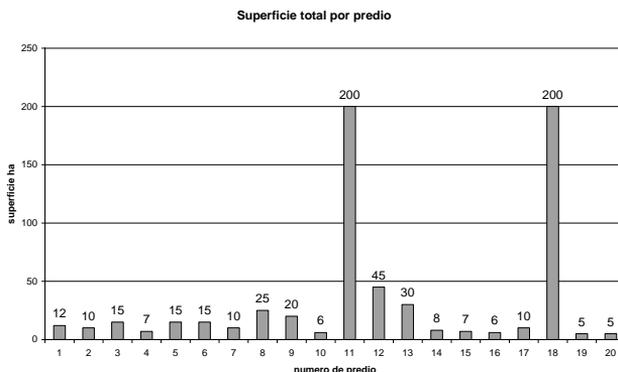


Figura 2: Superficie por predio, sobre los 20 casos estudiados (Pannunzio 2008).

De los datos de la encuesta por predio, surge que los emprendimientos de arándanos se desarrollan básicamente en predios de menos de 30 ha.

Superficie dedicada al arándano por predio

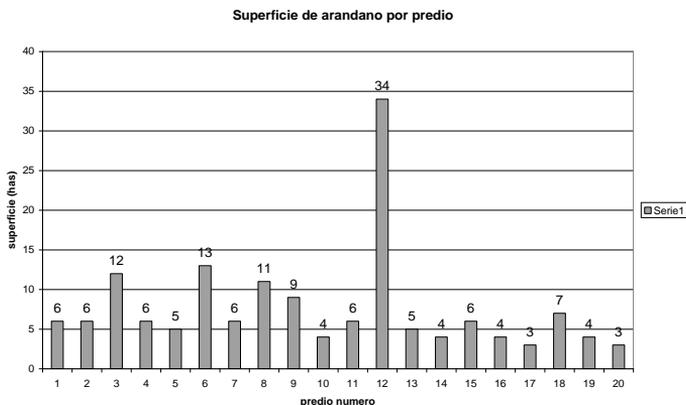


Figura 3: Superficie de arándano por predio, sobre los 20 casos estudiados (Pannunzio 2008).

De la figura 3, surgen las superficies implantadas por predio que se destinan al cultivo de arándano. El 95 % tienen menos de 15 ha y el 80 % poseen menos de 10 ha. El 70 % posee hasta sólo 6 ha. Estos datos muestran que las superficies de este cultivo en el área de estudio, son pequeñas, propios de cultivos intensivos.

Superficie por predio dedicado a otros usos

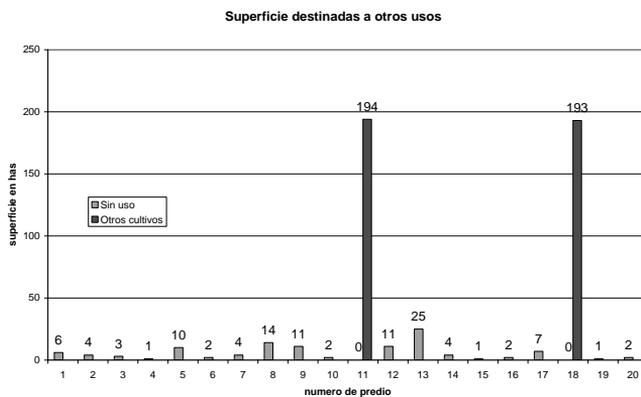


Figura 4: Superficie dedicada a otros usos respecto de la total, sobre los 20 casos estudiados (Pannunzio 2008).

En el caso del área de estudio se observa que los emprendimientos de arándano tienen concentrada su actividad en este cultivo en el 90 % de los casos. Sólo los dos predios que tienen una gran superficie, son los que emplean el predio para otro uso agrícola aparte del cultivo de arándano.

Proyectos relacionados con apoyo del gobierno

Ninguno de los 20 casos estudiados cuenta con proyectos de riego financiados por el gobierno.

Limitantes en la cantidad de agua para riego

En ninguno de los 20 casos de análisis hubo limitaciones para satisfacer los requerimientos de riego de los cultivos.

Fuente de agua de los sistemas

Todos los emprendimientos utilizan agua subsuperficial, ninguno de ellos utiliza agua superficial. De los 20 casos estudiados, 16 de ellos utilizan el agua del acuífero Puelche y los restantes 4 emprendimientos se abastecen del acuífero libre Pampeano.

Numero de perforaciones por predio

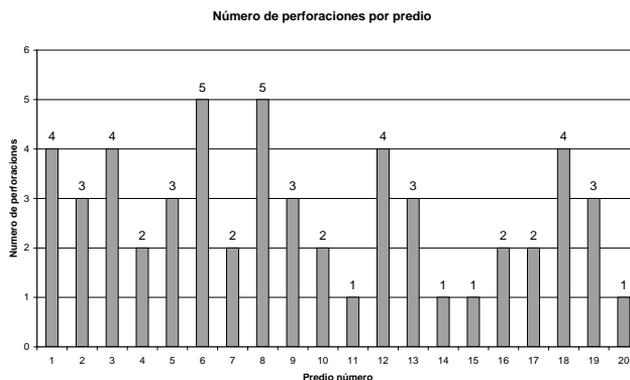


Figura 5: Número de perforaciones por predio para cada uno de los 20 casos estudiados,(Pannunzio 2008).

Del análisis de la figura 5, surge que los establecimientos censados poseen más de una perforación en 16 de los 20 casos estudiados. Esto se debe a los requerimientos de agua para otros usos en el predio, más los casos en los que emplean Sistemas de Riego Antihelada.

Energía empleada por los equipos de bombeo

Todas las bombas de riego de los predios, excepto los casos de riego antihelada que serán tratados más adelante, son de accionamiento eléctrico. Las potencias instaladas son desde 2 hasta 40 hp. Los detalles de potencias se incluyen en la figura 6. En 19 de los 20 casos las bombas son trifásicas.

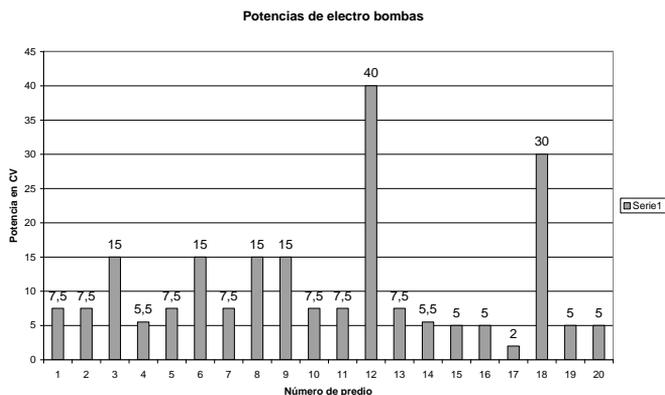


Figura 6: Potencias instaladas por predio, para los sistemas de bombeo destinados a riego y otros usos (Pannunzio 2008).

Precio del agua de Riego

En el caso de los productores de esta área, los 20 encuestados y el área en general no tiene empadronados a los regantes. Tampoco se paga tarifa alguna ni fija ni variable por el uso del agua. Ninguno de los 20 encuestados tiene empadronado su/s perforación/es en organismo público alguno. Su construcción se realiza en la zona sin auditar las mismas ni tampoco solicitando autorización al momento de realizarla. Todos los regantes monitorean pH y conductividad del agua de riego. Los análisis de suelos se realizan al menos dos veces al año, se monitorean pH, conductividad eléctrica del suelo, macronutrientes y en menor proporción micronutrientes. En menor proporción aun se realizan análisis foliares.

Los resultados de los análisis de las muestras de agua de los establecimientos en estudio se observan en la tabla 3 a y b.

Tabla 3a: Análisis de agua de perforaciones de establecimientos productores de arándanos (Pannunzio 2008).

ANÁLISIS	Shein	Shein	Blas III	SBB	SBB	Telet	Baradero Frutales	Baradero Frutales
Origen	Pa. R9	Pa. Lima	Pu.	Pu.	Pu.	Pu. agua bebida	Pu.	Pu. bebida
ACIDEZ O ALC.	7,4	7,4	7,8	6,0	7,8	7,0	7,3	7,7
(CO3=) ppm	no cont	no cont	no cont	3		no cont	No cont	no cont
(CO3H-) ppm	469,8	408,8	549,1			414,9	427,1	488,1
(Cl-) ppm	3,5	3,5	7,1	3	8,7	7,1	14,2	10,6
(SO4=) ppm	28,8	24,0	19,2	4,5	3,5	24	24	19,2
(Ca+2) ppm	52,1	68,1	26,1	0,7	10	12	52,1	37,9
(Mg+2) ppm	15,3	22,5	9,7	0,5	7	4	23,1	12,6
(K+) ppm	10,9	13,7	7,8	0,2		5,9	14,9	11,3
(Na+) ppm	92,0	29,9	133,4	6,7		149,5	89,7	101,2
SALES TOT. ppm	673	571	752			617	645	681
COND. ELECT. (dS m ⁻¹)	798	670	660	790	458	670	780	740
DUREZA	193	170	105	60	52	47	225	147
DUREZA CALCICA	130	263	65	35		30	130	95
ALCALINIDAD TOTAL	385	335	450			340	350	400
VALOR RAS	2,9	0,8	5,7	8,6	8,6	9,5	2,6	3,6
CAR. Na RES. (CSR)	3,8	1,5	6,9	1,8	1,8	5,9	2,5	5,1
CLASIFIC. P/RIEGO TOTAL	(C3)	(C3)	(C2)	(C3)		(C2)	(C3)	(C2)
SEGÚN RIVERSIDE	(S1)	(S1)	(S1)	(S2)		(S2)	(S1)	(S1)

Pa: Pampeano
Pu: Puelches

Tabla 3b: Análisis de agua de perforaciones de establecimientos productores de arándanos (Pannunzio 2008)

ANÁLISIS	Telet	Simoncini	Mancebo	Mancebo	Mancebo	Mancebo	Mancebo	Barreto
Origen	Pu. riego	Pu.	Pu. C	Pu. Aspersión	Pu. 3	Pu. Goteo	Pu. 3	Pa.
ACIDEZ O ALC	7,2	7,3	8,2	7,3	7,4	7,0	7,4	7,6
(CO3=) ppm	no cont	no cont	3,0	no cont	no cont	no cont	no cont	no cont
(CO3H-) ppm	433,2	463,7	213,5	427,1	488,1	445,4	488,1	414,9
(Cl-) ppm	3,5	7,1	10,6	3,5	0,4	3,5	0,4	28,4
(SO4=) ppm	24	28,8	33,6	24,0	9,6	24,0	9,6	23,5
(Ca+2) ppm	12	55,7	50,1	48,1	20,6	18,0	20,6	12,6
(Mg+2) ppm	4,5	20,8	6,7	14,7	7,4	6,1	7,4	8,6
(K+) ppm	5,5	16	2,0	10,9	10,2	6,6	10,2	14,1
(Na+) ppm	161	63	33,6	85,1	150,4	144,9	150,4	137,8
SALES TOT. ppm	544	655	353	613	687	649	687	640
COND. ELECT. (dS m ⁻¹)	690	780	450	750	680	770	680	720
DUREZA	49	225	153	181	82	70	82	67
DUREZA CALCICA	30	139	125	120	52	45	52	32
ALCALINIDAD TOTAL	355	380	180	350	400	365	400	340
VALOR RAS	10,1	1,8	1,2	2,8	7,2	7,5	7,2	7,3
CAR. Na RES. (CSR)	6,1	3,1	0,6	3,4	6,4	5,9	6,4	5,5
CLASIFIC. P/ RIEGO TOTAL	(C2)	(C2)	(C2)	(C3)	(C2)	(C3)	(C2)	(C2)
SEGUN RIVERSIDE	(S2)	(S1)	(S2)	(S1)	(S2)	(S2)	(S2)	(S2)

Pa: Pampeano

Pu: Puelches

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Sobre la base de los datos analíticos obtenidos resultantes de los análisis de laboratorio, se agruparon los datos de diferentes parámetros que permitan comparar la situación original de los suelos en cuestión y los efectos generados por la implantación de cultivos de arándanos y el manejo que se llevo adelante en cada establecimiento. A esos efectos se graficaron los siguientes parámetros de suelo: pH del suelo, Salinidad del suelo, Porcentaje de Sodio Intercambiable del Suelo (PSI) y Concentración de Sodio en el suelo.

Análisis de la evolución del pH en el suelo

Se realizaron análisis de laboratorio con muestras de suelo de establecimientos en los que posteriormente, se realizaron cultivos de arándano con el objetivo de determinar el valor de pH (figura 7).

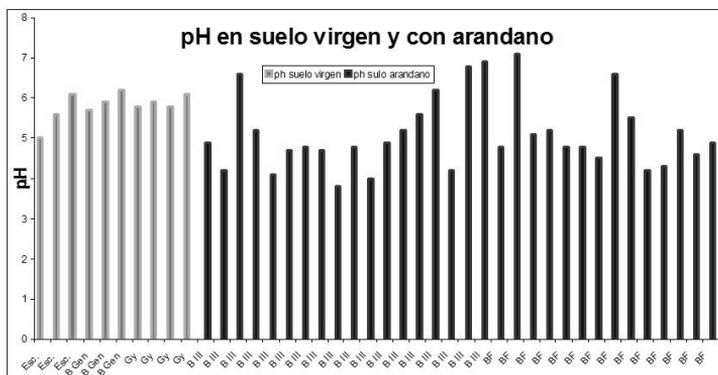


Figura 7: Evolución del pH del suelo en plantaciones de arándano (Pannunzio 2008).

Los valores de pH originales en el suelo en la zona de estudio, según las muestras citadas es de 5,0 a 6,2. Con el objetivo de reducir el pH del suelo, muchos establecimientos cuentan con bombas inyectoras de ácido, con las que aplican en general ácido sulfúrico. Esta aplicación es riesgosa por las características del producto y la falta de entrenamiento y equipamiento de seguridad

de los operadores de riego. En otros casos durante la preparación del suelo, previo a la plantación, se adiciona azufre. El uso posterior de fertilizantes, algunos de reacción ácida y otras alcalinas, da como resultado que el pH del suelo en los distintos establecimientos, tiene valores erráticos, sin seguir un patrón determinado.

Análisis de la evolución de la salinidad del suelo

Se obtuvieron datos de salinidad de suelo de los mismos establecimientos mencionados anteriormente. Se repitió la metodología de la toma previa a la preparación del suelo para el cultivo de arándano y luego se realizó un seguimiento con el objetivo de conocer la evolución de este parámetro (figura 8).

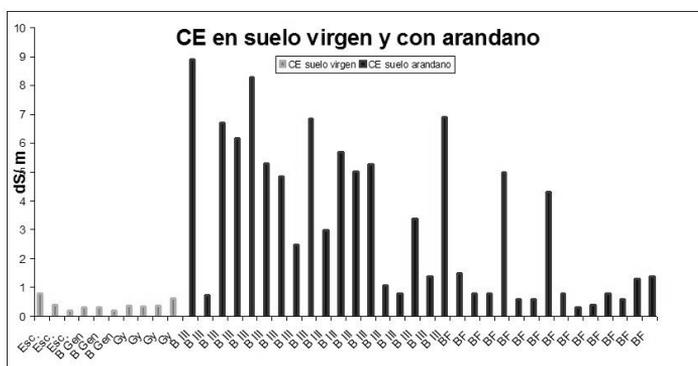


Figura 8: Evolución de la conductividad eléctrica del suelo en plantaciones de arándano (Pannunzio 2008).

Los valores en suelo previo al cultivo tienen valores que van desde 0,3 a 0,9 dS m^{-1} , que son los valores típicos de los suelos de la zona. Con relación a los valores de suelo, luego de implantado el cultivo, los valores tienen una gran dispersión. Esa dispersión encuentra mínimos cercanos a los valores originales del suelo y valores máximos mayores a 9 dS m^{-1} . El manejo agronómico de cada cultivo tienen una gran influencia en la adición de sales al suelo vía fertilizantes. El uso de coberturas plásticas impide en los primeros años el paso a través del perfil del

suelo del aporte de agua de lluvia y su consiguiente efecto sobre el lavado de sales del suelo. El manejo de la lámina bruta de reposición (LBR) tiene una gran incidencia en el indebido lavado de sales del suelo.

Análisis de la evolución del Porcentaje de sodio intercambiable en el suelo

Se obtuvieron datos de porcentaje de sodio intercambiable del suelo de los mismos establecimientos en los que posteriormente se implantaron arándanos. Nuevamente las muestras de suelo se tomaron previamente a la preparación del suelo para el cultivo y con posterioridad se realizó un seguimiento con el objetivo de conocer la evolución de este parámetro (figura 9).

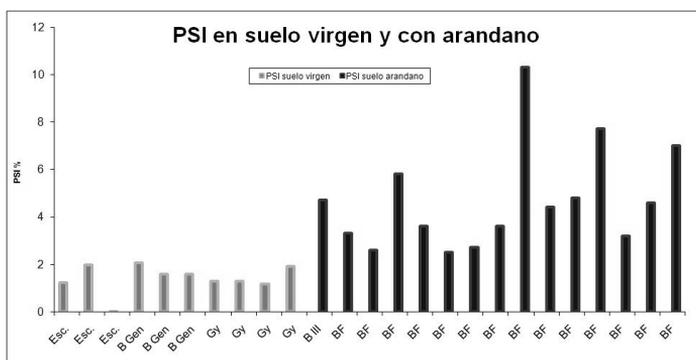


Figura 9: Evolución del porcentaje de sodio intercambiable del suelo en plantaciones arándano (Pannunzio 2008).

El análisis de los resultados obtenidos muestra valores similares entre los distintos casos previos a la acción antrópica, del orden de 1,3 a 2,1. Luego del comienzo de la realización de las plantaciones se encontraron variaciones de PSI de 2,5 a más de 10. Altos contenidos de sodio, así como valores elevados de pH y de salinidad, son poco favorables para el desarrollo de los Southern Highbush, tal como fue mencionado en la Introducción. Aún siendo establecimientos que cuentan con asesoramiento

profesional y alto equipamiento muchos valores distan de los requeridos para el buen desarrollo del cultivo.

Análisis de la evolución de la concentración de sodio en el suelo

Con los mismos criterios y metodologías empleados en los análisis realizados en este apartado, se incluyen en el gráfico número 4, las concentraciones de sodio en el suelo, expresadas en ppm, a efectos de analizar su evolución (figura 10).

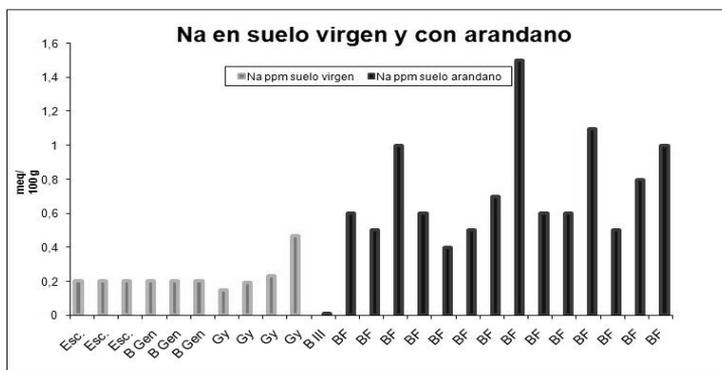


Figura 10: Evolución de la concentración de sodio en los suelos originales y luego de la implantación del cultivo de arándano (Pannunzio 2008).

