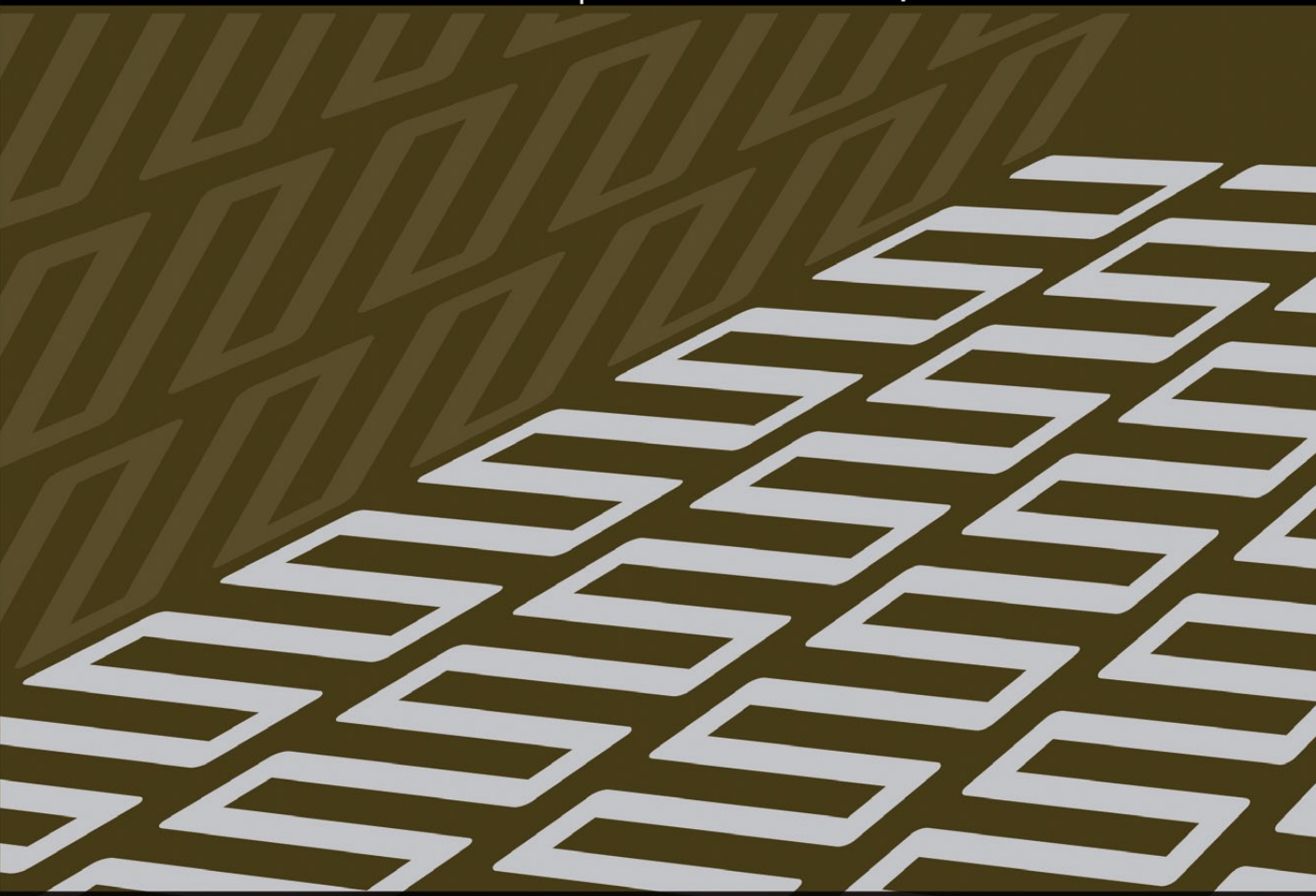




Taller Internacional:

# Modernización de Riegos y Uso de Tecnologías de Información

Síntesis de Resultados | La Paz - Bolivia / Septiembre 2007



Argentina  
Bolivia  
Brasil

Chile  
Paraguay  
Uruguay







**Taller Internacional:**  
**Modernización de Riegos y**  
**Uso de Tecnologías de Información**  
**Síntesis de Resultados**

La Paz - Bolivia / Septiembre 2007

---

**Editores:**

**Emilio Ruz, PhD**  
PROCISUR / IICA

**Luis Santos Pereira, PhD**  
CYTED



Argentina  
Bolivia  
Brasil

Chile  
Paraguay  
Uruguay



Esta publicación también está disponible en formato electrónico (PDF) en el sitio Web institucional en <http://www.procisur.org.uy>

Coordinación editorial: Emilio Ruz, Luis Santos Pereira  
Corrección de estilo: Rosanna Leggiadro  
Diseño de portada y diagramado: Esteban Grille  
Impresión: Imprenta Boscana

Taller Internacional: Modernización de riegos y uso de tecnologías de información: síntesis de resultados / ed. por Emilio Ruz, Luis Santos Pereira – Montevideo: PROCISUR/IICA, 2008.