Antes del comienzo de cultivo, los valores encontrados arrojaron valores entre 0,17 y 0,45 ppm. Con la evolución posterior de las plantaciones se verificaron concentraciones más elevadas. Solo un caso mostró valores menores que en suelo virgen. El resto de los casos, 14 muestras sobre 15 totales, las concentraciones fueron de 0,45 y 1,5 ppm. Estas concentraciones mucho mayores explican el crecimiento de los valores de PSI en el suelo descrito en la figura 9. Los cultivos analizados tienen no más de 7 años desde su implantación.

La mayoría de las muestras analizadas no muestran evoluciones favorables para los cultivos de los parámetros de suelo analizados. Se esperan ajustes en el manejo de los cultivos

que tornen sustentables los mismos, siguiendo valores compatibles con el buen desarrollo de los mismos.

CONCLUSIONES

No hay agencias gubernamentales que de hecho monitoreen la construcción y operación de las perforaciones que producen agua para riego en arándanos. Tampoco se llevan oficialmente datos sobre la cantidad y tipo de agro químicos empleados. Los dos puntos anteriores sólo son certificados por los productores que certifican sus establecimientos y producción para lograr calificar para exportar su fruta. La falta de información y/o la falta de sistematización en la obtención de la misma, dificulta el análisis del impacto ambiental producido por las prácticas de manejo que se emplean.

Dado que los requerimientos de agua para riego, no así para protección Antihelada con sistemas que emplean agua, no se detectaron conflictos por el uso del agua entre regantes. Tampoco hubo en esta zona conflicto con otros usuarios del agua debido a la misma razón.

No hay una organización que esté a cargo de la distribución del agua. Todos los casos en los que se realizaron encuestas emplean agua subsuperficial, ninguno emplea agua superficial.

No se pagan tasas por el uso ni por el derecho de agua.

Los sistemas de bombeo, emplean en su totalidad energía eléctrica de red. No así en el caso de los sistemas Antihelada que emplean agua, que tienen una alta demanda de energía, durante muy pocas noches al año. En estos últimos casos se emplean motores a combustión, para evitar los costos elevados que implican la instalación de redes eléctricas y sus transformadores para dichas demandas.

Los parámetros climáticos son medidos de forma diaria en la gran mayoría de los casos.

El pH y salinidad del agua de riego se monitorea en la gran mayoría de los establecimientos. Dado que no hay agencias estatales monitoreando calidad de agua, no es posible conocer su evolución. No se encuentra tampoco sistematizada la recolección de información referida al uso de plaguicidas y sus posibles efectos sobre el suelo o el agua.

La falta de información dificulta el análisis del posible impacto medio ambiental de las prácticas de riego.

Se observó descenso del nivel estático de las perforaciones que obligó a relocalizar las bombas. Algunas empresas de la zona, como el caso de las compañías productores de cerveza que se encuentran en la zona de Zarate, pueden representar una competencia por el uso del agua.

El pH del suelo en cultivos de arándano bajo riego por goteo, no se modifica sensiblemente, o bien desciende a valores del orden de entre 5,5 y 4,5. Estas modificaciones son altamente dependientes del manejo que se realiza de los sistemas de fertirriego y preparación original del suelo.

Dado que el uso del agua subsuperficial en el área es compartido con otros usuarios, como la industria de la cerveza, agua para consumo humano y otros usos industriales, es imprescindible controlar, auditar y monitorear, las cantidades de agua empleada por cada usuario.

Las estrategias sugeridas para lograr sustentabilidad de los sistemas de riego por goteo en arándano son:

- Certificación de construcción y operación de perforaciones.
- Certificación de diseño y operación de sistemas de riego.
- Es necesario establecer un plan de monitoreo de la evolución de la calidad del agua de riego.
- Lo mismo para la productividad del agua de riego.
- Es necesario concienciar respecto de la importancia del diseño de sistemas de riego más eficientes, uniformes y de menor costo operativo.
- Es imperioso realizar capacitaciones a los regantes relacionados con el manejo de los sistemas de riego.
- Instalar sistemas de medición, como caudalímetros, de la cantidad de agua empleado por usuario.
- Promover el uso de sistemas de riego por goteo con bajos requerimientos de demanda de energía.

REFERENCIAS

- Auge, M. 1997. Investigación hidrogeológica de La Plata y alrededores (Hydrogeologic research of La Plata and its surroundings) Tesis Doctoral. Universidad de Buenos Aires, 171p.
- Auge, M. 2001. Investigación hidrogeológica de la ciudad de Buenos Aires (Hydrogeologic research of the city of Buenos Aires) UBA Informe final, 1-32.
- Bryla, D.R. and Strik, B.C. 2006. Irrigation in Blueberries. Oregon State University, U.S.A.
- Gugliada, M. L. 2008. Sustratos y Mulchs en arándanos. Avances en frutales no tradicionales, FAUBA, 403-410.
- Eck, P. 1988. Blueberry Science. Rutgers University Press. New Brunswick. N.J. U.S.A.
- FAO, 1988. Respuesta al agua de los cultivos, Roma, Italia.
- Godoy, I. 1984. El arándano: expectativa de producción frutícola para la zona sur. IPA Carillanca, 3, 2-7.
- Gough, R.E. 1982. Better management means more blueberries. Fruit Grower. Univ. Rhode Island. Kingston. U.S.A.
- Gough, R.E. 2007. The highbush blueberry and its management. Food products press. An imprint of The Haworth Press, Inc. New York, London and Norwood.
- Holzappel, E. 1994. Riego en arándano. En: Seminario Internacional: Producción de Frambuesa y Arándano en Chile. Univ. de Concepción, Fac. Agronomía. Chillán, Chile, 152-156.
- Holzappel, E., Hepp, R., Riveros, C., Vera, P., Serri, H. y Matta, R. 1994. Efecto del nivel de agua aplicado en la producción de arándano alto al segundo y tercer año de plantación. Agro-Ciencia, 10 (1), 43-49.
- Holzappel, E.A., Hepp, R. y Mariño, M.A. 2004. Effect of irrigation on fruit production in blueberry. Agricultural Water Management, 67(3), 173-184.
- Lyrene, P.M. and Crocker, T.E. 1991. Commercial blueberry production in Florida. Bull.SS-FRC-002. Institute of Food and Agricultural Science. University of Florida. Gainesville. U.S.A.

Pannunzio, A. y Wolfle, A. 2002. Evolución del riego localizado en Argentina, Abstracts del Seminario Internacional de Riego Localizado, Puerto de la Cruz, Tenerife, Islas Canarias, España.

Pannunzio, A. 2003. Riego antihelada en arándano Producción de arándanos en Argentina. FAUBA.

Pannunzio, A. 2003. Sistemas de Riego por Goteo en arándano Producción de arándanos en Argentina. FAUBA.

Pannunzio, A. 2008. Fertiriego en arándanos. Avances en cultivos frutales no tradicionales, FAUBA.

Pannunzio, A. 2008. Efectos de sustentabilidad de los sistemas de riego en arándano. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Veterinarias, UBA.

Pannunzio, A., Texeira, P., Pérez, D., Sbarra, G. y Grondona, A. 2003. Efectos de sustentabilidad de sistemas de riego de arándanos Pampa Húmeda. Resúmenes del I Congreso Lat. de Arándanos, 24-25.

Pizarro, F. 2000. Riegos localizados de Alta Frecuencia. MundiPrensa, Madrid, España. Cuarta Edición. 525 p.

Rodrigo López, J. y Cordero-Ordoñez, L. 2003. Riego localizado. Mundi Prensa. Irrigation in Canary Islands, Advances in drip/microirrigation, Puerto de la Cruz, Tenerife, España, 1-3.

Vilella, F. 2003. Requerimientos climáticos del arándano para la predicción de la época de cosecha. FAUBA.

Wu, L., Yu, H., Dong, L., Zhu, Y., Li, C., Zhang, Z. and Li, Y. 2004. Comparison of mulching treatments on growth and physiology of highbush blueberry. ISHS Acta Horticulturae 715. VIII Int. Symposium on Vaccinium culture.

LA CUENCA DEL RÍO MENDOZA, ARGENTINA

Elma Montaña¹, Laura Torres² y Gabriela Pastor²

¹*Instituto de Ciencias Humanas, Sociales y Ambientales (INCIHUSA), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).*

²*Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Áridas (IADIZA), CONICET.*

RESUMEN

El proyecto KASWARMI intenta echar luz sobre las maneras en las que las intensas prácticas de riego que se producen en las tierras secas de América Latina se efectúen en condiciones lo más cercanas posibles a la sustentabilidad. Es así como una primera fase elaboró el estado del arte de la bibliografía científica en materia de riego, desde esa mirada que busca acercarse a la sustentabilidad. Esto permitió identificar algunos vacíos de conocimiento en la materia. Posteriormente, la segunda etapa se propuso reconocer y evaluar los problemas existentes en cada una de las cuencas estudiadas y, desde allí, identificar las demandas de conocimientos que surgen de las necesidades de los actores locales. Luego se presentaron las situaciones en las que el riego constituye un riesgo para la sustentabilidad o francamente un problema. Finalmente se identificaron las necesidades de nuevos conocimientos o de mejoras en los canales de transferencia de los mismos. En este marco, el capítulo presenta la caracterización de la cuenca del río Mendoza, los principales problemas en el diseño y gestión de los sistemas de riego para una agricultura sustentable y los principales impactos en el contexto actual. Por último se señalan los ámbitos en los que emergen las necesidades de nuevos conocimientos que permitirían una mayor aproximación a la sostenibilidad de la cuenca.

ABSTRACT

The KASWARMI Project attempts to shed light on the ways in which implementation of intense irrigation practices in Latin American drylands is done under conditions as close as possible to sustainability. So, on a first phase, the project described the state

of the art of scientific literature on irrigation issues, from a sustainability perspective. This allowed identification of some knowledge gaps. Later, the second stage focused on recognizing and assessing the problems affecting each of the studied basins and, thereafter, on identifying the knowledge demands generated from the needs of local actors. Subsequently, there came the situations where irrigation becomes a high risk for sustainability, or actually a problem. Finally, the needs for new knowledge, or for improvement in knowledge transfer channels, were identified. In this framework, the chapter presents the characterization of the Mendoza river basin, the major problems in the design and management of irrigation systems for a sustainable agriculture, and the major impacts on the current context. Lastly, it points out the areas where there emerge needs for new knowledge that will allow getting closer to the basin's sustainability.

INTRODUCCIÓN

El proyecto KASWARMÍ intenta echar luz sobre las maneras en las que las intensas prácticas de riego que se producen en las tierras secas de América Latina se efectúen en condiciones lo más cercanas posibles a la sustentabilidad. Es así como una primera fase elaboró el estado del arte de la bibliografía científica en materia de riego, desde esa mirada que busca acercarse a la sustentabilidad. Esto permitió identificar algunos vacíos de conocimiento en la materia. Posteriormente, la segunda etapa se propuso reconocer y evaluar los problemas existentes en cada una de las cuencas estudiadas y, desde allí, identificar las demandas de conocimientos que surgen de las necesidades de los actores locales. Luego se presentaron las situaciones en las que el riego constituye un riesgo para la sustentabilidad o francamente un problema. Finalmente se identificaron las necesidades de nuevos conocimientos o de mejoras en los canales de transferencia de los mismos.

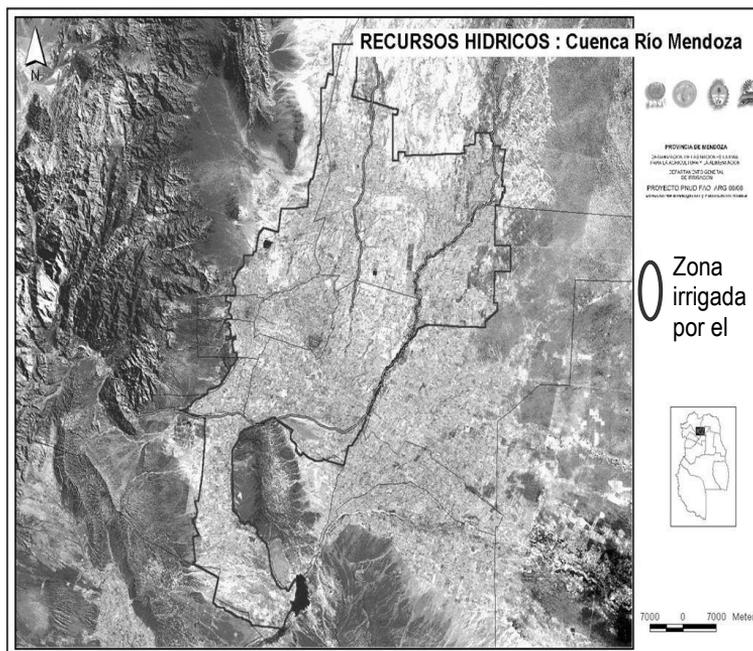
En este marco, el capítulo presenta la caracterización de la cuenca del río Mendoza, los principales problemas en el diseño y gestión de los sistemas de riego para una agricultura sustentable y los principales impactos en el contexto actual. Por último se señalan los ámbitos en los que emergen las necesidades de

nuevos conocimientos que permitirían una mayor aproximación a la sostenibilidad de la cuenca.

AGUA, AGRICULTURA Y SOCIEDAD EN LA CUENCA DEL RÍO MENDOZA

Para comprender la relevancia que tiene el riego en la cuenca del río Mendoza es preciso recordar primero que en la provincia de Mendoza, los oasis bajo riego ocupan apenas el 3,4 % de su superficie y en ellos se concentra más del 90% de la actividad económica y el asentamiento del 64,5% de la población provincial (Garduño, 2003). El total de esta superficie irrigada provincial se distribuye en tres oasis principales y otros menores, de entre los cuales el Oasis Norte (alimentado por los ríos Mendoza y Tunuyán Inferior) es el más importante (Figura 1).

Figura 1: Oasis Norte de Mendoza



Fuente: Proyecto PNUD-FAO/ARG/00/008, 2006.

En el centro-oeste de dicho Oasis Norte, en la frontera con el piedemonte áridos, se encuentra el Área Metropolitana de Mendoza (AMM), principal centro urbano e industrial de la provincia y el 4° en magnitud a nivel nacional. Es así como la cuenca contiene espacios no irrigados (mal llamados “de secano”) y espacios bajo riego que constituyen su “sub-cuenca de aprovechamiento”, estos últimos abarcando tanto áreas rurales como áreas urbanas.

En estas tierras secas, los factores del clima y del agua en particular constituyen importantes factores limitantes al asentamiento humano y las actividades económicas. La posición de la cuenca respecto de los océanos Atlántico y Pacífico y de la Cordillera de los Andes determinan un clima de tipo continental caracterizado por grandes variaciones de las condiciones atmosféricas en las diferentes estaciones del año, las que se ven acentuadas por las diferencias de altitud en la cuenca (600 a 6900 m.s.n.m.) que inciden en las precipitaciones. Precipitaciones que alcanzan los 90 mm. en el límite con la pcia. de San Juan, una media anual de 224 mm. en la zona central del oasis norte y que varían entre los 217 y 272 mm, en la zona pedemontana. Por tanto, si bien en términos generales el clima es principalmente árido con precipitaciones inferiores al límite de sequía, puede distinguirse que las zonas bajas de la cuenca son áridas, la zona precordillerana (donde se encuentra la subcuenca de aprovechamiento) es semiárida, mientras que las zonas más altas son húmedas.

La distribución espacial y temporal de las precipitaciones, las temperaturas y la evapotranspiración (elevada en función de la baja humedad ambiente y la alta heliofanía que caracterizan la zona), hacen que en todo el territorio de la cuenca la agricultura sólo sea posible mediante la sistematización del riego. Estos factores determinan que buena parte de la superficie de la cuenca (donde se ubica la sub-cuenca de aprovechamiento) sea clasificada como semi-árida y que las planicies de la parte más distal de la misma sean consideradas áridas (Roig *et al.*, 1992).

La oferta de recursos hídricos es limitada, y no sólo no aumentará sino que es probable que se reduzca. El río Mendoza tiene un módulo anual de unos 50 m³/s y un derrame anual superior a los 1.542 Hm³, con una tendencia levemente decreciente para la serie 1909-2000 (PNUD-FAO/ARG/00/008,

2006). El “downscaling” de los escenarios (A2 y A2/2) de cambio climático global para la cuenca anticipan para el período 2020-2030 un aumento medio de la temperatura de un grado y medio, una disminución media de la precipitación de poco más de 100 milímetros y la elevación de la isoterma 0° de 150 metros que produciría una disminución de la superficie de acumulación de nieve en el invierno y un aumento de la superficie de ablación en la sub-cuenca de aportación permanente. Estas variables incidirían en un decrecimiento de la oferta de los ya escasos recursos hídricos. Es así como se espera que para ese período el río Mendoza disminuya su caudal entre un 7 y un 13% y que el hidrograma medio adelante su pico de máxima descarga un mes, aumentando los caudales en primavera (octubre y noviembre) y disminuyéndolos en verano (enero, febrero y marzo) (Boninsegna y Villalba, 2007).

Las variaciones del hidrograma se verían mitigadas en tanto la cuenca se encuentra regulada por el Aprovechamiento Múltiple “Potrerillos” (420 Hm³, 2001), localizado en la localidad de Cacheuta, en el punto en el que el río sale del cajón montañoso y pocos km. antes de que se desarrolle el Oasis Norte.

La situación es más complicada en términos de la cantidad de agua. La disponibilidad de agua, expresada en metros cúbicos de agua dulce disponible por habitante y por año llega a 2136 para el Oasis Norte (UNCu, 2004), superando no tan holgadamente el límite crítico de entre 1000 y 1600 m³/hab/año. El balance hídrico actual es ajustado: mientras que la oferta de recursos hídricos es limitada o tiende a reducirse, las curvas de demanda siguen creciendo al ritmo del desarrollo urbano y productivo del Oasis Norte (Garmuño, 2003). Para satisfacer las demandas actuales, los recursos hídricos superficiales deben completarse con bombeos de los acuíferos. La magnitud del bombeo varía según se trate de un año hidrológicamente rico o pobre.

La Constitución Provincial sienta las bases para la gestión del agua en Mendoza que la Ley General de Aguas (1884) ratifica. Sobresalen como criterios centrales el principio de inherencia del agua a la tierra -es decir, el derecho de agua es accesorio al inmueble-, la descentralización y participación de los usuarios, la autarquía presupuestaria para la administración hídrica y la autonomía funcional del Dpto. General de Irrigación (DGI).

En cuanto al marco institucional en el que se desenvuelve la gestión del recurso, existen actualmente numerosos organismos nacionales, regionales e incluso provinciales que tienen participación directa o indirecta en la investigación, operación de la infraestructura hidráulica y en la evaluación de los impactos ambientales asociados al agua. En el ámbito provincial se reproduce esta diversidad de agentes, pero es el DGI quien posee una autarquía institucional y financiera; mantiene bajo su jurisdicción el mayor número de atribuciones y a la vez es la máxima autoridad en la administración del recurso hídrico de Mendoza.

La Ley de Aguas y la legislación posterior otorgan derechos a algunas tierras y dispone como prioridades para el aprovechamiento del recurso el: abastecimiento humano, riego, industria, estanques para viveros o criaderos de peces. Sin embargo, usuarios del agua del río desde antes de la promulgación de la mencionada ley, en la parte baja de la cuenca, no fueron considerados en el otorgamiento de derechos, por lo que actualmente deben conformarse con los menguados sobrantes del aprovechamiento efectuado aguas arriba.

La agricultura constituye el principal consumo hídrico de la cuenca (89% de los recursos hídricos superficiales) (DGI) a través de los 23.081 usuarios y las 158.004 ha empadronadas (DGI, 2006).