124 p.; 18.7 x 26.5 cm

ISBN13: 978-92-9039-881-3

1. Riego 2. Tecnología de la información 3. Cooperación Internacional I. PROCISUR/IICA II. Título

AGRIS  
F06

DEWEY  
631.7

Montevideo, Uruguay - 2008

## Presentación

El Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur – PROCISUR, ([www.procisur.org.uy](http://www.procisur.org.uy)) creado en 1980 con el apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo–BID, constituye un esfuerzo conjunto de los Institutos Nacionales de Investigación Agropecuaria – INIAs de Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Paraguay, Uruguay y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura – IICA.

Desde el año 2005 PROCISUR viene impulsando la cooperación en tecnología de riego en el Cono Sur a través de la creación de una Red de Riego conformada sobre la base de los Institutos Nacionales de Investigación y el IICA. Al mismo tiempo se dio inicio a una efectiva colaboración sinérgica con la red de riegos de CYTED ([www.cytred.org](http://www.cytred.org), <http://ceer.isa.utl.pt/cytred/>). De esta forma no solo se promueve una colaboración entre los países del cono sur, sino que se amplía a otras regiones del mundo, aprovechando así la experiencia e información tecnológica disponible y colocándola al alcance de nuestras organizaciones públicas, privadas y académicas.

La cooperación técnica en riego tiene especial relevancia en los países del Cono Sur, especialmente porque de sus áreas actualmente regadas (aproximadamente 7 millones de hectáreas) la agricultura genera una alta producción, muy diversificada, que contribuye a un significativo aporte a la economía de los países y a la creación directa e indirecta de importantes fuentes de trabajo.

Sobre la base del espíritu de cooperación, las redes de Riego de CYTED y PROCISUR en un esfuerzo conjunto realizaron en el año 2007 un Taller Internacional sobre “Modernización de Riegos y Uso de Tecnologías de Información” en la ciudad de la Paz – Bolivia; contando con el auspicio y colaboración del Ministerio de Desarrollo Rural y Medio Ambiente, el Ministerio de Aguas, la Universidad Mayor de San Andrés y la Representación de IICA en Bolivia. El taller contó con la participación de especialistas en riego provenientes de 12 países, que presentaron en conjunto 30 trabajos y se contó con una audiencia de más de 100 persona vinculadas al tema de riego en Bolivia.

Con el objeto de reunir en un solo documento los principales resultados del taller se ha preparado esta publicación con los resúmenes de cada trabajo, los cuales se agruparon en cuatro grandes temas con una introducción general para cada uno de ellos elaboradas por, *René Chipana, Alfonso Ulloa, Milka Castro, Reimar Carlesso y Luis S. Pereira* respectivamente, a quienes brindamos un especial agradecimiento. Los temas abordados en este documento son: a) Necesidades de agua y programación de los riegos: avances basados en nuevas tecnologías de la información, b) Puesta en valor de los riegos ancestrales, c) Ahorro y conservación del agua en la finca: técnicas de riego y modelos de simulación y d) Gestión y modernización de redes de riego.

Esperamos que esta publicación sea de utilidad para la región, y que los aportes tecnológicos entregados desde distintas perspectivas, contribuyan a mejorar la eficiencia actual de uso del agua y así obtener mayores beneficios de esta notable inversión en obras de riego y tecnología que han realizado los estados y los agricultores de nuestros países.

**Emilio Ruz**  
Secretario Ejecutivo  
PROCISUR

**Luis Santos Pereira**  
Coordinador Red de Riegos  
CYTED





# Contenido

## Tema 1: Necesidades de agua y programación de los riegos: avances basados en nuevas tecnologías de la información

<b>1 Necesidades de agua y programación de los riegos: avances basados en nuevas tecnologías de la información. Introducción por René Chipana Rivera y Alfonso Osorio Ulloa</b> .....	9
<b>1.1 Necesidades de agua e programação da rega: modelação, avanços y tendências, L.S. Pereira, Portugal</b> .....	14
<b>1.2 Determinación del consumo de agua del duraznero por lisimetría, L. Puppo, M. García, Uruguay</b> .....	17
<b>1.3 Utilización de las medidas de las variaciones del diámetro del tronco para la programación del riego en melocotonero temprano, A. Torrecillas, W. Conejero, M.F. Ortuño, Y. García-Orellana, E. Nicolás, J.J. Alarcón, España</b> .....	20
<b>1.4 Coeficientes de cultivo de la cebolla y su determinación con el modelo ISAREG, Y. Chaterlan, C. Duarte, M. León, L.S. Pereira, P.R. Teodoro, R.R. García, Cuba y Portugal</b> .....	23
<b>1.5 Simulação das necessidades de água das culturas pela metodologia dos coeficientes culturais duais. Modelo SIMDualKc, P. Godinho, B. Sequeira, P. Paredes, L.S. Pereira, Portugal</b> .....	26
<b>1.6 Experiencias científicas para optimizar el riego de los cultivos en zonas semiáridas, F. Moreno, M.J. Martín-Palomo, I.F. Girón, J.E. Fernández, J.M. Murillo, F. Cabrera, España</b> .....	29
<b>1.7 Respuesta del duraznero a diferentes patrones de aplicación del agua, P. Morales, M. García, R. Hayashi, L. Puppo, Uruguay</b> .....	32
<b>1.8 Manejo del riego en duraznero cv. Dixiland basado en la evapotranspiración máxima del cultivo, C. García, R. Docampo, S. Casanova, M. Moura, Uruguay</b> .....	35
<b>1.9 Estado da arte da irrigação em tomateiro para processamento no Brasil, H.R. da Silva, W. A. Marouelli, W. L. de Carvalho e Silva, Brasil</b> .....	38
<b>1.10 Proyecto SIAR Limarí, Chile: Condiciones iniciales de producción y manejo del riego en predios seleccionados para efectuar ensayos de validación, A. Osorio Ulloa, J. Cuevas Herrera, J. Zeballos, L. Leris Garay, R. Alfaro Pizarro, Chile</b> .....	41
<b>1.11 Limitaciones del uso de la ecuación Penman-Monteith FAO para la generación de mapas, caso Venezuela, G. Bracho M., Marelia Puche C., Venezuela</b> .....	44

## Tema 2: Puesta en valor de los riegos ancestrales

<b>2 Puesta en valor de los riegos ancestrales. Introducción por Milka Castro</b> .....	49
<b>2.1 El uso del riego ancestral en la agricultura contemporánea, el caso de los sistemas de riego en el árido mexicano, T. Martínez Saldaña, México</b> .....	54
<b>2.2 La tecnología de riego en la cultura de los pueblos andinos, M. Castro Lucic, Chile</b> .....	57
<b>2.3 Una aproximación a las tecnologías ancestrales de riego andino en Bolivia, J. Roldan Cañas, R. Chipana, F. Moreno, J.L. del Pino, H. Bosque, R. Céspedes, A. Palácios, M. Irahola, España y Bolivia</b> .....	60
<b>2.4 Manejo del agua a nivel parcelario en zonas con elevada pendiente de los valles interandinos de La Paz, A. Palacios Nogales, R. Chipana, Bolivia</b> .....	63

2.5	<b>El saber popular de los inspectores de cauce y los cambios de paradigma en la gestión del sistema de riego en la provincia de Mendoza, R.M. Bustos, Argentina</b> .....	66
2.6	<b>Puesta en valor de riegos ancestrales: galerías filtrantes, andenes, amunas y waru waru –Peru, A. Enciso, Peru</b> .....	69
2.7	<b>Gestión del riego tradicional en la zona circundante al nevado Illampu, N. Olmedo Esquivel, R. Chipana, Bolivia</b> .....	72
2.8	<b>Manejo del agua en la región Kallawaya, F. Manzaneda Delgado, Bolivia</b> .....	75

### Tema 3: Ahorro y conservación del agua en la finca: técnicas de riego y modelos de simulación

3	<b>Poupança e conservação da água: técnicas de irrigação e modelos de simulação. Introdução por Reimar Carlesso</b> .....	81
3.1	<b>Rede de estações meteorológicas automáticas para prover a necessidade de irrigação das culturas, R. Carlesso, M.T. Petry, C. Trois, Brasil</b> .....	85
3.2	<b>Sistema integral para la gestión hídrica, S. Ortega-Farías, M.Carrasco-Benavides, Chile</b> .....	87
3.3	<b>Modelización bidimensional del movimiento de nutrientes en el suelo bajo riego por goteo, R. Chipana Rivera, Bolivia</b> .....	90
3.4	<b>Manejo y dinamica del agua en parcelas destinadas al cultivo de la quinua, R. Miranda Casas, E. Mayta, Bolivia</b> .....	93
3.5	<b>Gerenciamento de microbacias com vocação agrícola em Santa Catarina: estudos agro-climatológicos integrados, F.R.B. Victoria, H.J. Vieira, L.S. Pereira, Brasil y Portugal</b> .....	95

### Tema 4: Gestión y modernización de redes de riego

4	<b>Gestão e modernização das redes de distribuição da água de irrigação. Introdução por Luís S. Pereira</b> .....	101
4.1	<b>Herramientas para la gestión integral del regadío (SIG-REG). Aplicación a Castilla-La Mancha, J.M. Tarjuelo, C. Neumeister, A. Martinez, J.I. Corcoles, M.A. Moreno, España</b> .....	104
4.2	<b>La evaluación de desempeño en la modernización de la gestión de los sistemas de riego, D. Prieto, G. Angella, Argentina</b> .....	107
4.3	<b>Registro y asesoramiento de usuarios riego en la costa peruana mediante sistema de información geográfica, R. Apaçlla, Peru</b> .....	110
4.4	<b>Caracterização de sistemas de cultivo em áreas irrigadas por aspersão no sul do Brasil, R. Carlesso, G.L. Melo, C.J. Michelon, R.B. Spohr, G.M. da Rosa, Brasil</b> .....	112
4.5	<b>Estimación del balance hídrico mediante aplicación del modelo ISAREG en el canal Segundo Vistalba Lujan de Cuyo, Mendoza (Argentina), M.A. Salomón, C. M. Sánchez, L.S. Pereira, Argentina y Portugal</b> .....	115