El cultivo más importante en la cuenca es la viticultura con un 49% de la superficie cultivada en la cuenca, aunque sólo represente un 26% de la superficie total de la provincia. El segundo cultivo de la cuenca es la horticultura, con un 23% la superficie que corresponden a la mitad de la superficie cultivada provincial (CNA, 2003). Si bien el sector agropecuario representa un magro 10% del PBG provincial (DEIE, 2006), la relevancia de la agricultura y, particularmente de la vitivinicultura, se explica en sus vínculos con el eslabón agroindustrial y con las exportaciones provinciales.

Más del 50% de las explotaciones agropecuarias de la cuenca tienen una superficie de cinco hectáreas o menos, siendo las pequeñas propiedades las más frecuentes en las zonas hortícolas cercanas al AMM. Estos pequeños productores son casi todos (90%) propietarios de sus

tierras (CNA, 2003). Alrededor del 40% de las explotaciones cuentan con derecho de riego y además poseen un pozo de agua subterránea; otro 40% se abastece de agua subterránea exclusivamente y el porcentaje restante, cercano al 20%, sólo cuenta con el agua distribuida por el sistema de riego (CNA, 2003). La situación de los regantes varía según el tipo de derecho que posean.

Más allá de la agricultura, la industria y la urbanización explican en el 7% de los usos consuntivos del agua de la cuenca (UNCu, 2004), cifra que si bien puede parecer escasa, crece de manera exponencial, amenazando las dotaciones agrícolas en la medida en la que la legislación le otorga prioridad a los consumos humanos.

Mientras que todos estos consumos se producen en la subcuenca de aprovechamiento, las zonas no irrigadas y especialmente las que se ubican en la parte distal de la cuenca carecen de agua y se ven muy limitadas para el desarrollo de actividades económicas e incluso para la subsistencia. Los contrastes entre oasis - zonas no irrigadas son muy fuertes: mientras que los oasis concentran actividades más dinámicas en la región, la parte baja de la cuenca (no protegida por la previsión de caudales ecológicos) ya casi no recibe agua a causa de los crecientes consumos efectuados aguas arriba. El manejo intencionado del agua expresa en la cuenca del río Mendoza una lógica de hegemonización de espacios y uso instrumental de recursos –en particular del agua- de acuerdo a modelos que, al tiempo que otorgan predominio a unos (espacios, recursos y actores), se sirven de otros hasta agotarlos (Montaña *et al.*, 2005).

LOS PROBLEMAS EN LA SUSTENTABILIDAD DEL RIEGO

Una apretada síntesis de los problemas detectados en la cuenca del río Mendoza es la siguiente:

Diseño y gestión de los sistemas de riego para una agricultura sustentable

La difusión de tecnologías de riego modernas en la cuenca es muy baja. Son pocos los productores para los que el riego

localizado constituye un medio para lograr mayor calidad y generar mayor valor agregado para su producción. Los sistemas localizados son elegidos por productores capitalizados del modelo exportador. Los pequeños no pueden afrontar sus costos porque el valor de su producción no paga esa tecnología.

En concordancia con la predominancia de los sistemas de riego gravitacionales pero también a causa de una baja tasa de impermeabilización de canales (los cauces entubados son prácticamente inexistentes) y –en algunos casos- un bajo nivel de mantenimiento de la infraestructura, las pérdidas de agua por ineficiencias son elevadas. Se estima que las eficiencias globales (conducción/distribución y aplicación al interior de las fincas rondan entre el 30 y el 40%.

En la aplicación intrafinca se observan prácticas desaconsejadas por los técnicos: riego gravitatorio con exceso de agua para el lavado de suelos, dotaciones excesivas entregadas en invierno producen problemas de ascenso no deseado de napas freáticas, con el consiguiente problema de la revisión de los suelos cultivados, uso excesivo de fertilizantes y plaguicidas.

Para los productores que se localizan en las zonas de oasis, las garantías de riego han sido mejoradas con la entrada en operación del dique *Potrerillos*. Sin embargo, persiste en algunos casos la incertidumbre de los agricultores respecto de la cantidad de agua que recibirán en su turno, ya que la asignación varía en función de la disponibilidad de agua que presenta el río. Algunas inspecciones han incorporado un sistema informatizado de gestión de usuarios que permite ordenar y planificar los turnos.

La situación previamente descrita es muy diferente para las poblaciones que quedan fuera de las zonas de oasis y de los beneficios del riego, porque esta obra ha aumentado para ellos las garantías de no recibir más agua. Es decir, si para algunos productores “regulación” es sinónimo de garantía de disponibilidad, para otros productores el uso intensivo que habilita la regulación impone situaciones de restricción definitiva en la cola de cuenca, dado que antes se regaba con los sobrantes que dejaban pasar los oasis en épocas de abundancia relativa. Para estos grupos, la situación ha revertido en un aumento en sus condiciones de pobreza y en un serio riesgo de no poder dar satisfacción a las necesidades de reproducción social de sus

grupos domésticos. Un caso que resulta paradigmático y que tiene lugar sobre el curso del río Mendoza es el que plantean las comunidades indígenas Huarpes que se localizan en la cola de la cuenca y que para el sistema de administración del agua no computan, si tan siquiera, como usuarios.

No existe un diagnóstico certero sobre la magnitud y modalidades del uso conjunto de agua superficial y subterránea. Las racionalidades que determinan el uso conjunto son económicos e individuales y no toman en cuenta criterios ecológicos y sociales para el conjunto de la cuenca

Respecto de los canales para la innovación y la mejora de las prácticas de riego existentes, sólo el 24% de los regantes de la cuenca reciben asistencia técnica. El resto se conduce según parámetros consuetudinarios o estilos propios de gestión intrafinca o utilizando asistencia técnica proviene de los vendedores de agroquímicos donde los productores compran ciertos insumos.

Los conflictos upstream-downstream no se manifiestan solamente entre oasis y zonas no irrigadas sino también al interior del oasis. Mientras las fronteras agrarias siguen trepando el piedemonte árido de la mano de los emprendimientos altamente capitalizados, las partes más bajas del oasis se deterioran por procesos de salinización, revestimiento y degradación de suelos (en buena parte generados por un inadecuado sistema de riego) que no pueden ser superados por los pequeños productores.

El abandono o descuido de propiedades por parte de los pequeños y medianos productores afectados por el cambio de las condiciones del sector agrícola y agroindustrial en los años noventa ha traído como consecuencia una disminución de la eficiencia regional del riego por pérdidas en el sistema de distribución.

Impactos socioeconómicos e institucionales de la irrigación

Sólo el 11% de los responsables de las explotaciones de la cuenca son mujeres y esto se traslada al riego. Las mujeres pueden intervenir en las prácticas de riego pero no son identificadas como responsables o decisoras. Por otra parte, los responsables de las explotaciones del padrón de usuarios constituyen una población envejecida ya que más del 50% de los

regantes tienen entre 46 y 65 años de edad, a los que se suma un 17% mayor de 65 años, sugiriendo que la gestión de las explotaciones agrícolas no es asumida por personas jóvenes, quizá debido a las sostenidas migraciones hacia los espacios urbanos de los jóvenes rurales.

Si bien al agua nunca sobra, el impacto de las nuevas exigencias del sector agrícola se antepone a escasez de agua. En una mirada de mayor profundidad, podría decirse que las nuevas exigencias de la agricultura de los sistemas agroalimentarios mundiales ponen a algunos (pequeños) productores al límite de su rentabilidad y, en esas condiciones, no tienen la capacidad para asumir nuevas inversiones.

Interrogados los segmentos técnicos por las razones que explican la falta de innovación en el mundo de los productores, emergen tres ideas fuerza: 1) que muchos de los productores no cuentan con los capitales económicos necesarios para afrontar los costos que imponen esas innovaciones (esta opinión por su parte se corresponde con la que domina en el mundo de los productores y de los tomadores de decisión), 2) que el Estado no es capaz de subsanar estas limitaciones acompañando el proceso de un modo sistemático y, finalmente pero con mayor consenso en el mundo de la administración del agua, 3) que los productores tienen “problemas culturales” que explican que no incorporen tecnologías u otras modalidades de manejo.

Respecto de las actitudes frente a la necesidad solucionar estos problemas, predomina la mirada de los administradores, por la cual los problemas que enfrenta la región podrían ser sobrellevados con las correspondientes estrategias de manejo y optimización. Más allá de este acuerdo inicial, interrogados por las causas de estas bajas eficiencias, las opiniones del grupo se fracturan. Mientras para algunos la clave del problema radica en que a nivel regional no existe un proyecto de desarrollo integral y en que el Estado no logra convocar a los actores a un debate más amplio que se pregunte por el futuro de la provincia, para otros actores los problemas se relacionan con las fallas que se producen en el campo de la transferencia.

En los relatos de los sectores ligados a la gestión del recurso, la “cultura” de los regantes –entendida en estas narrativas de un modo estático, como sinónimo de “ser”- es un obstáculo y, más

allá de las cuestiones políticas y/o tecnológicas, son estas características las que explican, con mayor fuerza, que se riegue de un modo inconveniente. A tono con estas premisas, en aquellos territorios en que se han incorporado “nuevas tecnologías de riego” el “factor cultural” sería diferente.

A excepción de algunos productores locales y extranjeros que ven garantizadas sus posiciones sociales y que logran acceder al agua sin mayores dificultades, los entrevistados (productores, administradores, tomadores de decisiones y no usuarios) mantienen un profundo consenso respecto de que el sistema de administración del agua no es equitativo. La prueba más directa y simple de esta situación está dada porque mientras algunos actores y productores pueden acceder al agua y al riego, otros han quedado al margen de esas posibilidades.

Un grupo aparece claramente vulnerable: los grupos étnicos huarpes que se localizan al final de la cuenca del río Mendoza. El sistema de administración del agua es injusto no sólo porque no los considera usuarios de la cuenca y sujetos de derecho, sino también y sobre todo, porque no les entrega los caudales superficiales a los que tienen derecho por su calidad de productores y seres humanos. Evidentemente, si para otros grupos la inequidad del sistema limita la producción, en este caso la imposibilita, imponiendo que se agraven las condiciones de pobreza que padecen. Otros grupos sociales entrevistados (productores/usuarios y administradores) reconocen que estas comunidades tienen limitaciones en el acceso al recurso. Sin embargo, es interesante notar que sólo aparecen breves alusiones a ellos frente a preguntas directas que plantean los investigadores y que, casi obligados a indicar las injusticias de las que son objeto, algunos incluso llegan a reconocer que no están seguros del lugar de la provincia en que estos grupos se encuentran asentados. En este contexto, la exclusión del grupo es tal que roza su completa invisibilidad.

Impacto ambiental de la agricultura de riego

Los recursos superficiales se encuentran contaminados por diversos procesos, entre los que destacan los efluentes industriales impactando sobre la agricultura, principalmente en

Maipú (colector Pescara) y la contaminación por residuos sólidos urbanos. Se estima que existe contaminación por uso excesivo o indebido de agroquímicos (fertilizantes y pesticidas), pero no se cuenta con ningún tipo de medición que permite efectuar un diagnóstico más o menos fiable.

Los déficits hídricos resultantes de la escasez del recursos superficiales son cubiertos mediante bombeo, sin mayores restricciones de volumen y de localización de los pozos y sin un control sobre los efectos que esto provoca los acuíferos (descenso de niveles piezométricos, reducción de ritmo de recarga, salinización, contaminación de acuíferos deprimidos por intrusiones de napas superiores contaminadas, etc.). Los informantes señalan sin embargo que los efectos ambientales de tales prácticas son notorios.

La contaminación de los acuíferos de la cuenca constituye un problema preocupante. Las napas freáticas presentan nitratos provenientes de disposición de excretas y otros residuos urbanos, por lo que el primer nivel del acuífero es considerado no potable, con picos de nitratos de 150 mg/l en zonas periurbanas, cercanas al Área Metropolitana de Mendoza. En algunas zonas agrícolas, las sales percoladas desde la superficie del suelo hacia el agua acumulada sobre capas impermeables cercanas a la superficie degradan el perfil del suelo, provocando intoxicación salina y asfixia radical en los cultivos. Los niveles más profundos se encuentran salinizados: el primer nivel registra entre 2000/5500 , el segundo entre 800/4500 mientras que el tercer nivel es el menos salinizados, con valores de entre 500 y 2000. El bombeo con fines agrícolas explica buena parte de esta salinización: sobreexplotación, intrusiones salinas de acuíferos superiores contaminadas a acuíferos inferiores deprimidos, pozos rotos, en mal estado y abandonados que no han sido cegados, etc. El margen derecha del río (subcuenca El Carrizal), zonas de máxima recarga del acuífero, se registra una contaminación vinculada a la explotación petrolífera.

La salinización de los suelos un problema importante en la cuenca del río Mendoza, en donde el agua tiene tenores elevados de sal y la precipitación pluvial es baja. El drenaje de las parcelas y los procesos de lavado de suelos presentan problemas que afectan finalmente las condiciones agroecológicas de las parcelas.

Aunque no es muy evidente en la cuenca del río Mendoza debido al escaso tiempo en el que ha estado operando el dique Potrerillos, experiencias de regulación de las demás cuencas de la provincia permiten anticipar que también se manifestarán los problemas de "aguas claras"². Para evitarlos se deberían revestir canales y, en el nivel intrafinca, transformar el riego gravitatorio a sistemas localizados. La primera acción se encuentra en curso, aunque a un ritmo menor que el deseable. Respecto de la modernización de los sistemas de riego, no existen políticas de promoción que faciliten a pequeños y medianos agricultores reconvertirse.

Las necesidades de nuevos conocimientos y su aplicación

En general los datos construidos en campo indican que, tanto para el mundo de la producción como para el de la gestión del agua y del riego, no existen claras demandas de conocimientos hacia el sector científico. En general, los entrevistados muestran un gran acuerdo en señalar que en materia de gestión de los recursos hídricos y de riego en particular, los conocimientos disponibles son suficientes e incluso abundantes. Ahora bien, aún en el marco de este acuerdo general, algunos sectores indican una serie de "problemas" que requieren soluciones, en las que el conocimiento científico podría colaborar. En este orden de cosas, se señala por ejemplo que en materia de gestión del agua se presentan problemas que requieren de soluciones tecnológicas (trampas de basura para el caso de aluviones, por ejemplo) que deberían ser investigadas o perfeccionadas y otros entrevistados señalan que el mayor aporte que podría realizar el conocimiento científico radica en descubrir cómo los pequeños productores podrían introducir mejoras en sus explotaciones, aún dentro de las limitaciones de capital y de rentabilidad que enfrentan.

Aún cuando los informantes consultados indican que las dificultades que se observan en el campo del riego y de la

² reducción del contenido de sedimentos en las aguas después de la construcción de los embalses que erosiona los cauces y genera la pérdidas materiales finos en los suelos cultivados

producción no responden a falencias o limitaciones en el conocimiento científico, entienden que sí existen problemas en el campo de la transferencia. Dicho de otro modo, los conocimientos han sido generados y son abundantes, pero 1) no se hallan debidamente aceitados los canales de transferencia entre el sector de la producción y de la asistencia técnica o 2) se trata de mejoras, tecnologías o formas de manejo de los recursos y de la producción que no pueden ser implementadas por los productores. Por su parte, entre las limitaciones que se observan en este punto, es habitual que se indique 1) que los productores no pueden incorporar las soluciones existentes porque no disponen de los capitales económicos necesarios, 2) porque el Estado se halla debilitado y no puede acompañar el proceso de transformación con políticas estables de crédito y subsidio o 3) porque los productores tienen “problemas culturales” que los tornan resistentes al cambio.

Sin embargo, en cualquier caso es de notar que los sectores consultados no identifican que los problemas existentes puedan ser remontados desde el conocimiento científico. Si los sistemas de riego -eficientes y sustentables- no pueden ser pagados por productores que viven al límite de su rentabilidad, ¿es que el riego sustentable resulta muy caro para las condiciones de los pequeños y medianos productores de América Latina? Concluimos que la posibilidad de desarrollar sistemas de riego sustentables no debiera estar limitada a los sectores más dinámicos de la agricultura globalizada y que los mayores costos para los pequeños productores debieran ser asumidos socialmente (a través del Estado) en beneficio de la comunidad en su conjunto y la integridad del ecosistema.

Vale mencionar que los diagnósticos oficiales provienen de miradas tecnocráticas que enfatizan los factores técnicos-ingenieriles del manejo del agua, del riego y de la producción agrícola. Los consumos en la parte media de la cuenca que dejan casi sin agua al humedal del NE de Mendoza, en la parte distal de la cuenca, por ejemplo, no suelen aparecer como un problema, al menos no entre los más graves. Del mismo modo, no parece percibirse un problema de equidad en la distribución de los recursos hídricos, a pesar de que los habitantes de esa zona de Lavalle reclaman porque cada vez les llegan menos recursos

hídricos. La mirada legalista oficial entiende que la equidad está garantizada por el respeto de los derechos de agua otorgados por ley (que excluyen a estos habitantes originarios) mientras que la mirada ingenieril oficial considera se la equidad ha mejorado muchísimo al haberse mejorado los sistemas técnicos que permiten regular con mayor precisión los turnos del riego en el sistema.

Es interesante notar que aún cuando el sistema de administración y gestión del recurso es considerado en general poco equitativo, en muy pocos casos se señala la pertinencia o necesidad de analizar esas condiciones. A modo de ejemplo, allí donde el sistema actual aparece como menos equitativo, es decir con relación a los grupos más vulnerables y a las variables de género mismas, se trata de sectores y grupos sociales que no aparecen en las narrativas analizadas y que sólo merecen someras alusiones frente a preguntas directas de los investigadores. Siendo estos problemas estructurales al manejo del agua en la cuenca, parece que todas las posibles soluciones a problemas técnicos de agua y riego mencionados más arriba perderían buena parte de su utilidad si previamente no se discute la equidad como problema de fondo.

REFERENCIAS

Bocco, A. s/f. Análisis participativo del proceso de transformación productiva e institucional en Lavalle (Mendoza), SAGyP, Gobierno de la Nación Argentina.

Bocco, A., Martín, C. y Pannunzio, M. 1999. Mendoza: Agricultura y rivalidad. Reflejos en la estructura social y agraria del oasis rural de San Carlos, EDIUNC, Serie Estudios, 149 p.

Boninsegna, J. y Villalba, R. 2007. La oferta hídrica en los oasis de Mendoza y San Juan. Los escenarios de cambio climático y el impacto en los caudales. Presentación en las Jornadas de Investigación en Recursos Hídricos, Centro de Estudios y Legislación del Agua (CELA), Instituto de Ciencias Ambientales (ICA) de la Universidad Nacional de Cuyo el INTA y el IANIGLA, Mendoza.

BRL. 2001. Diagnóstico del Sector Irrigado de la Provincia de Mendoza, Proyecto de Apoyo a la Modernización de la Agricultura Regada de Mendoza, Gobierno de la provincia de Mendoza-Gobierno de Francia, 5 tomos.

CEM. 2001. Entorno geográfico y Ambiental. Plan Estratégico de Desarrollo Regional 2010. Cap. 1, www.mendoza2010.org.ar/diagnostico

Censo Nacional Agropecuario, (CNA). 2002. INDEC, Gobierno de la Nación Argentina y DEIE, Ministerio de Economía, Gobierno de Mendoza.

DEIE. 2006. Encuesta de condiciones de vida de los hogares rurales 2006, Ministerio de Economía, Gobierno de Mendoza.

DGI. 2007a. Taller Provincial "Plan de Recursos Hídricos", Mendoza, 27 de febrero, 22 p.