### Tema 5

5	<b>Situación del regadío en los países de la Red de Riego del PROCISUR, en el Cono Sur de América, A. Osorio U., (Chile), D. Prieto (Argentina), R. Chipana (Bolivia), C. García (Uruguay), M. Blanco (Paraguay), H. Ribeiro da Silva (Brasil)</b> .....	121
---	--	-----



# 1

## NECESIDADES DE AGUA Y PROGRAMACIÓN DE RIEGOS: AVANCES BASADOS EN NUEVAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN



# NECESIDADES DE AGUA Y PROGRAMACIÓN DE RIEGOS: AVANCES BASADOS EN NUEVAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

René Chipana Rivera<sup>1</sup> y Alfonso Osorio Ulloa<sup>2</sup>

Los trabajos agrupados en este tema ofrecen al lector la posibilidad de informarse sobre los diferentes esfuerzos que están haciendo investigadores de Ibero América respecto a las “Necesidades de agua y programación de riegos: avances basados en nuevas tecnologías de la información”, específicamente asuntos relacionados con la determinación de las necesidades de agua de los cultivos, requerimiento y calendario de riego, así como uso de modelos matemáticos.

La importancia de esta temática se debe a que en los países iberoamericanos la explotación óptima de los recursos hídricos se constituye en uno de los objetivos fundamentales para los responsables del manejo del agua de riego, debido a la presión sobre los recursos hídricos usados en la agricultura de regadío, donde esta actividad consume cerca del 80% del agua disponible en zonas áridas y semiáridas. En varios de estos países se ha incrementado la superficie de cultivos bajo riego, incorporándose conceptos de riego de alta eficiencia lo que ha permitido obtener rendimientos sostenidos debido a una mayor producción y calidad de las cosechas. La práctica adecuada del riego implica conocer el comportamiento de la planta en función al agua aplicada, a las variaciones climáticas, a la dinámica del agua en el suelo, para determinar las cantidades

óptimas para un adecuado nivel productivo, usando tecnologías de monitoreo e interpretación de estas variables.

Entre las varias técnicas que se tienen para determinar las *necesidades de agua* de los cultivos están los equipos denominados lisímetros, que se basan en balance hídrico, observaciones micrometeorológicas y contenido de humedad del suelo. Hasta hace unos años atrás la evapotranspiración de cultivo ( $ET_c$ ) se determinaba únicamente mediante el coeficiente de cultivo simple ( $K_c$ ) y la evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ ), aplicando el modelo de Penman-Monteith. Empero, como la mayoría de las condiciones no son óptimas se debe recurrir a determinar otros coeficientes tales como el coeficiente de estrés ( $K_s$ ) y el coeficiente de cultivo dual ( $K_c$  dual), para cultivos que no cubren la totalidad de la superficie, como hortalizas y frutas, o situaciones de riego de paisajes y sistemas riego de alta frecuencia. No obstante, a pesar de los avances alcanzados, cuando se emplea información climática en la determinación de la ET, se ha podido advertir que en muchas localidades existen inconvenientes como la falta de datos, inadecuada distribución espacial y baja calidad de los registros, así como carencia de criterios unificados para la selección de estaciones y estimación de variables climáticas.

1 Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia, [renechipana@yahoo.com](mailto:renechipana@yahoo.com)

2 Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA, Centro Regional de Investigación Intihuasi, Casilla 36-B, La Serena. [www.inia.cl](http://www.inia.cl), [aosorio@inia.cl](mailto:aosorio@inia.cl)

Otro aspecto asociado a lo anterior y sobre el cual también se presentaron trabajos, es lo relativo a la *programación de riego*; asunto de singular importancia, dado que a través de esta actividad se visualizan en forma práctica los productos que va generando la investigación a nivel de campo. En esa línea se está haciendo común el uso de sensores para determinar el flujo de savia en la planta, así como la contracción del diámetro del tronco para determinar el estado hídrico de la plana, con la finalidad de un control automático del riego en tiempo real. También se desarrollaron *modelos matemáticos* y herramientas de balance hídrico, uso de imágenes de satélites para el cálculo de índices de vegetación, uso de sistemas de información geográfica (SIG), uso del internet para el asesoramiento a los regantes y poniendo a disposición de estos información científica y técnica para la optimización de los procesos productivos en relación al riego.

Por otro lado, además de la preocupación por la eficiencia en el uso del agua en la agricultura de regadío, surge la inquietud y el problema de *contaminación de las aguas subterráneas* a causa de la aplicación de productos químicos y posterior lavado de solutos de la solución del suelo, principalmente nitratos.

Luís S. Pereira presentó el tema “Necesidades de agua y programación del riego: Modelización, avances y tendencias”, donde hace una revisión de los conceptos y métodos fundamentales para estimar el requerimiento de agua de los cultivos y el riego, así como modelos computacionales. Presentando conceptos básicos de la evapotranspiración y ecuaciones usadas en riego. También revisa el cálculo de la evapotranspiración, en base al coeficiente de cultivo simple y dual, dándose una particular importancia a la nueva metodología para coberturas incompletas, principalmente hortalizas, también hace referencia a coeficientes de paisajes, parques, jardines y campos de golf. Pereira, indica además la importancia del uso de sensores remotos para determinar el coeficiente de cultivo en tiempo real y en extensiones grandes. Finalmente presenta varios

modelos de simulación de balance de agua, para el cálculo de la  $ET_c$ , requerimiento de riego de los cultivos y programación del riego, tales como WINISAREG que toma en cuenta la ascensión capilar, pérdidas por percolación y salinidad; el GISAREG que emplea sistemas de información geográfica; el WEBISAREG que usa la “web” para apoyar a los agricultores y el SIMDualKc que emplea el coeficiente de cultivo dual.

En el marco de las exposiciones dentro del Taller, uno de los temas fue el uso de lisímetros de compensación con napa freática constante para determinar el consumo de agua del duraznero presentado por Lucía Puppo y Mario García. Quienes encontraron que la  $ET_c$  alcanzó a  $5 \text{ mm d}^{-1}$  en la primera temporada y  $6 \text{ mm d}^{-1}$  en la segunda y tercera temporada. El coeficiente de cultivo  $K_c$  vario de 1.2 (primera temporada) a 1.4 (segunda y tercera temporada). Asimismo el coeficiente de cultivo basal fluctuó entre 0.91, 1.04 y 1.2 para las tres temporadas. También encontraron que en algunos periodos es necesario regar el cultivo dentro los lisímetros para compensar el consumo de agua. Para subsanar este inconveniente se podría optar por el uso de lisímetros de pesaje.

Arturo Torrecillas, Wenceslao Conejero y otros efectuaron estudios sobre las medidas de las variaciones del diámetro del tronco para la programación del riego en melocotono (duraznero) temprano. Ellos efectuaron la programación del riego en base a la máxima contracción diaria del tronco ( $MCD$ ) y observaron que la programación del riego basada en medidas de la  $MCD$  es capaz de no inducir situaciones de déficit hídrico del cultivo, no afecta ni la producción ni el tamaño de los frutos, y puede realizarse atendiendo exclusivamente a medidas de la  $MCD$ . No obstante, podrían introducirse algunas modificaciones en el protocolo de riego ensayado a fin de disminuir en mayor medida las desviaciones de la intensidad de señal de la  $MCD$  por encima del valor umbral. Por tales motivos concluyeron que la programación del riego basada en medidas de la intensidad de señal de la  $MCD$ ,

puede considerarse un prometedor procedimiento para la estima de los requerimientos de riego de los cultivos.

Asimismo, entre las principales líneas de investigación encaminadas al desarrollo de tecnologías está el uso de modelos de simulación, tal cual es el ISAREG que es una herramienta de simulación para calcular el equilibrio del agua del suelo, generando alternativas de riego y evaluando los impactos relativos en los rendimientos de los cultivos. Yoima Chaterlan, Carmen Duarte y otros presentaron el estudio “Coeficientes del cultivo de cebolla y su determinación con el modelo ISAREG”. Calibraron y validaron dicho modelo empleando datos obtenidos durante 20 años en la Estación Experimental de Riego y Drenaje del IIRD, situada en el municipio de Alquizar; provincia La Habana – Cuba. Los resultados indican que la metodología empleada para la determinación del coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) y la fracción de agotamiento del cultivo ( $p$ ) resulta apropiada, al permitir determinar estos coeficientes para las diferentes fases del cultivo.

Pedro Godinho, Paula Paredes y otros en su artículo “Determinación de las necesidades de agua de los cultivos por la metodología de los coeficientes de cultivo duales empleando el modelo SIMdualKC”, indican que dicho modelo fue probado usando datos obtenidos en campos experimentales de Portugal, varios países del mediterráneo y Asia Central. El cálculo de la evapotranspiración del cultivo utilizando la metodología de los coeficientes de cultivo ( $K_c$ ) medios relativos a las diferentes fases del cultivo proporciona resultados satisfactorios para los cálculos en diferentes etapas, sin embargo, para los riegos de alta frecuencia como microriego y de los cultivos que cubren parcialmente el suelo, así como las regiones con precipitaciones frecuentes, el uso del método de los coeficientes de cultivo duales permite obtener resultados más exactos de la evapotranspiración de cultivo. El hecho de dividir el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) en los componentes de evaporación del suelo ( $K_e$ ) y el coeficiente cultural basal ( $K_{cb}$ ) permite te-

ner una mejor percepción de las fracciones de agua provenientes de la precipitación o del riego, utilizadas por el cultivo, así como evaluar las ventajas de mantener una fracción de suelo seco o la utilización de coberturas (“mulches”) para controlar la evaporación del suelo ( $E$ ). Por tanto el modelo demuestra precisión en la simulación del balance hídrico del suelo, para todas las etapas fenológicas lo que indica una buena estimación de la evapotranspiración del cultivo empleando el método del coeficiente cultural dual.