DGI. 2007b. Diagnóstico Preliminar sobre la Gestión de los Recursos Hídricos de la Provincia de Mendoza. Oferta Hídrica, Departamento General de Irrigación. www.dgi.gov.ar

DGI. 2007c. Plan Director de Ordenamiento de Recursos Hídricos – Informe Principal. Volumen II: Cuenca del Río Mendoza. Versión definitiva publicada en www.dgi.gov.ar

EPAS. 2006. Historia y Coberturas de los Servicios Sanitarios, Entre Provincial de Agua y Saneamiento, Gobierno de Mendoza.

Garduño, H. 2003. Administración de derechos de agua. Experiencias, asuntos relevantes y lineamientos, Estudio Legislativo 81, Servicio de Derecho para el Desarrollo, Oficina Jurídica de FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma.

PNUD/FAO. 2004a. Plan Director de Ordenamiento de Recursos Hídricos Informe Principal. Volumen II: Cuenca del Río Mendoza. Versión preliminar. Departamento General de Irrigación, Gobierno de Mendoza.

PNUD/FAO. 2004b. Plan Director de Ordenamiento de Recursos Hídricos Informe Principal. Volumen II: Cuenca del Río Mendoza, Anexo N° 2: Oferta Hídrica Superficial. Versión preliminar. Departamento General de Irrigación, Gobierno de Mendoza.

PNUD/FAO. 2004c. Plan Director de Ordenamiento de Recursos Hídricos Informe Principal. Volumen II: Cuenca del Río Mendoza, Anexo N° 3: Demanda Hídrica. Versión preliminar. Departamento General de Irrigación, Gob. de Mendoza.

PNUD/FAO. 2004d. Plan Director de Ordenamiento de Recursos Hídricos Informe Principal. Volumen II: Cuenca del Río Mendoza, Anexo N° 3: Balance Hídrico. Versión preliminar. Departamento General de Irrigación, Gob. de Mendoza.

PNUD/FAO. 2004e. Plan Director de Ordenamiento de Recursos Hídricos Informe Principal. Volumen II: Cuenca del Río Mendoza, Anexo N° 3: Caracterización Agronómica. Versión preliminar. Departamento General de Irrigación, Gob. de Mendoza.

PNUD/FAO. 2004f. Plan Director de Ordenamiento de Recursos Hídricos Informe Principal. Volumen II: Cuenca del Río Mendoza, Anexo N° 3: Caracterización Social. Versión preliminar. Departamento General de Irrigación, Gob. de Mendoza.

PNUD/FAO. 2004g. Plan Director de Ordenamiento de Recursos Hídricos Informe Principal. Volumen II: Cuenca del Río Mendoza, Anexo N° 3: Caracterización Económica. Versión preliminar. Departamento General de Irrigación, Gob. de Mendoza.

PNUD/FAO. 2004h. Plan Director de Ordenamiento de Recursos Hídricos Informe Principal. Volumen II: Cuenca del Río Mendoza, Anexo N° 3: Demanda Hídrica. Versión preliminar. Departamento General de Irrigación, Gob. de Mendoza.

PNUD-FAO/ARG/00/008. 2006. Planes Directores de Ordenamiento de los Recursos Hídricos de las Cuencas de Mendoza, Departamento General de Irrigación, Mendoza

ProMendoza. 2007. Información sobre exportaciones
<http://www.promendoza.com/new/espanol/externa/productos/productos.htm>

Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR). 2008. Recursos Hídricos. La Rioja - San Juan - Mendoza - San Luis. En línea en:
http://www.segemar.gov.ar/P_Oferta_Regiones/Regiones/Cuyo/

Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR). 2008. Datos sociales, demográficos y económicos de las regiones mineras de Argentina,
www.segemar.gov.ar

UNCu. 2004. Marco Estratégico para la Provincia de Mendoza. Diagnóstico físico ambiental, Comisión Físico –Ambiental, SEU-UNCu, Mendoza.

Trabajo de campo en la cuenca del río Mendoza, Proyecto Kaswarmi, 2007.

IRRIGAÇÃO NO SEMI-ÁRIDO DA BAHIA: O Projeto de Irrigação de Ponto Novo

Aureo Silva de Oliveira, Vital Pedro da Silva Paz, Claudia Bloisi Vaz Sampaio

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Núcleo de Engenharia de Água e Solo (NEAS).

RESUMEN

En este trabajo se resumen estudios realizados en la cuenca del Río Itapicuru, con énfasis en aspectos relacionados a las características de los suelos, de los sistemas de riego y las necesidades hídricas de los cultivos. La cuenca de este río, con una superficie de 40000 km², se localiza en el Nordeste de Brasil. La zona bajo riego es pequeña comparada con la dimensión de la cuenca. Su crecimiento debe tener en cuenta la demanda de otros sectores y una planificación cuidadosa, que permita contemplar factores socioeconómicos y ambientales.

ABSTRACT

This paper describes the results obtained in the studies performed in Río Itapicuru basin, taking into account the characteristics of the soils and the irrigation systems, as well as the hydric needs of the crops. The river basin, covering an area of 40000 km², is located at the north east of Brazil. The irrigation area is small in comparison with the basin. Its growth should take into account water demands of other sectors and a careful planification considering socioeconomic and environmental factors.

INTRODUÇÃO

No Brasil, estima-se que 3,4 milhões de hectares são cultivados sob irrigação. O Nordeste detém 21,3 % desse total (Christofidis, 2007), sendo a Bahia o estado com maior área irrigada (330.000 ha), correspondendo a 21% de um potencial estimado em 1,6 milhão de hectares. As principais culturas irrigadas na Bahia são fruteiras (32%), grãos (26%), cana de

açúcar (13%), pastagens (8%), café (6%) e algodão (3%). Na região semi-árida da Bahia, dois importantes pólos de irrigação, ambos na bacia do Rio Itapicuru, são o Projeto de Irrigação Ponto Novo e o Projeto de Irrigação de Tucano. Em outras regi bacias hidrográficas outros pólos se destacam, como por exemplo na região de Juazeiro, BA e Petrolina, PE.

A agricultura irrigada é um setor extremamente demandante por água (70% da oferta global), comparado com a indústria (20%) e o abastecimento doméstico (10%) (CAWMA, 2007). Por outro lado, responde, em média, por mais de 40% de toda a produção mundial de fibras e alimentos (Hoffman & Evans, 2007). Nesse contexto, se existe potencial para o crescimento da agricultura irrigada, como e o caso da bacia do rio Itapicuru, o mesmo deve ocorrer de forma planejada, pois a tendência é o crescente uso da água por setores não-agrícolas.

O presente texto resume estudos realizados no âmbito da bacia do rio Itapicuru, por meio dos seguintes projetos: *Estudo para o Planejamento Integrado do Uso e da Conservação dos Recursos Hídricos da Bacia do Rio Itapicuru* (Edital BIRD/Embrapa PRODETAB 01/2001) e *Knowledge Assessment on Sustainable Water Resources Management for Irrigation* (European Commission Edital FP6-2002INCO-DEV). Procurou-se dar ênfase a alguns aspectos relacionados à aptidão de terras para irrigação, características de solos irrigados, desempenho de sistemas de irrigação, necessidades hídricas das culturas, finalizando, a fim que o leitor tenha uma idéia geral do panorama da agricultura irrigada.

TERRA E SOLO PARA IRRIGAÇÃO NA BACIA DO RIO ITAPICURU

A Bacia do Rio Itapicuru (BRI), com aproximadamente 40.000 km², localiza-se no nordeste do Estado da Bahia. Naquela bacia, a irrigação vem sendo praticada com mais ênfase nas partes alta e média, caracterizadas por precipitações médias em torno de 500 a 60 mm e evapotranspiração potencial em torno de 800 a 1200 mm. Na região, os solos de maior ocorrência são o Planossolo Háplico Eutrófico solódico (SXen), o Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (LVAd) e os Argissolos Vermelho Amarelo eutrófico

(PVAe) e distrófico (PVAd). Sampaio (2006) apresentou detalhada descrição desses três tipos de solos.

A Tabela 1 resume as classes de aptidão de terras para irrigação delimitadas por Sampaio (2006), com base na mais recente classificação de terras para irrigação proposta pela Embrapa (Amaral, 2005). Observa-se que a melhor classe de aptidão identificada é a representada pela formulação 2EC, que segundo Sampaio (2006), totaliza 559.500 ha (18,22%) da área total da bacia e é representada pelo Latossolo Vermelho Amarelo distrófico.

Tabela 1 – Classes de aptidão de terras para irrigação no alto da bacia do rio Itapicuru, segundo metodologia do SiBCTI/Embrapa. (Fonte: Sampaio, 2006).

Classe	Descrição
2EC	Terras aptas para irrigação, com retorno de produtividade de 90% em relação à situação de referência (Classe 1), com limitações quanto à condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (E) e capacidade de retenção de água no solo.
4EV	Terras com forte limitações para irrigação, com retorno de produtividade de 50% em relação à Classe 1, com limitações quanto à condutividade elétrica do extrato de saturação (E) e textura do solo (V).
5IZ, 5ZI e 5IH	Terras com aptidão restrita ou provisória, com limitações muito fortes e retorno de produtividade de 25% em relação à Classe 1, com limitações quanto à profundidade do solo (Z), velocidade de infiltração básica (I), e pH (H).
6ZI, 6ZW e 6BZ	Terras inaptas para irrigação, com produção não sustentável e retorno de produtividade de 10% em relação à Classe 1, com limitações de profundidade do solo (Z), velocidade de infiltração básica (I), profundidade da zona de redução (W), e área abaciada (B).

O Projeto de Irrigação de Ponto Novo (PIPn), uma das mais importantes iniciativas do governo estadual no segmento da agricultura irrigada, está localizado no semi-árido baiano, no município de Ponto Novo (10° S, 39° W, 400 m.a.n.m.), a 350 km a noroeste de Salvador. A área total do PIPn compreende 3.444 ha dos quais 2.536 ha (74%) são destinados à irrigação, divididos em lotes de cinco hectares para pequenos produtores, de 30 ha para

médios produtores (empresários) e uma parte da área destinada à produção de feno de alta qualidade para alimentação animal. O PIPN é abastecido com água da barragem de Ponto Novo construída no rio Itapicuru-Açu, na região do alto da bacia. A barragem, com capacidade para acumular 39 milhões de m³ de água é operada pelo atual INGÁ-Instituto de Gestão das Águas do Estado da Bahia.

A Tabela 2 mostra os parâmetros de ajuste do modelo de van Genuchten (van Genuchten, 1980), obtidos por meio do programa de otimização RETC v. 6.0 (van Genuchten et al., 2004), para a camada de 0 a 60 cm de profundidade, de cinco lotes representativos da área do PIPN, segundo Santos Junior (2007).

Tabela 2 – Parâmetros de ajuste da equação de van Genuchten para os solos de cinco lotes representativos do Projeto de Irrigação de Ponto Novo, na camada de 0 a 60 cm. Ponto Novo, Bahia.

Lote	α	n	m	θ_s	θ_r	r^2
4	0,0144	1,5363	0,3490	0,179	0,081	0,996
11	0,0171	1,5110	0,3382	0,191	0,089	0,996
21	0,1370	1,2686	0,2117	0,221	0,070	0,983
45	0,5321	1,1864	0,1571	0,276	0,057	0,992
83	0,0505	1,2035	0,1691	0,216	0,056	0,996

Obs.: α , n, m = parâmetros de ajuste do modelo; θ_s e θ_r = umidade de saturação e residual (cm³ cm⁻³)

A Tabela 3 apresenta dados sobre a disponibilidade total de água (DTA), retida entre a capacidade de campo (60 cmH₂O) e o ponto de murchamento permanente (15.000 cmH₂O), nos solos dos lotes avaliados. A DTA variou de 44 a 49 mm, com média em torno de 46 mm (76 mm m⁻¹), constituindo em valores típicos de solos de textura média a arenosa, e portanto, com reduzida fração argila. Tal característica tem efeito direto no manejo da irrigação das culturas.

Tabela 3 – Densidade do solo (g cm^{-3}), umidade do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) à capacidade de campo (θ_{CC}), no ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) e disponibilidade total de água no solo no Projeto de Irrigação Ponto Novo, Ponto Novo, Bahia.

Lote	Ds (g cm^{-3})	Prof. (cm)	θ_{CC} 60 cmH_2O ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	θ_{PMP} 15000 cmH_2O ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	DTA (mm)	DTA (mm m^{-1})
04	1,47	0-60	0,160	0,085	45,12	75,20
11	1,54	0-60	0,168	0,093	45,06	75,10
21	1,65	0-60	0,154	0,081	43,98	73,30
45	1,57	0-60	0,171	0,096	45,50	75,80
83	1,68	0-60	0,177	0,096	48,88	81,50

Obs.: 1000 cmH_2O = 100 kPa = 1 atm

Características físico-hídricas semelhantes foram observadas nos solos do Projeto de Irrigação de Tucano (PIT), no município de Tucano ($10^\circ 57' \text{ S}$, $38^\circ 47' \text{ W}$, 207 m anm), também situado na BRI, porém na porção média da bacia. A análise de um grupo de curvas de retenção de água no solo, restrita ao intervalo de potencial de 0 a 1000 cmH_2O , o mais importante do ponto de vista de manejo da irrigação, mostrou que a umidade do solo varia rapidamente para baixos valores de potencial matricial, tendendo a linearidade, à medida que o potencial aumenta. Esse formato de curva é típico de solos de textura média a arenosa.

Aspectos da salinidade do solo, com ênfase na área do PIPN, e da qualidade da água em vários pontos da BRI foram igualmente investigados. A salinidade, tanto do solo quanto da água, é atualmente um dos maiores desafios para a sustentabilidade da agricultura irrigada em todo o mundo (Hoffman & Shalhevet, 2007). Várias áreas irrigadas no Brasil vêm apresentando problemas de salinidade do solo, especialmente no semi-árido, onde, em média, os totais anuais de evapotranspiração superam os de precipitação.

Brito (2007) avaliou, a partir de amostras de solo de 19 (dezenove) lotes do PIPN, os riscos de salinidade, de acordo com os parâmetros da Tabela 4, ou seja, pH, condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) e percentagem de sódio trocável

(PST), em conformidade com a classificação do Laboratório de Salinização dos Estados Unidos (Bernardo, 1989).

Tabela 4 – Classificação dos solos quanto ao grau de salinidade e sodicidade e medidas para recuperação. (Fonte: Bernardo, 1989)

Tipo de solo	Parâmetro			Medidas para recuperação
	pH	CEes (mmhos cm ⁻¹)	PST	
Normal	4 a 8,5	< 4	< 15	-
Salino	≤ 8,5	> 4	< 15	Lixiviação dos sais
Salino-sódico	≈ 8,5	> 4	> 15	Aplicação de corretivos e lixiviação dos sais
Sódico	8,5 a 10	< 4	> 15	Aplicação de corretivos e Lixiviação dos sais

A Tabela 5 resume os dados apresentados por Brito (2007). Observa-se que em 16 (39%) das amostras, o solo apresentava algum problema de acúmulo de sais, sendo três (5,3%) com solo salino e 13 (22,8%) com solo sódico. É importante igualmente ressaltar que a maioria das camadas é de solo normal (Tabela 4), porém onde ocorrem solos salino-sódicos estes se concentram nas camadas superficiais. Apenas oito (14%) dos lotes amostrados apresentavam perfil de solo totalmente normal, ou seja, livre de problemas de salinidade e/ou sodicidade.

Tabela 5 – Frequência absoluta de solos no Projeto de Irrigação Ponto Novo quanto aos níveis de salinidade e sodicidade. Ponto Novo, Bahia. (Fonte: Brito, 2007)

Unidade de classificação		Tipo de solo				Total
		Normal	Salino	Salino-sódico	Sódico	
Amostra de solo		41	3	13	-	57
Camada amostrada	0-20	12	1	6	-	19
	20-40	14	1	4	-	19
	40-60	15	1	3	-	19
Perfil (lote) amostrado (0-60 cm)	Totalmente normal	8	-	-	-	8
	Parcialm. normal ^(*)	-	-	-	-	49

Obs.: ^(*) Pelo menos uma das profundidades amostradas apresenta problema de salinidade ou sodicidade.

A ocorrência de grande porcentagem de lotes com pelo menos uma camada da zona radicular das culturas apresentando problemas de acúmulo de sais pode estar relacionada com o tipo de solo predominante e problemas de drenagem natural, fatores esses agravados, provavelmente, por manejo inadequado da irrigação, com destaque para a aplicação excessiva de água. Sampaio (2006) identificou a presença de solos do tipo SXen (Planossolo háplico eutrófico solódico) em áreas irrigadas à jusante da barragem de Ponto Novo, na região do PIPN. A qualidade da água de irrigação, aparentemente, não está associada aos problemas de salinidade no PIPN, como discutido a seguir.

Análise de amostras de água do rio Itapicuru-Açu à altura do PIPN revelou os valores apresentados na Tabela 6. Com base na condutividade elétrica e na razão de adsorção de sódio (RAS) a água foi classificada como C2-S1, correspondendo a risco médio de salinidade e reduzido risco de sodicidade. Segundo Bernardo (1989), águas C2 possuem salinidade média e podem ser usadas sempre que houver um grau moderado de lixiviação. Águas S1 apresentam baixa concentração de sódio e podem ser usadas para irrigação em quase todos os solos, com pequenas possibilidades de alcançar níveis perigosos de sódio trocável.

Tabela 6 – Qualidade da água do rio Itapicuru-Açu utilizada para irrigação no Projeto de Irrigação Ponto Novo. Ponto Novo, Bahia, 2007. (Fonte: Brito, 2007)

Parâmetro	Valor	Parâmetro	Valor
pH	8,0	Cálcio, Ca ⁺² (mg L ⁻¹)	28
Condutividade elétrica (dS m ⁻¹ a 25°C)	0,61	Magnésio, Mg ⁺² (mg L ⁻¹)	15
Dureza total (mg L ⁻¹) (CaCO ₃)	90	Sódio, Na ⁺ (mg L ⁻¹)	35
Alcalinidade (mg L ⁻¹) (CaCO ₃)	14	Bicarbonato, HCO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)	1,7
RAS (mmol _c L ⁻¹)	1,33	Cloreto, Cl ⁻ (mg L ⁻¹)	163

DESEMPENHO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

Testes de campo para avaliação de sistemas de irrigação foram conduzidos em lotes de pequenos produtores do PIPN (Santos Júnior, 2007). A Tabela 7 resume os percentuais de enquadramento dos sistemas avaliados, quanto à qualidade da irrigação por aspersão. Verificou-se que os sistemas de irrigação por aspersão, em 60% dos lotes, foram instalados há mais de cinco anos, apresentando em geral mal estado de conservação.

Tabela 7 – Classificação dos sistemas de irrigação por aspersão, avaliados no Projeto de Irrigação Ponto Novo, em função do coeficiente de uniformidade de distribuição de água (CUD). Ponto Novo, Bahia.