Félix Moreno, María José Martín-Palomo y otros presentaron el estudio “Experiencias científicas para optimizar el riego de los cultivos en zonas semiáridas”, donde emplearon riego por goteo en árboles de olivo y riego por surcos en el cultivo de maíz. Estudiaron las propiedades físicas del suelo, actividad radicular y área mojada, con la finalidad de establecer el número y posición de emisores. Al mismo tiempo mostraron la importancia del uso de sensores en la planta, tales como velocidad del flujo de savia (mediante la técnica de compensación del pulso de calor) para el registro automático y continuo de datos del estado hídrico de las plantas de olivo para riego en tiempo real. En el caso del cultivo de maíz mostraron resultados de un estudio con niveles de nitrógeno, para determinar la lixiviación y los efectos en los cultivos. La reducción de la dosis de fertilización a un tercio redujo el lavado de nitratos a una cuarta parte, siendo que la reducción de la dosis de fertilización nitrogenada no afectó al rendimiento del cultivo.

En la misma línea de consumo de agua en duraznero, Pablo Morales, Mario García y otros presentaron el trabajo “Respuesta del duraznero a diferentes patrones de aplicación de agua”. Ellos aplicaron cinco tratamientos de riego (T1 – secano; T2 - goteros de 1.6 l h<sup>-1</sup> a 0.4 m; T3 - goteros de 4 l h<sup>-1</sup> a 1 m; T4 - microjets de 21 l h<sup>-1</sup> a 5 m; T5 - goteros de 2 l h<sup>-1</sup> a 1 m, con dos líneas por fila), el caudal de todos los tratamientos regados fue 4 l h<sup>-1</sup>m<sup>-1</sup>. Determinaron que los tratamientos que recibieron rie-

go no se diferenciaron estadísticamente entre sí, pero todos presentaron valores significativamente superiores al secano. El volumen de suelo mojado con una sola línea portagotos (T2 y T3) fue similar (16 y 18%), independiente de los distintos caudales y distancias entre ellos. Usando microjets, no se logró aumentar significativamente el volumen de suelo mojado, llegando sólo a 22% de la proyección de la copa. En tanto que regando con dos líneas portagotos se dio un aumento significativo de dicho volumen (44%). En ningún caso el T5, que mojaba más del doble de volumen que los otros tratamientos, tuvo una respuesta diferencial. Se plantea que los efectos de estos tratamientos, en un cultivo perenne, serían acumulativos y se podrían expresar en años sucesivos.

Continuando con la presentación de trabajos en el duraznero, Claudio García, R. Docampo y otros presentaron el trabajo “Manejo del riego en duraznero c.v. Dixiland basado en la evapotranspiración máxima del cultivo”. El riego fue aplicado diariamente al 50%, 100% y 150% de la evapotranspiración máxima del cultivo ( $ET_c$ ). Los resultados de producción promedio de los tres años muestran que, hubo una mayor eficiencia en el uso del agua de riego, donde el manejo de 50% de la  $ET_c$  fue 70% más eficiente que el manejo de 100% de la  $ET_c$ . En promedio de las tres zafras, el manejo de riego aplicando el 50% de la  $ET_c$  produjo 78 kg/ha/m<sup>3</sup>. Las láminas totales de riego aplicadas a 50% y 150% fueron 23 y 90 mm para la zafra 2004-05, 55 y 210 mm para la zafra 2005-06 y 30 y 210 mm para la zafra 2006-07.

Henoque R. da Silva, Waldir A. Marouelli y otros, en su artículo “Estado de arte del riego de tomate para industria en Brasil”, afirman que este cultivo tiene mucha importancia económica y social en dicho país, particularmente en el estado de Goiás. Por tal motivo la adopción de métodos adecuados de manejo de agua permite usar racionalmente este recurso, reducir el consumo de energía, la incidencia de plagas y enfermedades e impactos ambientales. La implementación del Sistema

Irriga, para el manejo y monitoreo del riego en áreas de producción de tomate para la industria es un importante avance, permitiendo al productor recibir la programación del riego a través de Internet. En relación a los estudios que ese están ejecutando actualmente se debe destacar el proyecto de investigación sobre la producción integrada de tomate, buscando producir alimentos de alta calidad, tomando en cuenta el medio ambiente sobre el sistema suelo/agua/producción.