Lote	CUD (%)	Classificação	Fração dos lotes (%)
07	6,4		
04	12,0		
10	30,3		
11	33,3	Péssimo	40
15	35,8		
06	44,0		
Média	29,7 (CUC = 55,7)		
12	52,8		
03	54,5		
02	56,5		
05	59,8	Regular	33
13	64,5		
Média	57,6 (CUC = 73,3)		
01	67,5		
09	69,9		
14	74,5		
08	77,0	Bom	27
Média	72,2 (CUC = 82,5)		

Obs.: Péssimo: $UD \leq 50\%$; Regular: $50\% < UD \leq 65\%$; Bom: $65\% < UD \leq 85\%$; Ótimo: $UD > 85\%$

Em vinte lotes do PIPN, sistemas de microaspersão foram também avaliados, irrigando principalmente fruteiras, a exemplo da banana, manga, melancia, coco e goiaba. Os valores do CUD (coeficiente de uniformidade de distribuição de água) variaram de 36,4% a 96,2% (Tabela 8), sendo que baixa uniformidade de distribuição de água esteve associada a problemas de obstrução parcial ou total dos emissores, vazamentos nas linhas de PE flexível e conexões, bem como substituição dos microaspersores por outros de marca e modelos distintos. Verificou-se que 80% dos sistemas avaliados apresentaram desempenho de bom a ótimo de acordo com o indicador CUD.

Tabela 8 – Classificação dos sistemas de irrigação por microaspersão avaliados no Projeto de Irrigação Ponto Novo, em função do coeficiente de uniformidade de distribuição de água (CUD). Ponto Novo, Bahia, 2007.

Lote	CUD (%)	Classificação	Fração dos lotes (%)
23	36,4	Péssimo	10
20	43,9		
Média	40,1		
25	52,2	Regular	10
24	59,2		
Média	55,7		
30	65,6	Bom	35
26	66,8		
22	75,6		
29	76,6		
21	76,7		
18	78,9		
32	81,6		
Média	74,5		
31	85,7	Ótimo	45
33	86,2		
16	87,4		
27	88,6		
17	93,1		
19	94,2		
34	94,7		
28	95,9		
35	96,2		
Média	91,3		

Verificou-se que os sistemas de irrigação por aspersão convencional apresentaram com base no indicador CUD, desempenho inferior ao observado entre os sistemas de microaspersão. Encontrou-se que entre as principais causas para as baixas uniformidades de aplicação de água estavam a alta pressão de operação dos aspersores (Santos Júnior, 2007).

Outro importante aspecto no confronto da irrigação por aspersão com a microaspersão nas condições do PIPN é o fato de os irrigantes pagarem pela água de irrigação, à razão de R\$ 19,51 por 1.000 m³ de água. Sistemas de irrigação com baixa uniformidade de aplicação de água podem gerar prejuízos econômicos não somente pelo desperdício de água, mas também pelos efeitos sobre o rendimento das culturas ao gerar setores com molhamento em excesso ou deficitário (Keller & Bliesner, 1990).

NECESSIDADE HÍDRICA DAS CULTURAS

Cada espécie vegetal apresenta uma necessidade hídrica própria para manter o seu ciclo (da germinação à colheita ou senescência). A expressão necessidade hídrica leva ao conceito de evapotranspiração (ET), que compreende o total de água transferida para a atmosfera na forma de vapor, simultaneamente pela evaporação do solo (E) e pela transpiração vegetal (T).

O conhecimento da ET é essencial ao adequado planejamento da irrigação. Utiliza-se, comumente, um procedimento em duas etapas para a obtenção da ETc, a saber: 1º) determina-se a ET da cultura de referência (ETo) e 2º) seleciona-se o coeficiente de cultivo (Kc) de acordo com a fase do ciclo de produção da cultura (Tabela 9), sendo Kc um fator específico para cada cultura e fase de desenvolvimento.

Tabela 9 – Valores recomendados de coeficiente de cultivo (Kc) por fase do ciclo para algumas culturas irrigadas ou com potencial para irrigação nas condições agroclimatológicas da bacia do rio Itapicurú, Bahia. (Fonte: Allen *et al.*, 2007)

No. ordem	Cultura	Kc por fase do ciclo				
		I (inicial)	II ^(*) (crescimento vegetativo)	III (floração e formação do fruto/raiz)	IV ^(**) (maturação e colheita)	
1	Abacaxi	0,50	0,40	0,30	0,30	
2	Abóbora	0,50	0,70	0,95	0,85	
3	Alface	0,70	0,85	1,00	0,95	
4	Alho	0,70	0,85	1,00	0,85	
5	Amendoim	0,40	0,80	1,15	0,90	
6	Banana	Ano 1	0,50	0,80	1,10	1,05
		Ano 2	1,00	1,10	1,20	1,15
7	Batata-doce	0,50	0,80	1,15	0,90	
8	Berinjela	0,60	0,80	1,05	0,95	
9	Beterraba	0,35	0,80	1,20	0,95	
10	Cebola	0,70	0,90	1,05	0,90	
11	Cenoura	0,70	0,90	1,05	1,00	
12	Coco	0,95	0,95	1,00	1,00	
13	Espinafre	0,70	0,85	1,00	0,95	
14	Feijão caupi	0,40	0,70	1,05	0,80	
15	Feijão-verde	0,50	0,80	1,05	0,95	
16	Girassol	0,35	0,70	1,10	0,70	
17	Manga	0,25	0,55	0,85	0,75	
18	Melancia	0,40	0,70	1,00	0,90	
19	Melão	0,50	0,70	0,85	0,70	
20	Milho-doce	0,70	0,90	1,15	1,10	
21	Pimentão	0,60	0,80	1,05	0,95	
22	Repolho	0,70	0,90	1,05	1,00	
23	Tomate	0,60	0,90	1,15	0,95	

Obs.: ^(*) Valor médio entre o Kc da fase I e fase III; ^(**) Valor médio entre o Kc da fase III e o da colheita.

Para as condições agroclimatológicas da BRI, com predominância de clima semi-árido nas áreas onde atualmente se pratica a irrigação, recomenda-se o uso do método de Hargreaves-Samani (Hargreaves & Samani, 1982) para estimativa da ETo, conforme a equação 1. Este método é vantajoso, pois

requer apenas dados medidos de temperatura máxima (Tx) e mínima (Tn) do ar.

$$ET_{o_H} = 0,0023 \cdot Ra \cdot (T_m + 17,8) \cdot \sqrt{(T_x - T_n)} \quad (1)$$

onde ET_{o_H} = ET de referência (mm dia⁻¹) pelo método de Hargreaves, Ra = radiação solar no topo da atmosfera (mm dia⁻¹), Tm, Tx e Tn = respectivamente, temperatura média, máxima e mínima do ar (°C).

$$T_m = \frac{T_x + T_n}{2} \quad (2)$$

Valores médios mensais de Ra (mm dia⁻¹) de janeiro a dezembro para as latitudes da bacia do rio Itapicuru são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Radiação solar no topo da atmosfera (mm dia⁻¹) para estimativa da ET de referência pela equação de Hargreaves em localidades da bacia do rio Itapicuru, Bahia.

Latitud (°)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
9.0	16.0	16.1	15.8	14.8	13.6	12.8	13.2	14.3	15.5	16.0	16.1	15.9
9.5	16.1	16.1	15.8	14.7	13.5	12.7	13.1	14.2	15.4	16.1	16.1	16.0
10.0	16.1	16.2	15.8	14.7	13.4	12.6	13.0	14.1	15.4	16.1	16.2	16.1
10.5	16.2	16.2	15.8	14.6	13.3	12.5	12.9	14.1	15.4	16.2	16.2	16.1
11.0	16.2	16.2	15.7	14.5	13.2	12.4	12.8	14.0	15.3	16.2	16.3	16.2
11.5	16.3	16.2	15.7	14.5	13.1	12.3	12.7	13.9	15.3	16.3	16.3	16.3
12.0	16.3	16.3	15.7	14.4	13.0	12.2	12.6	13.8	15.3	16.3	16.4	16.3

Uma vez obtidos os valores apropriados de Kc e ETo multiplica-se um pelo outro para determinação da ET da cultura, ou seja, ETc = Kc·ETo. Na seqüência são apresentadas, a título de exemplo, estimativas da ET média mensal (mm dia⁻¹) para a cultura da melancia na região de Tucano (Tabela 11). Para

estimativa da ET_{oH} utilizou-se valores médios de T_x e T_n reportados pelo INMET-Instituto Nacional de Meteorologia, cobrindo um período de 30 anos (1961 a 1990).

Tabela 11 – Demanda hídrica líquida média mensal da cultura da melancia na região de Tucano, Bahia.

Mês	ET_{oH} (mm dia ⁻¹)	Demanda hídrica (mm dia ⁻¹)			
		Fase I	Fase II	Fase III	Fase IV
		Kc =	Kc =	Kc =	Kc =
		0,40	0,70	1,00	0,90
Janeiro	6,2	2,5	4,3	6,2	5,6
Fevereiro	6,0	2,4	4,2	6,0	5,4
Março	5,7	2,3	4,0	5,7	5,1
Abril	4,8	1,9	3,4	4,8	4,3
Maiο	4,1	1,7	2,9	4,1	3,7
Junho	3,7	1,5	2,6	3,7	3,3
Julho	3,7	1,5	2,6	3,7	3,4
Agosto	4,3	1,7	3,0	4,3	3,9
Setembro	4,9	2,0	3,5	4,9	4,4
Outubro	5,7	2,3	4,0	5,7	5,1
Novembro	6,0	2,4	4,2	6,0	5,4
Dezembro	6,2	2,5	4,3	6,2	5,5

Com base nos dados da Tabela 11 é possível estimar a demanda hídrica líquida total da cultura da melancia para qualquer época de plantio, desde que se conheça a duração das quatro fases do ciclo de produção. A Tabela 12 exemplifica o procedimento, assumindo data de plantio em 05 de maio, compatível com as práticas agrícolas da região.

Tabela 12 – Procedimento de cálculo para estimativa da demanda hídrica líquida da cultura da melancia na região de Tucano, Bahia, para plantio na primeira semana de maio.

Fase do ciclo	Duração da fase (*)	Período e duração da fase (dias) mês	Demanda hídrica no durante a fase (dias x mm)	Demanda líquida total (mm)
I (inicial)	20	05 a 25/05 (20)	$20 \times 1,7 = 34,0$	34,0
II (crescimento vegetativo)	30	26 a 31/05 (5) + 01 a 26/06 (25)	$5 \times 2,9 = 14,5$ + $25 \times 2,6 = 65,0$	79,5
III (floração e formação do fruto/raiz)	30	27 a 30/06 (3) + 01 a 28/07 (27)	$3 \times 3,7 = 11,1$ + $27 \times 3,7 = 99,9$	111,0
IV (maturação colheita)	e 30	29 a 31/07 (2) + 01 a 29/08 (28)	$2 \times 3,4 = 6,8$ + $28 \times 3,9 = 109,2$	116,0
Ciclo	110			340,5

Obs.: (*) Valores aproximados, mais de caráter ilustrativo.

O procedimento apresentado acima pode ser aplicado para qualquer cultura em qualquer localidade da BRI, sendo necessários: a) a ET de referência média mensal (mm dia^{-1}) determinada pelo método de Hargreaves (equação 1) e organizada conforme Tabela 11; b) o Kc para cada fase do ciclo de produção da cultura, conforme Tabela 9; c) a duração em dias de cada fase do ciclo (depende da variedade e práticas locais de condução da cultura); e d) a data de plantio (semeadura ou transplante).

A estimativa das necessidades hídricas de uma cultura de forma antecipada, como exemplificado pela Tabela 12, só é possível quando se dispõe de séries históricas de dados meteorológicos. Para fins de planejamento da demanda hídrica, o método apresentado é perfeitamente aceitável. No entanto, deve ser evitado para o manejo da irrigação, pois o método assume que as condições meteorológicas durante o ciclo da cultura, independente da data de plantio, se aproximarão das condições médias definidas pela série histórica de dados.

É importante frisar que a demanda hídrica de uma dada cultura depende da localidade e época do ano, sendo em geral

superior na primavera e verão em relação ao outono e inverno. Não apenas a época do ano é significativa como também a duração do ciclo da cultura, o que por sua vez é função da variedade utilizada. Assim, para plantios da melancia no outono na região de Tucano (primeira semana de maio), a cultura requer em torno de 340 mm de água, da semeadura à colheita, assumindo-se um ciclo de 110 dias, o que corresponde a 3.405 m^3 de água por hectare.

CONCLUSÕES

A demanda por água de boa qualidade tende a aumentar não somente no Brasil, como também em outros países da América do Sul. O resultado é um incremento na competição entre o setor agrícola e os demais, em todos os níveis de decisão. Nesse contexto, não sendo possível a expansão da agricultura irrigada para novas áreas, há que se maximizar o rendimento das culturas por unidade de lâmina d'água aplicada ("more crop per drop") (CAWMA, 2007).

A área irrigada na Bacia do Rio Itapicuru é modesta comparada à dimensão da bacia e à disponibilidade hídrica na forma de infraestrutura de armazenamento. No entanto, grande parte da bacia encontra-se no semi-árido, sistema naturalmente frágil do ponto de vista hídrico. Nesse contexto, qualquer incentivo adicional ao crescimento da agricultura irrigada no âmbito da bacia deve levar em conta não somente a curva de demanda de outros setores bem como um cuidadoso planejamento que permita compatibilizar as aptidões locais e regionais com a sustentabilidade ambiental.

REFERÊNCIAS

Allen, R.G., Wright, J.L., Pruitt, W.O., Pereira, L.S. and Jensen, M.E. Water requirements. 2007. Design and Operation of Farm Irrigation Systems. 2nd ed. American Society of Agric. and Biol. Engineers, Chap. 8, 209-288.

Amaral, F.C.S. 2005. Sistema brasileiro de classificação de terras para irrigação: enfoque na região semi-árida. R Janeiro: Embrapa Solos, 218 p.

Bernardo, S. 1989. Manual de irrigação. 5^a ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 569 p.

Brito, M.C.M. 2007. Qualidade da água para irrigação na bacia do rio Itapicuru e risco de salinização no Projeto de Irrigação Ponto Novo. Dissertação de Mestrado. Univ. Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB, Cruz das Almas, Bahia (Prog. de Pós-Graduação em Cs Agrárias), 53 fls.

Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture (CAWMA). 2007. Water for Food, Water for Life. London: EarthScan, and Colombo: International Water Management Institute, 40 p.

Christofidis, D. 2007. Agricultura irrigada sustentável no Semi-Árido e no Rio Grande do Norte. Brasília: Irrigação e Tecnologia Moderna, 74/75, 62-67.

Hargreaves, G.H. and Samani, Z.A. 1982. Estimating potential evapotranspiration. New York, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 129 (4): 256-269.

Hoffman, G. and Evans, R. 2007. Introduction. In: Hoffman, G.J., Evans, R.E., Jensen, M.E., Martin, D.L. and Elliot, R.L. Design and Operation of Farm Irrigation Systems. 2nd ed. St. Joseph: ASABE. American Society of Agricultural and Biological Engineers, Chapter 1, 1-32.

Hoffman, G. and Shalhevet, J. 2007. Controlling salinity. In: Hoffman, G.J., Evans, R.E., Jensen, M.E., Martin, D.L. and Elliot, R.L. Design and Operation of Farm Irrigation Systems. 2nd ed. St. Joseph: ASABE. American Society of Agricultural and Biological Engineers, Chapter 1, 161-207.

Keller, J. and Bliesner, R.D. 1990. Sprinkle and trickle irrigation. New York: van Nostrand Reinhold, 652 p.

Sampaio, C.B.V. 2006. Estudo e Diagnóstico da Agricultura Irrigada na Região do Alto da Bacia Hidrográfica do Rio Itapicuru – Bahia. Campinas – FEAGRI – UNICAMP. Tese de Doutorado. 183p.

Santos Junior, J.L.C. 2007. Qualidade da irrigação no Projeto Ponto Novo, semi-árido baiano. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB, Cruz das Almas, Bahia (Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias), 44 fls.

Van Genuchten, M. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Science Society of America Journal, Madison, .44, 892-898.

Van Genuchten, M., Simunek, J., Leij, F.J. and Sejna, M. 2004. RETC v.6.0 – Code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. <http://www.ars.usda.gov/main/>

USO APROPRIADO DOS RECURSOS HÍDRICOS PARA IRRIGAÇÃO. ESTUDO DE CASO: REGIÃO DE MOSSORÓ-RN

José Francismar de Medeiros¹, Hans Raj Gheyi² y Marcelo Tavares Gurgel¹

¹ *Universidade Federal Rural Do Semi-Árido (UFERSA)*

² *Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)*

RESUMO

A região de Mossoró está localizada na parte noroeste do Estado do Rio Grande do Norte, Brasil (coordenadas 11°15 "S, 37 ° 20'39"W). A região é cortado pelos rios Apodi e Mossoró com uma área de cerca de 5000 km². No aquífero calcário atualmente cerca de 400 poços (profundidade média inferior a 100m, com vazão média de 50 a 100 m³), enquanto que no arenito aquífero Assu cerca de 10 poços profundos (profundidade 800-1000m, com vazão média de 80-200 m³) estão em operação para fins de irrigação. Principais culturas destinadas à exportação são o melão, mamão, melancia e abacaxi, enquanto para o mercado interno, banana, coco, cebola, feijão verde, milho-verde, abobrinha, pimentão e tomate são cultivadas. A área cultivada com melão é de cerca de 10.000 ha, enquanto para melancia ocupa cerca de 3000 ha. Os principais sistemas de irrigação utilizados na região são gotejamento e em pequena escala micro aspersão é utilizada em algumas plantações de banana e manga. Vários estudos têm sido realizados na região para determinar o efeito da salinidade da água de irrigação sobre a produtividade de cultivos e a evapotranspiração. Para melão-Orange Flesh os resultados indicam que a produção total e comercial diminui em cerca de 10 e 9%, respectivamente, por aumento unitário de salinidade da água acima da condutividade elétrica de 0,6 dS / m (água de poço profundo), enquanto a evapotranspiração durante a fase de frutificação reduz-se em cerca de 20%. No caso da melancia, houve 12% de perda na produtividade por aumento unitaria da salinidade da água de irrigação acima de 0,6 dS/m, enquanto no caso da abóbora perdas na produtividade variaram de 8 a 10%.

ABSTRACT

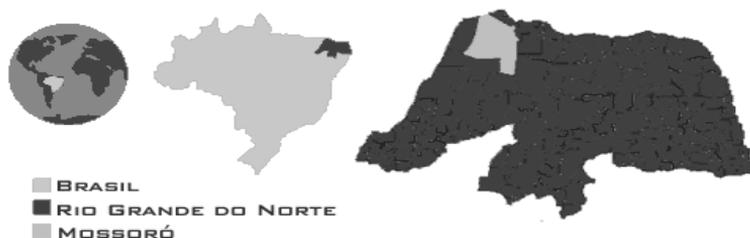
The region of Mossoró is located in the northwestern part of the State of Rio Grande do Norte, Brazil (coordinates 11°15 'S, 37 ° 20 '39"W). The region is cut across by the Apodi and Mossoró rivers with a catchment area of about 5,000 km². In the limestone aquifer currently about 400 wells (mean depth less than 100 m, mean discharge rate 50 to 100 m³) while in sandstone aquifer Assu about 10 deep wells (depth 800-1000 m, mean discharge rate 80-200 m³) are in operation for irrigation purposes. Main crops intended for exportation are the melon, papaya, watermelon and pineapple while for the internal market, banana, coconut, onion, green beans, green-corn, squash, peppers and tomatoes are cultivated. The cultivated area with melon is about 10,000 ha while for watermelon it is about 3,000 ha. The main irrigation systems used in the region are drip and on small scale micro sprinkler is used in some plantations of banana and mango. Various studies have been conducted in the region to determine the effect of salinity of irrigation water on crop yield and evapotranspiration. For the melon-orange flesh the results indicate that the total and commercial yield decreases by about 10 and 9%, respectively, with per unit increase in water salinity above the electrical conductivity of 0.6 dS/m (water from deep well), while evapotranspiration during the fruiting phase was found to be reduced by about 20%. In case of watermelon, there was 12% loss in yield with per unit increase of salinity of irrigation water over 0.6 dS/m, while the pumpkin showed losses in yield varying from 8 to 10%.

INTRODUÇÃO

A região de Mossoró está na parte noroeste do estado do Rio Grande do Norte, Brasil, onde está localizada a cidade de Mossoró (Figura 1), coordenadas 5°11'15"S, 37° 20' 39" W, com população superior a 230.000 habitantes. Faz parte ainda dessa região, os municípios de Baraúna, Areia Branca, Tibau, Grossos, Governador Dix-Sept Rosado, Serra do Mel e Upanema. A região se encontra sobre a Chapada do Apodi, que tem uma extensão de 5000 km², com altitude média de 100 m, com clima segundo classificação de Koeppen do tipo BSw^h - seco, muito quente com a estação

chuvosa no verão se atrasando para o outono. Medias anuais de temperatura – 27,4°C, chuva - 670 mm e umidade relativa – 68,9%. Os solos são sedimentares de formação cretácea (calcário Jandaíra) e de formação terciária (Grupo Barreiras).

Figura 1. Mapas mundi, do Brasil, do estado do Rio Grande do Norte e de Mossoró.



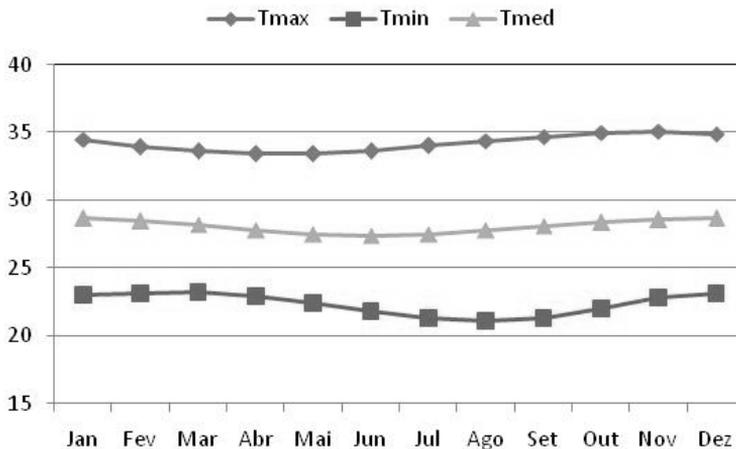
A região de Mossoró é cortada pelo rio de mesmo nome, do tipo intermitente, embora nos dias atuais é perenizado com águas da barragem Santa Cruz, com capacidade de 600 milhões de m³, além de ser rica em água subterrânea, com dois aquíferos, um mais raso situado no calcário, e o outro mais profundo, 500 a 1000 m, denominado arenito Assu. As reservas de água explorável no primeiro são na faixa de 160 a 300 milhões de m³ por ano, enquanto no segundo, estima-se entre 20 e 40 milhões. Entretanto, quanto a qualidade das águas, as provenientes do calcário são de salinidade alta, com valores de condutividade elétrica entre 1,0 a 5,0 dS/m (Oliveira e Maia, 1998; Medeiros *et al.*, 2003), enquanto as do arenito tem salinidade entre 0,2 e 0,7 dS/m.

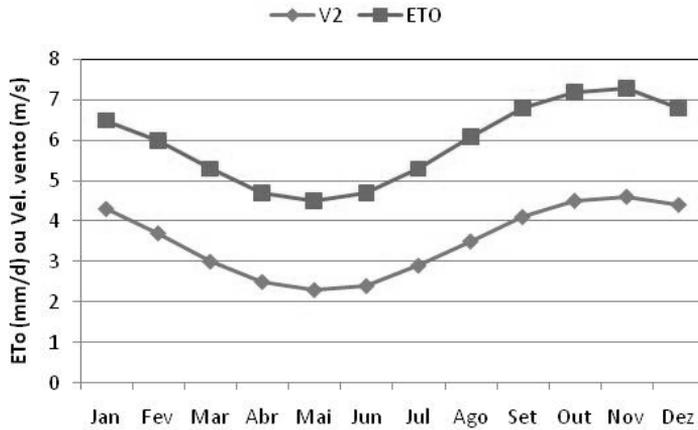
Outro ponto a considerar é a profundidade dos poços e de bombeamento. Os poços do calcário têm profundidade entre 15 e 150 m, com nível dinâmico entre 5 e 60 m (Lisboa, 2000; Alencar, 2006). No caso dos poços do arenito, a profundidade varia entre 100 nos afloramento e 1100 m, com nível dinâmico oscilando entre 30 e 200 m.

MEIO FÍSICO

O relevo da região é plano, com rede de drenagem apresentando baixa densidade. Os solos da região estão divididos em dois grupos, conforme a formação geológica: Na área da formação do calcário Jandaíra, predominam solos mais argilosos, como os Cambissolos háplicos, Chernossolos rênzicos e Nossolos litolíticos. Na área da formação do Grupo Barreiras, os solos são mais arenosos, predominando os Argissolos Vermelhos-amarelos, Latossolos Vermelhos-amarelos e Neossolos quartzarênicos. Os primeiros solos tem elevada fertilidade natural, com pH neutro a ligeiramente alcalino, mas com profundidade variando de rasa a profunda. Por outro lado, o segundo grupo de solos tem baixa fertilidade natural, ácido a ligeiramente ácidos, embora sejam solos profundos em quase sua totalidade.

O clima da região é semi-arido, com a evapotranspiração potencial cerca de três vezes a precipitação média (670 mm), mas esta com variação interanual entre 100 e 2000 mm. Os dados médios climáticos obtidos na cidade de Mossoró, RN estão apresentados na Figuras 2.





Chuva (mm)

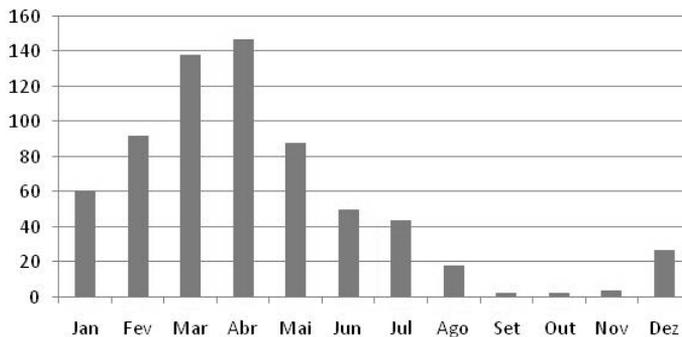


Figura 2. Médias mensais dos dados climáticos com 50% de probabilidade de ocorrência para a cidade de Mossoró, RN. Tmax, Tmin, Tmed, V2, ETo correspondem, respectivamente, a temperaturas máximas, mínimas e médias diárias, velocidade do vento a 2 m de altura e evapotranspiração de referência calculada por Penman-Monteith FAO.

DISPONIBILIDADE HÍDRICA NA REGIÃO DE MOSSORÓ-RN

A região é cortada pelo rio Apodi/Mossoró, que tem uma bacia hidrográfica de cerca de 5000 km², e tem entre outras barragens de grande porte, a barragem de Santa Cruz com capacidade de

600.000 m³. A 70 km, a leste e a oeste da cidade de Mossoró, tem os rios Piranhas/Assu e Jaguaribe, onde estão localizadas as maiores barragens no semi-árido nordestino fora do rio São Francisco: barragem Armando Ribeiro Gonçalves com 2,4 bilhões de m³ e o Castanhão com 6,0 bilhões de m³. Fora isso, a região é rica em água subterrânea: o aquífero do arenito Assu e o calcário Jandaíra.

O aquífero arenito Assu tem uma área de afloramento de 3000 km², embora a maior exploração de água esteja na região onde o arenito se encontra na profundidade entre 500 e 1000 m, cujo aquífero está confinado. O aquífero calcário é livre e a exploração da água se faz em poços com 10 a 150 m de profundidade, com nível dinâmico entre 5 e 60 m (Tabelas 1 e 2). Entretanto, a qualidade da água desse último aquífero é baixa (Tabelas 3).

No aquífero calcário atualmente tem em exploração na região de Mossoró para uso em irrigação cerca de 400 poços com vazão entre 50 e 100 m³/h, enquanto no aquífero arenito Assu, são cerca de 10 poços profundos com profundidade de 1000 m e vazão entre 80 e 200 m³/h.

Tabela 1. Nível dinâmico (m) dos poços utilizados para irrigação, ao longo do tempo, em Mossoró, RN, Brasil (Alencar, 2007).

Localidade	Época do ano			
	Jul/2005	Dez/2005	Jul/2006	Dez/2006
Gangorra	15,6 ± 9,6*	16,2 ± 10,3	15,4 ± 7,6	15,9 ± 9,7
Califórnia	10,5 ± 9,4	13,2 ± 9,9	9,9 ± 8,2	14,4 ± 10,0
Pau Branco	19,0 ± 6,1	20,4 ± 6,6	19,0 ± 6,5	21,0 ± 6,9
Posto Fiscal	16,6 ± 8,3	17,0 ± 6,7	16,8 ± 6,7	17,2 ± 7,6
Mata Fresca	8,4 ± 1,2	9,1 ± 1,4	7,5 ± 1,4	8,5 ± 1,0
Todas	14,2	15,2	13,7	15,4

* Desvio padrão das profundidades dos poços observadas em cada localidade.

Tabela 2. Nível dinâmico (m) dos poços utilizados para irrigação, ao longo do tempo, em Baraúna, RN, Brasil (Lisboa, 1999).

Localidade	Época	Nível dinâmico (m)	Época	Nível dinâmico (m)
Cidade de Baraúna	Out/1999	45	Jun/2000	32
Sumidouro	Out/1999	53	Jun/2000	28
Velame	Set/1999	36	Jun/2000	27
Boa água	Set/1999	50	Jun/2000	35

* Chuva entre jan e jun/2000 de 1000 mm

Tabela 3. Características médias das águas dos poços utilizados para irrigação, na região de Mossoró, RN, Brasil (Alencar, 2007).

Local.	Nº poços	CE dS/m	pH	RAS mmol/L	Íons (mmol _e /L)					
					Ca	Mg	K	Na	Cl	HCO ₃
Gangorra	4	4,0	6,9	4,3	20	8,1	0,2	16	37	5,3
Califórnia	7	3,3	7,1	3,2	16	6,5	0,1	11	29	5,3
Pau Branco	20	2,2	7,2	2,0	10	4,5	0,1	6	14	6,4
Posto Fiscal	7	1,8	7,1	1,7	9	3,6	0,1	4	10	5,9
Mata Fresca	5	1,8	7,0	1,7	9	3,4	0,1	4	8	4,5
Baraúna	7	1,3	6,9	1,0	8	2,6	0,1	2	5	6,1
Geral	50	2,6	7,0	2,3	12	4,7	0,1	7	17	5,6

CULTURAS EXPLORADAS

Na região tem instaladas grandes, médias e pequenas propriedades rurais. Nas grandes e médias propriedades, a grande parte da produção é destinada para o mercado externo, enquanto as pequenas propriedades produzem mais para o mercado interno. As culturas destinadas para exportação são o melão, mamão tipo formosa, melancia e abacaxi. Para o mercado interno, além dessas culturas tem-se a banana, coco, cebola, feijão-verde, milho-verde, abóbora, pimentão e tomate. Nas pequenas propriedades ainda se cultivam capim elefante e

mandioca. A área cultivada anualmente com melão é de cerca de 10.000 ha e de melancia cerca de 3.000 ha.

IRRIGAÇÃO NA REGIÃO DE MOSSORÓ

Os sistemas de irrigação predominantes utilizados na região de Mossoró são por gotejamento e, em pequena escala, por microaspersão, que são utilizados em alguns plantios de banana e de manga. Utiliza-se vazões de 20 a 25 m³/h/ha, com emissores de vazão entre 1,3 e 1,8 L/h espaçados de 1,8 a 2,0 m entre linhas e 0,3 a 0,5 m entre gotejadores. As irrigações são realizadas em alta frequência, fazendo-se 2 a 5 aplicações por dia, dependendo do tipo de solo e fase fenológica da cultura.

Para manter elevados os coeficientes de uniformidade de vazão dos emissores, aplica-se constantemente ácido nítrico através do sistema de fertirrigação, prática de todos os produtores utilizam. Grande parte dos produtores já aplica volume de água baseado na estimativa da evapotranspiração da cultura e necessidade de lixiviação.

Para evitar salinização dos solos, os produtores procuram a fazer apenas um ciclo de cultura anual por área, e aguardam que as chuvas que ocorrem entre os meses de janeiro e junho promovam lixiviação dos sais.

DESENVOLVIMENTO DE PESQUISA NA REGIÃO

Tem-se desenvolvido diversos trabalhos de pesquisa na região para estudar o efeito da irrigação com águas salinas no rendimento das culturas e na evapotranspiração das mesmas. Para o melão orange flesh verificou-se que a produção total e comercial diminuiu cerca de 10% e 9% por incremento unitário de salinidade acima dos rendimentos obtidos com a água de CE=0,6 dS/m (Figura 3), enquanto a evapotranspiração na fase de frutificação caiu em cerca de 20% (Figura 4). Para a cultura da melancia, verificou-se perdas de rendimento de 12% por incremento unitário da salinidade da água de irrigação acima de 0,6 dS/m (Figura 5), enquanto a abóbora burttternut americana apresentou perdas de 8% e 10%, respectivamente, para produção total e comercial (Figura 6).

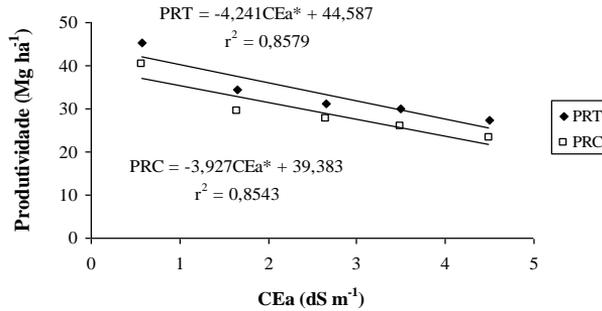


Figura 3. Rendimento total (PRT) e comercial (PRC) de melão Orange Flesh sob diferentes níveis de salinidade da água, usando irrigação localizada, cobertura de solo com plástico branco e o cultivo em solo Latossolo Vermelho-Amarelo (Figueiredo, 2008).

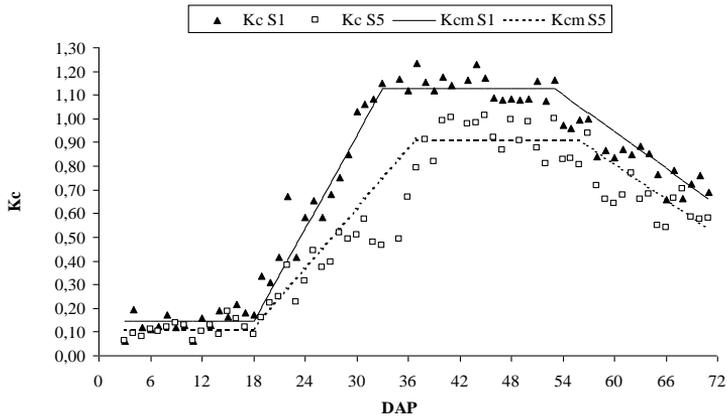


Figura 4. Curva do coeficiente de cultura do melão Orange Flesh sob irrigação com água de CE=0,6 (S1) e CE=4,0 dS/m (S5), quando cultivado sob irrigação por gotejamento, solo Latossolo Vermelho-Amarelo e com o uso de cobertura do solo com plástico branco (Figueirêdo, 2008).

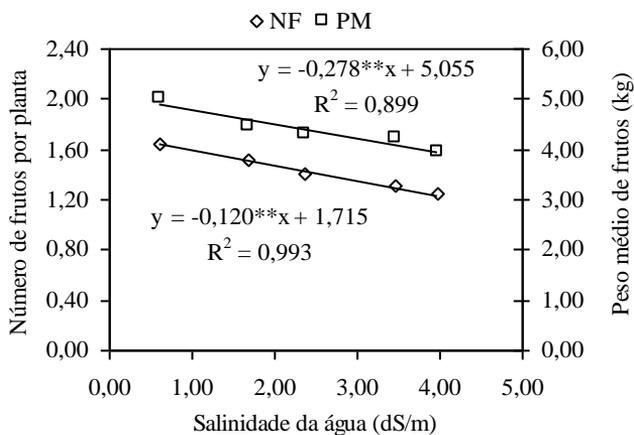
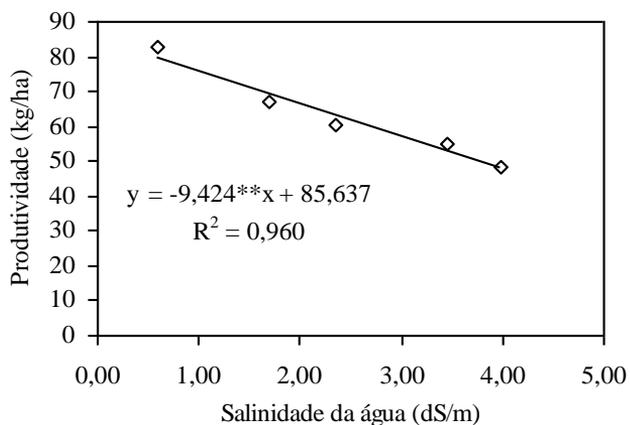


Figura 5. Rendimento de melancia e de seus componentes, cultivar Quetzale, quando irrigada com águas de diferentes níveis de salinidade, sob cobertura de solo com plástico branco e irrigada por gotejamento (Medeiros *et al.*, 2008).

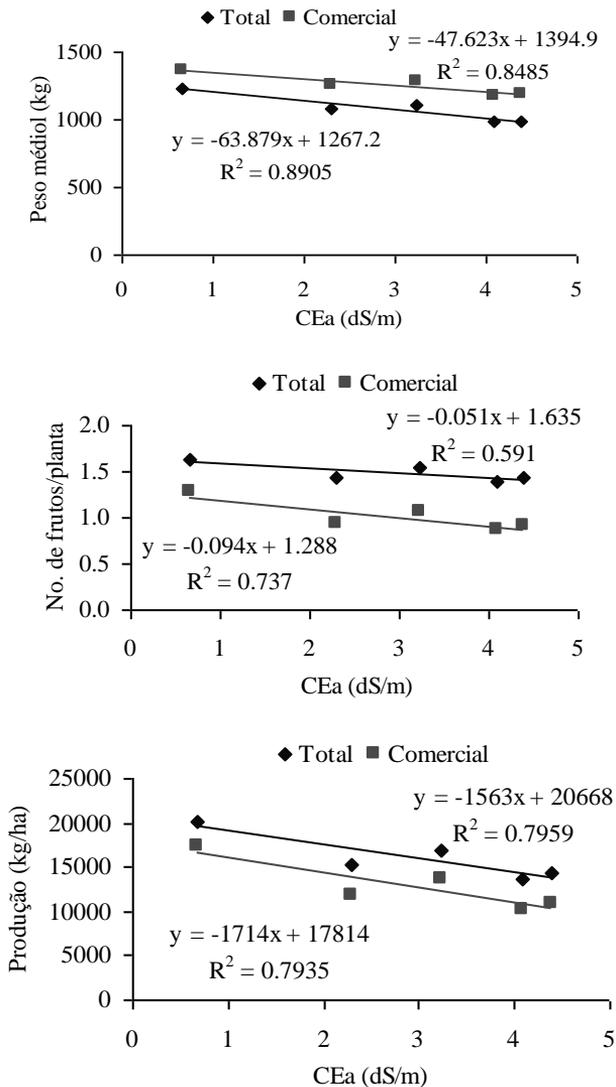


Figura 6. Rendimento de Abóbora butternut americana e de seus componentes, cultivar Atlas, quando irrigada com águas de diferentes níveis de salinidade, sob cobertura de solo com plástico branco e irrigada suplementamente por gotejamento (75 mm) no período de chuvas, cultivado logo após um cultivo de melancia irrigada com águas de mesma salinidade (Medeiros *et al.*, 2008).