Con la finalidad de asesorar a los regantes, Alfonso Osorio, José Cuevas y otros efectuaron el trabajo “Proyecto SIAR LIMARI-Chile: Condiciones iniciales de producción y manejo del riego en predios seleccionados para efectuar ensayos de validación”, a través de la implementación del proyecto SIAR en el Valle de Limari, que consiste esencialmente en un sistema interactivo de apoyo al riego, usando Internet mediante una página web, donde se intenta validar los parámetros o factores, asociados a clima, suelo, cultivo y aplicación de agua; que tienen directa relación o influyen en la respuesta de los cultivos bajo riego, que en este caso son paltos, vides y mandarinas.

Gennady Bracho y Marelia Puche en su trabajo “Limitaciones debidas a la calidad de datos en el uso de la ecuación FAO – Penman-Monteith (PM) para la generación de mapas de evapotranspiración de referencia en Venezuela”, encontraron que la principal limitación que condujo al descarte de estaciones fue la falta de registros mínimos requeridos de radiación solar global, humedad relativa y velocidad del viento, así como problemas de calidad de datos (datos dudosos, datos faltantes y falta de homogeneidad de las series mensuales), particularmente de velocidad del viento. Los problemas de homogeneidad se observaron especialmente en las series de radiación solar global. En todos los casos, la falta de homogeneidad se debió a la presencia de tendencias negativas, es decir, una disminución en la radiación en el tiempo, lo que sugiere problemas de mantenimiento de equipos y de las áreas aledañas a las estaciones climatológicas. Se

sugiere el uso de estrategias metodológicas para la estimación de la información básica requerida por la ecuación FAO - PM, principalmente radiación solar global y velocidad del viento, así como la exploración de otras ecuaciones más sencillas que requieran un menor número de elementos climatológicos y que se miden con mayor frecuencia en las estaciones.

Como corolario se puede indicar que el riego en iberoamérica se desarrolla entre paradojas y niveles tecnológicos diametralmente opuestos, puesto que por un lado varios países han llegado prácticamente a su superficie potencial bajo riego (lo que coincide con los países con mejores ingresos para sus agricultores) y países con escasa superficie bajo riego, pero con gran superficie ubicada en zonas áridas y semiáridas (con bajos ingresos para sus agricultores), países que usan tecnologías de alto nivel para optimizar el riego (sensores, percepción remota, SIG, uso de Internet, modelos matemáticos, riego en tiempo real) y países donde el riego se practica en forma empírica con bajas eficiencias; países con gran cantidad y calidad de información climática y países con poca información climática (muchas veces temperatura y precipitación) y de mala calidad.

No obstante, el desarrollo tecnológico y agricultura intensiva están generando en varios países problemas de contaminación de aguas subterráneas por la elevada cantidad de fertilizantes aplicados al suelo, en tanto por el otro lado, existen países donde en muchos cultivos prácticamente no se usa fertilizantes sintéticos.

Por ello, es imprescindible avanzar más aceleradamente en estos aspectos, estableciendo y generando criterios básicos para uso y aplicación en el manejo del riego a nivel de predio o finca, para posteriormente diseñar y validar los modelos de aplicación, tomando como eje la relación agua/cultivo, fundamentalmente en los países con escaso desarrollo tecnológico e insuficiente información científica. No

menos importante es la necesidad de llevar a cabo investigaciones para determinar las necesidades de agua y riego de los cultivos tropicales y subtropicales, puesto que en dichas zonas existe grandes poblaciones que tiene como principal actividad la agricultura.

Finalmente, debe señalarse la cantidad importante de trabajos (11) presentados bajo este tema, lo cual refleja la prioridad que los investigadores le están dando a esta temática; y los esfuerzos que se realicen en el futuro, siendo que la publicación de estos trabajos, siempre serán bienvenidos por los regantes e investigadores dedicados al riego.



## NECESSIDADES DE AGUA E PROGRAMAÇÃO DA REGA: MODELAÇÃO, AVANÇOS E TENDÊNCIAS

Luís S. Pereira<sup>1</sup>

### Resumo

A necessidade de água de uma cultura corresponde à procura evapotranspirativa dessa cultura em determinado ambiente e recebendo tratos culturais determinados. A evapotranspiração das culturas ( $ET_c$ ) pode observar-se através de lisímetros, ser calculada com precisão recorrendo a observações micrometeorológicas ou ser estimada com base em variáveis agro-meteorológicas observadas, solução que é usada na prática, nomeadamente do regadio.

As necessidades de água para a rega são estimadas através do balanço hídrico do solo cultivado. Para tanto, considera-se que parte das necessidades de água das culturas são satisfeitas pela precipitação, pela reserva de água do solo e pela ascensão capilar e que as saídas de água correspondem à  $ET_c$  - transpiração pelas plantas e evaporação a partir do solo -, à percolação para além da zona radicular e ao eventual escoamento à superfície do solo. Estas necessidades são posteriormente corrigidas pela eficiência da rega e com a fracção de lavagem, quando haja que controlar a salinidade do solo, para obtenção das necessidades brutas ou totais da cultura na prática de rega.