REFERÊNCIAS

- Alencar, R.D. 2007. Monitoramento da qualidade da água de poços no calcário jandaíra e restrições na agricultura irrigada. Mossoró: UFERSA, Dissertação de Mestrado, 71 p.
- Figueirêdo, V.B. 2008. Evapotranspiração, crescimento e produção da melancia e melão irrigados com águas de diferentes salinidades. Botucatu: FCA/UNESP, Tese de Doutorado, 104 p.
- Lisboa, R.A. 2000. Qualidade da água e característica hidrodinâmica dos poços usados para irrigação na chapada do Apodi. Mossoró: ESAM, Monografia de Graduação, 51 p.
- Medeiros, J.F. de, Lisboa, R. de A. e Oliveira, M. 2003. Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, set/dez, 7 (3): 469-472.
- Medeiros, J.F.de, Carmo, G.A. do; Oliveira, F.R.A. de, Campos, M. de S., Freitas, D. e Grangeiro, L.C. 2008. Produção de abóbora "Butternut americana" irrigada com água de diferentes níveis de salinidade e fertirrigada com doses variadas de N. In.: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 18, São Mateus, Anais.Brasília: ABID, 2008. CD-ROM.
- Medeiros, J.F.de, Carmo, G.A. do, Lima, C.J., Miranda, N. de O., Gheyi, H.R., Oliveira, F.R. de, e Campos, M. de S. 2008. Yield of fertirrigated watermelon submitted to different water salinities and nitrogen doses. In.: International Conference of Agricultural Engineering, Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 37, Foz do Iguaçu. Anais.Jaboticabal: SBEA, 2008. CD-ROM.
- Oliveira, M., e Maia, C.E. 1998. Qualidade físico-química da água para a irrigação em diferentes aquíferos na área sedimentar do Estado do Rio Grande do Norte. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2 (1): 17-21.

IDENTIFICACION DE LOS PROBLEMAS QUE AFECTAN LA SOSTENIBILIDAD DE LA AGRICULTURA BAJO RIEGO EN EL VALLE DE PUNATA

Percepciones desde distintos grupos de interés

Silvia Encinas, Oscar Delgadillo, Iván del Callejo, Sonia Vásquez
Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA, Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia).

RESUMEN

En el valle de Punata, se identificaron los problemas que afectan la agricultura regada y su sostenibilidad desde la percepción de distintos grupos de interés. Las percepciones fueron agrupadas de acuerdo a los aspectos identificados en fases previas de la investigación. 1) Diseño y gestión de sistemas de riego para la agricultura sostenible, percibiéndose problemas en relación a la disponibilidad de agua superficial, manejo del agua y las eficiencias; 2) Aspectos socioeconómicos e institucionales, identificándose conflictos por el agua, problemas en la equidad entre usuarios, limitaciones tecnológicas en la producción agrícola, falta de mecanismos para aplicar leyes y normativas, problemas en el acceso al agua relacionados al género y grupos en desventaja, fortalezas y debilidades en organización y administración de los sistemas de riego y aspectos de políticas y planificación; finalmente, 3) Aspectos ambientales, percibiéndose problemas en torno a la variabilidad en las características de suelos, uso de agroquímicos y pesticidas y la calidad del agua. Una conclusión importante es que la sostenibilidad del riego implica diferentes dimensiones que obligan a ver el riego como un proceso técnico y como resultado de la acción e interacción humana fuertemente inmersa en procesos más amplios vinculados al mercado, instituciones y a la “cultura” existente sobre el agua.

ABSTRACT

In Punata valley, problems affecting irrigated agriculture and its sustainability were identified from the perception of different stakeholders. Perceptions were grouped according to themes

identified in previous research stages 1) Design and Management of Irrigation Systems for Sustainable Agriculture, in which perceived problems were related to availability of surface water, water management and efficiencies; 2) Socio-economic and institutional aspects, in which main issues were: water conflicts, problems of equity between users, technological constraints in agricultural production, lack of mechanisms to enforce laws and regulations, problems of water access related to gender and disadvantaged groups, strengths and weaknesses in organization and management of irrigation systems and problems related to policies and planning; finally, 3) Environmental aspects, in which main issues perceived were: variability in soil characteristics, use of agrochemicals and pesticides, and water quality. An important conclusion is that, sustainability of irrigation involves different dimensions that obligate to look at it as a technical process but also as a result of human action and interaction, strongly involved broader processes interlinked to markets, institutions and local culture related to water.

INTRODUCCIÓN

Con el afán de aportar al entendimiento de la sostenibilidad de la agricultura bajo riego en un contexto donde el agua para riego es una limitante importante, en torno al cual se organizan grupos de usuarios con acceso diferenciado al agua, que a su vez configuran la producción agrícola así como su orientación, se ha realizado un estudio de caso en el valle de Punata (Cochabamba, Bolivia).

En este documento, se presenta un resumen de los principales problemas que afectan la agricultura regada, y como es percibido por los diferentes grupos de interés. El estudio representa una muestra de las opiniones, percepciones y preocupaciones de aquellos grupos de interés y no como una verdad absoluta basado en métodos estadísticos. Las respuestas han sido tratadas cualitativamente agrupándolos de acuerdo a los aspectos identificados en etapas previas de la investigación. Para cada aspecto, las distintas respuestas han sido contrastadas, identificando las coincidencias y contradicciones entre ellos y complementando con otra información de fuentes secundarias.

Los temas discutidos muestran la naturaleza compleja de la agricultura regada, debido a las múltiples dimensiones involucradas (social, política, cultural y técnica). Esta complejidad no ha permitido ser conclusivo en términos de priorización de los problemas. Una razón es justamente las opiniones y visiones divergentes de los distintos grupos de interés con respecto a los problemas específicos o a los problemas en su conjunto sobre la agricultura regada en Punata.

CONTEXTO LOCAL

El estudio de caso se realizó en el valle de Punata, ubicado a 45 km de la ciudad de Cochabamba, circunscrita mayormente dentro de la jurisdicción del municipio de Punata (Figura 1). Tiene un clima templado y seco, con una precipitación anual de 290 mm y una temperatura media anual de 16 °C.

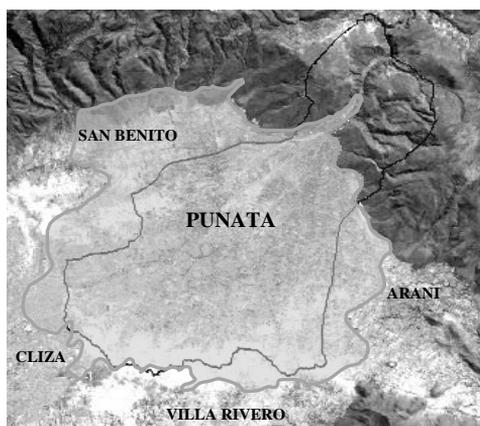


Figura 1: Zona de estudio dentro de la jurisdicción del municipio de Punata.

Este valle se constituye en una importante zona de producción agrícola con una larga tradición de riego, prueba de ello es la existencia de varios sistemas de riego que cubren alrededor de 4500 ha y son gestionados por varias organizaciones campesinas y (Tabla 1).

Tabla 1: Sistemas de riego

Fuente de Agua	Sistema	Uso del Agua
Represas	Totora Khocha Laguna Robada Lluska khocha	Riego
Aguas de Río	Mit'a Rol Pilayacu La Villa Pilayacu Pucara	Riego
Pozos Perforados	77 pozos de Riego 51 pozos de Agua Potable 7 pozos comerciales	Riego Agua Potable Uso Artesanal
Aguas Residuales	Sistema Aguas Residuales	Riego
Galería Filtrante	Pucara	Agua Potable

La sobreposición del área de servicio de los diferentes sistemas de riego ha resultado en un esquema de distribución muy complejo, tanto espacial como temporal. La principal actividad es la agricultura a pequeña escala, con un promedio de tenencia de tierra entre 1 a 1.5 ha. Una diversidad de vegetales, legumbres, maíz y algunas frutas en la parte norte y la producción de maíz y alfalfa en la parte sur, resultan en una diversidad de sistemas de producción.

PROBLEMAS PERCIBIDAS

Las problemáticas percibidas en torno al riego en el valle de Punata fueron agrupadas en tres grupos, los cuales se presentan a continuación

Diseño y gestión de sistemas de riego para la agricultura sostenible

Los sistemas de riego han sido construidos y gestionados por los mismos agricultores. La intervención más relevante fue la

construcción de tres represas, una toma principal y canales de conducción en el área de riego. Actualmente, la asociación de riego (ARSP) está promoviendo nuevos proyectos pequeños para el revestimiento de canales secundarios y terciarios.

En torno a la *disponibilidad de agua*, una opinión generalizada es que ésta no cubre las demandas de riego. Se percibe la reducción en la disponibilidad del agua superficial (río) asociada a la disminución (o cambio) en el régimen de lluvias, los asentamientos a lo largo del río y los robos de agua. En el caso de las represas, particularmente Totora Khocha, la pérdida de agua por problemas en los canales de aducción ha reducido la disponibilidad de agua para riego, en cambio en el área de riego, la disponibilidad es afectada por el robo de agua. Como una reacción a esta situación se ha incrementado la explotación de aguas subterráneas. Esto ha traído nuevas preocupaciones referidas a la interferencia entre sistemas y los costos de energía eléctrica.

Respecto a la *infraestructura de riego*, el principal problema para los representantes de las organizaciones de riego es la vulnerabilidad de los canales de aducción de los reservorios (por su longitud, lejanía y la dificultad en la operación y mantenimiento). Así también el transporte del agua a través del río, aunque esto parece también ser una ventaja para la recarga del agua subterránea. Asimismo, otro punto problemático son las pérdidas de agua y perjuicios en la distribución dentro de la zona urbana, ocasionados por la basura. Esto, según el asesor técnico de la ARSP y técnicos que trabajaron en el área. Los usuarios consideran muy importante el revestimiento de canales para reducir las pérdidas de agua sobre todo en aquellos que se usan para transportar agua de fuentes con caudal reducido (pozos).

En cuanto al *manejo del agua y las eficiencias*, en general, los usuarios no perciben problemas en la gestión del agua, porque consideran que ésta es bastante conocida, controlada y seguida por todos. Las eficiencias de riego tienen alta variabilidad en los diferentes sistemas, aunque no han sido claramente establecidas. Las eficiencias de aducción de las represas Totora Khocha y Lluska Khocha son bajas, debido a problemas en la infraestructura y la gestión. La eficiencia de conducción desde estos reservorios hasta la toma principal son 89% y 45 % respectivamente y de 58%

para Laguna Robada, valores que son afectados por problemas en la infraestructura y el robo de agua. A nivel de parcela, la eficiencia de aplicación ha sido poco estudiada, aunque hay evidencias de las diferentes prácticas desarrolladas por los agricultores para adecuar métodos de riego a las características de gestión de agua de los diferentes sistemas, así como sus requerimientos a la disponibilidad de agua. Finalmente, como una parte de la eficiencia del uso del agua y problemas de gestión, es necesario considerar el re-uso de agua, que es una práctica que se realiza principalmente en zonas periféricas, donde las aguas residuales de la planta de tratamiento de Punata están siendo utilizadas por varias comunidades.

Aspectos socioeconómicos e institucionales

Los *conflictos por el agua*, algunos visibles y otros no, son percibidos desde diferentes perspectivas, de acuerdo al grado de afectación que cada sector sufre. Así, la tensión entre regantes y no regantes es percibido como el principal conflicto debido a la presión de los últimos por ser incluidos en nuevos proyectos de riego. Por su parte, los regantes ven como situaciones de conflicto la explotación de agregados debido a que son afectados con pérdidas en la conducción del agua. La interferencia entre sistemas de agua potable y los sistemas de riego (Mitha y Pilayacu), podría causar confrontaciones entre la población urbana y rural de Punata. Otro potencial conflicto percibido por los sectores es la sobreexplotación del agua subterránea, no obstante la existencia de una disposición municipal que regula la distancia mínima para la perforación de pozos. Sin embargo, la situación conflictiva más importante, percibida, es la localización de las fuentes de agua (represas) en jurisdicciones de otros municipios y comunidades, causando tensión entre las organizaciones de riego de Punata y Tiraque – Colomi y entre las respectivas comunidades de altura y del valle.

El problema de la *equidad entre usuarios* tiene diferentes dimensiones relacionadas principalmente al acceso al agua, pero también en términos de todos los beneficios que éstos pueden recibir de sus organizaciones y del Estado, significando acceso a información, a nuevos proyectos, pero también a espacios de toma

de decisiones. Los problemas más relevantes de equidad se presentan en el acceso al agua (principalmente el sector agrícola sin riego), no obstante dentro de cada sistema de riego, hay una visión generalizada de que existen buenos mecanismos que tienden a garantizar la equidad, así, todos los usuarios reconocen como una regla justa que “quienes tienen más agua tienen que trabajar y pagar más cuotas”.

La *agricultura y ganadería* son consideradas entre las actividades más importantes en Punata, aunque no son la principal fuente de ingresos, representan una parte importante de las estrategias de vida en el área rural, teniendo como principal limitación la “escasez de agua”, por ello los agricultores buscan proyectos para mejorar la disponibilidad de agua, y buscan también implementar nuevas tecnologías de producción para hacer un mejor uso del agua actualmente disponible. Otros factores percibidos por los entrevistados, son: crecimiento de la urbanización, minifundio, manejo agronómico de los cultivos nuevos; escasez de semillas, cambio climático, fluctuación en el precio de los productos, costos de producción, enfermedades de las plantas, disponibilidad de mano de obra, falta de asistencia técnica práctica y, finalmente, un aspecto muy importante identificado por los agricultores como limitante es la comercialización, ya que cultivos como hortalizas y frutas son vendidos a intermediarios, incluso en parcela, poniéndoles en desventaja a la hora de negociar.

Con relación a los *aspectos legales y normativos*, la falta de mecanismos para que algunas normas importantes para la zona se pongan en práctica es uno de los principales problemas identificados por los diferentes sectores. Así, con la Ley de Riego, problemas entre Tiraque y Punata no permiten los registros de derechos de agua; con la Ordenanza municipal para la explotación de aguas subterráneas, no hay una instancia técnica municipal; y con la Ley para la explotación de material del río (grava, arena, etc.), no tiene reglamentación por tanto no se la puede aplicar.

En el tema de *género y grupos en desventaja*, desde la perspectiva de los agricultores, hombres y mujeres tienen los mismos derechos para acceder al agua, pero hay situaciones en las que viudas están en desventaja por la falta de disponibilidad de mano de obra familiar. Resalta que en años recientes ha

aumentado la participación de mujeres en posiciones directivas y administrativas de las organizaciones (ejemplo cajeras), aunque debido a la carga de trabajo en sus hogares, prefieren no participar en cargos donde se toman decisiones. Otro grupo en desventaja son los llamados “Sin Riego”, quienes han realizado varias acciones para acceder al agua de una represa, sin resultado.

Respecto a la *organización y administración* de los sistemas de riego, existen diferentes percepciones, así se percibe la fortaleza de las organizaciones locales para la gestión de los sistemas hídricos (percepciones de los administradores) pues la mayoría de las reglas, acuerdos y normas locales son cumplidos por los usuarios de agua, pero también diferentes sectores ven el debilitamiento de la organización sindical debido a que no hay renovación de dirigentes, lo que podría ocasionar un debilitamiento de los mecanismos de transparencia. Otros aspectos que debilitan la organización sindical son principalmente la escasez de agua, intereses políticos, dificultades de acceder a los beneficios dados por las organizaciones, poca experiencia en las organizaciones para fortalecer nuevas iniciativas diferentes del riego, tensiones crecientes entre regantes y los denominados sin riego.

Finalmente, referente a las *políticas y planificación*, desde el punto de vista de las autoridades políticas, las políticas y planes son vistos como un asunto muy complejo, debido a las distintas percepciones y necesidades que diferentes sectores tienen, pues ven las dificultades para alcanzar acuerdos en procesos de planificación conjunta, adicionándose a esto una inestabilidad institucional reconocida en diferentes niveles (locales, regionales y nacionales), así como las preferencias o inclinaciones políticas que cada sector tiene. Una opinión generalizada, desde el punto de vista de los usuarios de agua, es que planes y políticas son vistas simplemente como la ejecución de proyectos específicos y de respuesta a demandas inmediatas. Se resalta también la falta de coordinación entre los niveles de gobierno (local departamental y nacional) y entre las mismas organizaciones sociales en la zona.

Aspectos ambientales

Las características del *suelo* en Punata son muy variables, la parte norte con una agricultura intensiva, presenta suelos poco profundos, bien drenados y con requerimientos relativamente altos de fertilización e intervalos de riego cortos (3-7 días). En cambio, la parte sur con una agricultura semitemporal presenta suelos profundos, con fertilidad moderada y una alta capacidad de retención de agua. Precisamente en esta zona, el efecto de la excesiva explotación de aguas subterráneas está causando el hundimiento del suelo (“Okhoris”). La otra parte (al sur oeste), que es plana y la parte más baja del valle, presenta salinidad y problemas de drenaje.

En cuanto al uso de *agroquímicos y pesticidas*, la parte norte está expuesta a niveles de agroquímicos relativamente altos. Hortalizas como cebollas y zanahorias son cultivadas con fertilizantes, que de acuerdo a los agricultores provoca cambios en la estructura del suelo como la compactación y reducción de la infiltración. Las opiniones técnicas con respecto a esto, argumentan que más que el uso de fertilizantes, el uso intensivo de maquinaria e implementos en la preparación de la tierra provocan tales procesos. Asimismo, el uso de pesticidas es muy común para la mayoría de los cultivos (cebollas, zanahorias, papas, flores, tomates, habas, y otros), así como la falta de asistencia técnica, control y medias de protección en su realización.

Finalmente, con relación a la *calidad de agua*, en general, las diferentes fuentes de agua superficiales y subterráneas usadas para riego tienen una buena calidad. Los problemas son relacionados a la contaminación de agua por diferentes actividades: contaminación causada por gente que lava cuero o lana en el río, cerca de la toma principal durante el periodo de riego con las represas, aunque el tipo de contaminación aun no ha sido estudiada. En la zona sur, el principal problema son los desechos sólidos (basura) del área urbana y el uso de aguas residuales proveniente de una planta de tratamiento que no trabaja apropiadamente.

CONCLUSIONES

El grado de involucramiento y la experiencia organizacional de los usuarios de agua en Punata, vinculado al conocimiento de su entorno local y de las “reglas de juego” sobre la gestión local del agua, se constituyen en importantes factores que favorecen la sostenibilidad de los sistemas de riego en la zona. Asimismo, esta capacidad organizativa constituye una importante fortaleza para poder encarar procesos de planificación o de implementación de proyectos hacia el desarrollo de los recursos hídricos en la cuenca Pucara, aunque la disponibilidad y acceso a información que ayude a la toma de decisiones y de planificación en el largo plazo, así como el nuevo contexto institucional, las dinámicas políticas y socioeconómicas (local y nacional), son limitantes y plantean nuevos retos a las organizaciones de agua en Punata.

El caso estudiado demuestra que la sostenibilidad del riego implica diferentes dimensiones y que éstas al ser inseparables, nos obligan ver al riego no sólo como un proceso técnico sino como el resultado de acción e interacción humana fuertemente inmersa en procesos más amplios vinculados al mercado, a las instituciones y a la “cultura” existente sobre el agua.

CASO DE ESTUDIO: EL VALLE DE PEUMO, CHILE

José Luis Arumí, Eduardo Holzapfel, Diego Rivera
Departamento de Recursos Hídricos, Universidad de Concepción

RESUMEN

Existe la necesidad de desarrollar investigación y desarrollo tecnológico que permita ayudar a la agricultura del Valle Central de Chile a enfrentar los desafíos asociados a usar de forma eficiente y sustentable recursos limitados como son el agua, el suelo y la energía. El Valle de Peumo, ubicado en la Región de O'Higgins tiene características que lo hacen representativo del Valle Central de Chile. Por ello, se realizó un levantamiento de información que permitió identificar los actores relevantes del Valle: canalistas, grandes empresas agrícolas y asociaciones de agricultores; quienes utilizan el agua principalmente a través de una red de canales distribuida en todo el valle. Mediante una encuesta se recopiló información sobre el uso del agua y suelo, encontrándose que el 56% de la superficie del valle es regada usando microirrigación. La actividad agrícola está estrechamente relacionada con el agua, por lo que es necesario profundizar la investigación que permita desarrollar una mejor tecnología de riego y entender la relación entre la agricultura y el régimen hídrico del valle.

ABSTRACT

There is a need of develop technological research that will help to the agriculture of the Central Valley of Chile to face a series of challenges associated to the efficient and sustainable use of limited resources like water, soil and energy. Peumo's Valley, located in O'Higgins's Region, has characteristics that make it representative of the Central Valley of Chile. Information was collected to identify the relevant stakeholders of the Valley: Canalistas, big agricultural companies and farmers' associations; those who use the water principally through a network of channels distributed in the whole valley. By means of a survey there was compiled information about the use of the water and soil, finding

that 56% of the surface of the valley is irrigated using microirrigation systems. The agricultural activity is closely related to the water, for what it is necessary to advance in research that allows the development of better irrigation technology and to improve the understanding of the relation between the irrigation and the hydrology of the valley.

INTRODUCCIÓN

En el Valle Central de Chile la agricultura enfrenta al desafío de utilizar en forma más eficiente los recursos agua y energía, pues compite por estos recursos con otros sectores de la economía como son la minería y la hidroelectricidad. Además de lo anterior, la agricultura Chilena está principalmente orientada a generar productos de alta calidad que deben cumplir con los estándares exigidos por los mercados receptores, tanto en lo referente al producto en sí como a la protección del medio ambiente (Oyarzún, *et al.*, 2008). Por ello, es necesario desarrollar nuevos criterios para el diseño y manejo de sistemas de riego que consideren el uso eficiente de los recursos agua, suelo y energía, dentro de un marco sustentable.

El Valle de Peumo presenta características particulares que son muy atractivas para el desarrollo de investigación: i) Hidrológicamente posee condiciones de borde muy bien definidos; ii) Posee un sistema productivo de alto nivel tecnológico; y iii) Existen actores dispuestos a apoyar y participar en proyectos de investigación.

Este trabajo consistió en el levantamiento de información relevante del Valle de Peumo, que permite identificar necesidades de investigación para el manejo agrícola de una zona representativa del Valle Central de Chile.

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO

El Valle de Peumo se ubica en la Zona Central de Chile, en la Latitud 34° S a aproximadamente 100 kilómetros al sur de Santiago, en la parte baja del río Cachapoal (con una cuenca de aproximadamente 6500 km²). El valle está formado por rellenos aluviales que forman un corredor estrecho entre cordones de

montañas de la Cordillera de la Costa (Figura 1). El Valle concentra una importante actividad agrícola, orientada al mercado nacional y de exportación. Los cultivos corresponden principalmente a cítricos, paltos, vides y una industria vitivinícola que produce vinos de alta calidad.

Las precipitaciones se concentran durante los meses de invierno (mayo a agosto) con un promedio anual de 640 mm. Por otra parte, la evapotranspiración potencial anual es de 1200 mm, con máximos en los meses de diciembre, enero y febrero, que no presentan lluvias (Orrego, 2003). Por ello, para satisfacer la demanda hídrica de los cultivos, se ha construido una red de canales en el pie de monte y en el valle que transporta agua captada del río Cachapoal y que es distribuida por todo el valle.

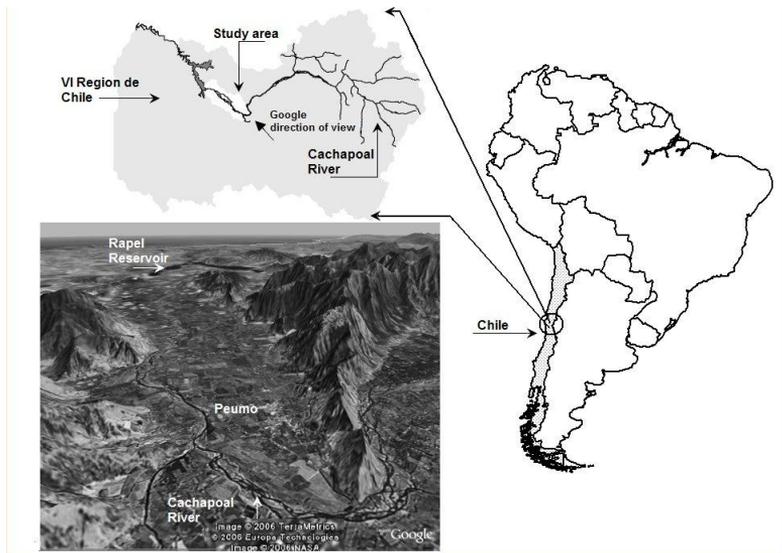


Figura 1: Valle de Peumo, en la zona Central de Chile

ACTORES RELEVANTES

Debido a que la actividad predominante en el valle es la agricultura, los principales actores a nivel del valle son los productores agrícolas, principalmente las grandes empresas (Concha y Toro y Sufroco-La Rosa); los grandes y medianos

agricultores y la cooperativa de pequeños productores llamada Copepeumo. Además juegan un papel importante los municipios de Peumo, las Cabras y Pichidegua.

En el caso del Valle de Peumo, existen 10 canales de riego que extraen agua desde el río Cachapoal (Figura 2) y la administración del cauce recae en la Junta de Vigilancia de la Tercera sección del Río Cachapoal (Orrego, 2003). En el Valle de Peumo no existen conflictos importantes por la distribución de las aguas de riego, debido principalmente a que existe una adecuada disponibilidad. Los conflictos existentes se centran principalmente en el uso del cauce para la extracción de áridos, construcción de defensas fluviales y algunos conflictos emergentes relacionados con aspectos ambientales, como la descarga de residuos y la oposición de la comunidad a la construcción de una planta de energía termoeléctrica.

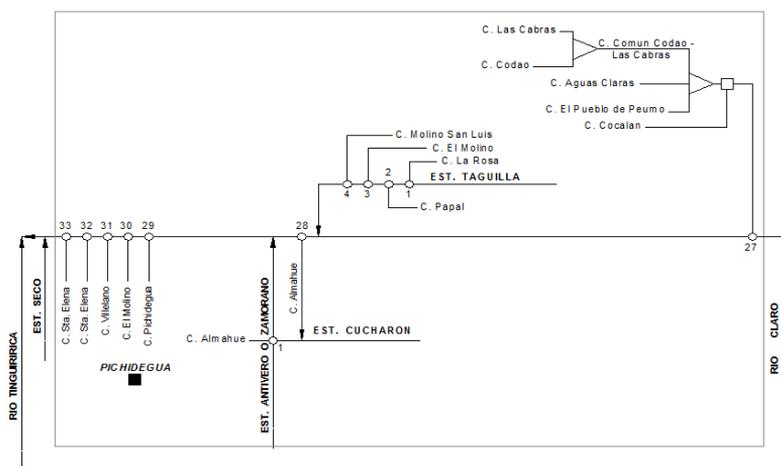


Figura 2: Distribución del agua de riego en el Valle de Peumo (Araneda, 2004).

CARACTERIZACIÓN DEL USO DEL AGUA

Con el propósito general de caracterizar, clarificar y complementar la información existente de la situación actual del área de estudio, se aplicó un formulario de encuesta (Araneda,

2004), donde se obtuvo información relevante de la actividad agrícola, entre las cuales se cuenta: distribución de la superficie, superficie total de riego, características de riego, financiamiento, entre otros.

El proceso de aplicación de la encuesta se realizó durante los meses de Octubre y Diciembre del año 2007. La encuesta se aplicó en las comunas de Peumo, Las Cabras y Pichidegua. El total de encuestas aplicadas fue de 37, las que se distribuyeron, según el tamaño de la propiedad de la siguiente manera: i) 31 encuestas a pequeños productores (1 a 20 ha); ii) 3 encuestas a medianos productores (100 a 200 ha) y iii) 3 encuestas a grandes empresas sobre 800 hectáreas.

La zona en estudio presenta en general una gran variedad de frutales y cultivos anuales. En la figura 3 se muestra la distribución de la superficie de frutales y cultivos, en tres niveles de estratos de tamaño predial. El área estudiada presenta un 97,6% de la superficie con frutales, 2,42% cultivos anuales y el resto de la superficie con praderas. En los tres niveles de estratos de tamaño predial, la distribución de las variedades de frutales y cultivos, muestra una marcada presencia de viñas, las que representan el 41,1% de la superficie cultivada, seguido de naranjos (20,3%) y paltos (12,3%). En los predios de superficie entre 800 a 2600 hectáreas, predominan viñas y naranjos, que representan el 66% de la superficie cultivada en este estrato de tamaño predial. Los predios de superficie entre 100 a 200 hectáreas presentan un 37% de su superficie total con naranjos, seguido de paltos con un 34,2% y finalmente nectarinos con un 11,3%. Finalmente, en los predios de superficie entre 1 a 20 hectáreas, presentan un 33,6% de su superficie total cultivada con paltos, maíz con un 21,9% y naranjos con un 19,7%.

Los resultados permiten establecer que en el área de estudio más de la mitad de la superficie actualmente bajo riego, corresponde a microriego (56%), principalmente goteo y microaspersión (Fig. 4). Cabe destacar que la mayor superficie es aportada por los predios mayores a 800 hectáreas. El sistema de riego gravitacional, del cual principalmente corresponde a riego por surcos, abarca el 43.3% de la superficie total bajo riego. En cuanto al sistema de riego por goteo, este abarca un 43.6%. En la

figura 3 se muestra la distribución de los métodos de riego, para tres niveles de estratos de tamaño predial.

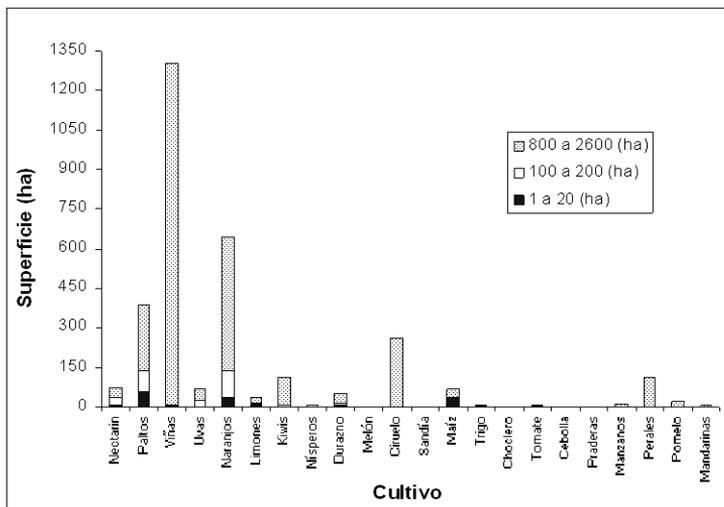


Figura 3. Distribución de la superficie de frutales y cultivos, para los tres niveles de estratos de tamaño predial considerados (Araneda, 2004).

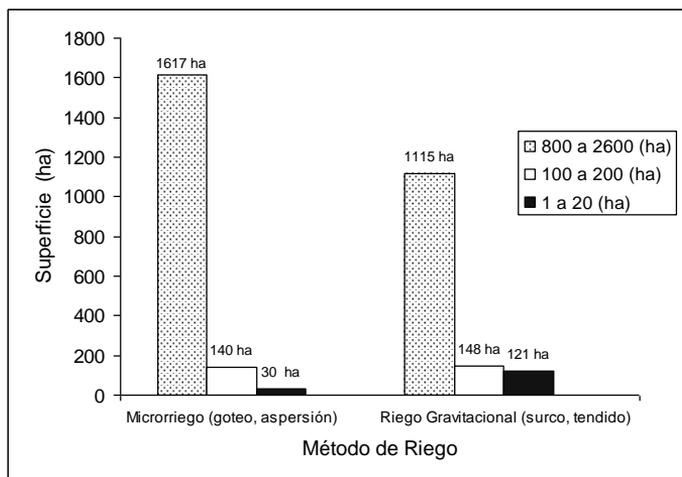


Figura 4. Distribución de los métodos de riego, en tres niveles de tamaño de superficie de predios (Araneda, 2004).

Teniendo en cuenta que la mayor demanda hídrica es en el período estival, en donde se debe suministrar la cantidad de agua necesaria para suplir la evapotranspiración, el 45,2% de los predios con superficie menor a 20 hectáreas y más del 50% de los predios de superficie mayor a 100 hectáreas, posee una menor disponibilidad de agua en el mes de enero. Esto puede asociarse a una mala distribución del agua, posibles filtraciones de los canales y/o una mala conducción entre otras. Por otro lado, la mayor disponibilidad del recurso se concentra entre los meses de octubre y diciembre entre los tres niveles de estratos de tamaño predial.

En el caso de los predios encuestados de superficie entre 1 a 20 hectáreas, más del 65% de ellos no poseen ningún tipo de pozo para la obtención de agua, y de aquellos que poseen un pozo, todos utilizan pozo noria. En los predios de superficie mayor a 100 hectáreas, se encontró que todos poseían un pozo profundo en el predio.

Los equipos de bombeo para riego, son generalmente utilizados en sistemas de riego localizado, principalmente en frutales para mejorar la productividad, homogeneidad y calidad de la producción, ya que al mejoran significativamente la eficiencia en el uso del agua, la uniformidad del riego y las condiciones de humedad del suelo.

En los predios de superficie entre 1 a 20 hectáreas, el 48,4% posee una unidad de bombeo, y todos los predios de superficie mayor a 100 hectáreas, poseen al menos una unidad de bombeo, siendo la única fuente de energía utilizada la electricidad.

La red de canales en el valle de Peumo tiene una fuerte influencia en el sistema hidrológico, definiendo los patrones espaciales y temporales de recarga (Rivera, *et al.*, 2005; Rivera, *et al.*, 2007). En efecto, una vez que se abren las compuertas en las captaciones, se produce un ascenso sostenido de los niveles freáticos debido a la infiltración desde los canales, contribuyendo al 50% de la recarga al sistema de aguas subterráneas (Asumí, *et al.*, 2009). Una vez que se ha establecido un nuevo equilibrio, la profundidad del nivel freático se mantiene constante bajo la influencia conjunta de la red de canales y los sistemas de riego. Esta interacción entre los sistemas de aguas superficiales, de riego y subterráneas afecta, y de cierta manera determina, las

condiciones de manejo de la agricultura dentro del valle y la planificación del riego (Rivera, *et al.*, 2007).

No se ha encontrado evidencia de contaminación por nutrientes de origen agrícola en el Valle, sin embargo existe una importante contaminación microbiológica, principalmente materia fecal, en las aguas de riego (Arumí *et. al.*, 2005, Arumí *et. al.*, 2006). Esto, unido a la existencia de sólidos en suspensión son problemas serios que afectan la producción agrícola en el Valle (Rivera *et. al.*, 2005).

CONCLUSIONES

La actividad agrícola está estrechamente relacionada con los recursos hídricos del Valle de Peumo, por lo que existe una gran sensibilidad sobre el efecto que diferentes decisiones puedan tener en la disponibilidad y calidad del agua en el valle.

Es importante profundizar la investigación para entender plenamente el efecto del riego en el balance hídrico superficial y subterráneo del valle, y los mecanismos de transporte de contaminantes de origen agropecuario.

REFERENCIAS

Araneda L. E. 2004. Diagnóstico del uso de agua y suelo, en el sector Peumo-Las Cabras, Provincia de Cachapoal, VI Región, usando un Sistema de Información Geográfica. Memoria de Título, Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad de Concepción.

Arumí J.L., Oyarzún, R. and Sandoval M. 2005. Natural protection against groundwater pollution by nitrates in the Central Valley of Chile. *Hydrological Sciences Journal*, 50 (2): 331-340.

Arumí, J.L., Orrego, X., Rivera, D., Holzapfel, E., Rodríguez, M.A. y Matta, M. 2006. Evaluación de la lixiviación de nitratos en huertos de frutales. VIII Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea. Asunción, Paraguay.

Arumí, J.L., Rivera, D., Holzapfel, E., Boochs, P., Billib, M. and Fernald, A. 2009. Effect of irrigation canal network on surface and groundwater connections in the lower valley of the Cachapoal River. Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 69 (1), en prensa.

Orrego, X. 2003. Caracterización hidrológica del valle del río Cachapoal sector Peumo-Las Cabras usando un sistema de información geográfica. Memoria de Título, Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad de Concepción.

Oyarzun, R., Arumí, J.L., Alvarez, P. and Rivera, D. 2008. Water use in the Chilean agriculture: current situation and areas for research development. In: Columbus, F. (Chief Editor) *Agricultural Water Management Research Trends*. Nova Science Publishers, Inc. Hauppauge, NY 11788. ISBN: 978-1-60456-159-3

Rivera, D., Asumí, J.L. y Holzapfel, E. 2005. Marco teórico y sistemas de monitoreo para la evaluación del impacto de la actividad agrícola en el valle de Peumo, Chile. *Revista Gestión Ambiental*, 11: 59-80.

Rivera, D., Asumí, J.L. y Holzapfel, E. 2007. Efecto de la red de canales y sistemas de riego en la hidrología del valle de Peumo, Chile. *Revista Ingeniería Hidráulica en México*, 12 (4): 115-119.



SIXTH FRAMEWORK PROGRAMME
PRIORITY [INCO-2004-A.2.3]

[Managing arid and semi-arid ecosystems]

FONCYT
FONDO PARA LA INVESTIGACION
CIENTIFICA Y TECNOLOGICA



AGENCIA
NACIONAL DE PROMOCION
CIENTIFICA Y TECNOLOGICA



Facultad de Ciencias
VETERINARIAS
Universidad de Buenos Aires

INSTITUCIONES PARTICIPANTES

- Leibniz University of Hannover, Hannover, Germany (LUH)
- Universidad de Concepción, Chillán, Chile (UDECC)
- Universidad de Córdoba and IAS-CSIC, Córdoba, Spain (UCO)
- Szent István University of Gödöllő, Gödöllő, Hungary (SIUG)
- Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina (UBA)
- Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia (UMSS)
- Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, Brazil (UFRB)
- Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Áridas, Mendoza, Argentina (IADIZA)
- Universidade Federal da Campina Grande, Campina Grande, Brazil (UFCG)

KASWARM

Knowledge Assessment on Sustainable Water Management for Irrigation

Contribución al conocimiento del manejo sostenible de recursos hídricos para riego