O objectivo deste trabalho é o de apresentar metodologias recentes e avanços em curso para o cálculo da evapotranspiração das cul-

turas recorrendo a observações climáticas padrão e utilizando um duplo passo de estima: por um lado, calculando a procura climática que representa as condições ambientais através da evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ); por outro lado, considerando a especificidade da cultura através de um coeficiente cultural ( $K_c$ ). Para o efeito, recorre-se a uma dupla padronização: a da cultura de referência para o cálculo da  $ET_o$ , e a da cultura em causa, de forma a considerar que a mesma é cultivada em condições favoráveis à obtenção da produção máxima, condições para as quais se define  $K_c$ . Se tais condições óptimas não se verificam, como é corrente na prática de campo, deve recorrer-se a um terceiro passo de estima, quer utilizando um coeficiente de stress ( $K_s$ ), quer ajustando o  $K_c$  às condições reais ( $K_{c\ act}$ ). Nesta perspectiva, apresentam-se tanto os  $K_c$  simples como os  $K_c$  duais, com particular atenção às culturas cuja cobertura do solo é incompleta.

É igualmente objectivo deste trabalho a apresentação de vários modelos para o cálculo das necessidades de água e de rega das culturas e dos espaços verdes, visando a programação da rega, a condução prática da rega e o apoio aos regantes.

A evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) define-se como a taxa de evapotranspiração de uma

<sup>1</sup> Centro de Estudos de Engenharia Rural, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Tapada da Ajuda, 1349 Lisboa, Portugal ([lspereira@isa.utl.pt](mailto:lspereira@isa.utl.pt)).

cultura de referência hipotética, para a qual se assume uma altura de 0.12 m, uma resistência de superfície ( $r_s$ ) constante de  $70 \text{ s m}^{-1}$  e um albedo de 0.23, semelhante à evapotranspiração de um extenso coberto de relva verde de altura uniforme, em crescimento activo, cobrindo totalmente o solo e bem abastecido de água. Quando se realizem cálculos horários deve tomar-se  $r_s = 50$  ou  $100 \text{ s m}^{-1}$  conforme se trate das horas de dia ou de noite.

A evapotranspiração cultural,  $ET_c$ , é calculada por  $ET_c = K_c ET_o$ . O coeficiente cultural  $K_c$  representa a integração dos efeitos das características que distinguem a ET da cultura da ET de referência, variando pois de cultura para cultura, com as variedades e com as práticas de cultivo e, para cada cultura, ao longo das fases do ciclo vegetativo. Convém, porém, estabelecer uma diferença clara entre a  $ET_c$ , que representa condições potenciais de produção, e a ET relativa a condições não óptimas,  $ET_{c\text{act}} = K_{c\text{act}} ET_o$ , onde  $K_{c\text{act}}$  é o  $K_c$  “real” incorporando um conjunto de impactes de stress ambiental e cultural.

Os coeficientes culturais podem ser aproximados de duas formas: os  $K_c$  simples e os  $K_c$  duais. A forma dual dos  $K_c$  é  $K_c = K_s K_{cb} + K_e$ , onde  $K_c$  é o coeficiente cultural,  $K_{cb}$  é o coeficiente cultural basal,  $K_s$  é o coeficiente de stress e  $K_e$  é o coeficiente de evaporação da água do solo. O  $K_c$  simples representa a soma dos valores médios de  $K_{cb}$  e  $K_e$  para cada fase vegetativa da cultura, isto é  $K_c = K_{cb} + K_e$ . Os valores de  $K_c$  e  $K_{cb}$  estão tabelados para condições de clima sub-húmido pelo que é absolutamente necessário corrigi-los para as condições climáticas locais. Os valores de  $K_e$  são estimados através de um balanço hídrico diário da camada superficial de solo a partir da qual se produz evaporação.

Para o caso de culturas que cobrem o solo apenas parcialmente, é conveniente o recurso ao coeficiente de densidade da vegetação ( $K_d$ ) - cuja equação se baseia na fracção de solo coberto (ou ensombrado) pela vegetação e na altura média das plantas - para estimar

$K_{cb}$  em função do valor mínimo de  $K_{cb}$  para solo nu, do valor de  $K_{cb}$  que teria a vegetação se ocorressem condições de cobertura total e do  $K_{cb}$  da cobertura do solo em ausência de folhagem. Este procedimento, aparentemente complexo mas facilitado por novas tabelas aqui reproduzidas, permite uma aproximação adequada ao estudo dos  $K_c$  de fruteiras tomando em consideração a densidade de plantação e pode ser utilizado para a normalização de valores de  $K_c$  para culturas tropicais e sub-tropicais a partir da informação disponível em estudos locais.


Para espaços verdes - jardins, parques e campos de golfe - pode estimar-se a ET através do coeficiente de espaços verdes ( $K_L$ ), que modifica e adapta  $K_c$  para estes cobertos vegetais, i.e.  $ET_L = K_L ET_o$ .  $K_L$  resulta da combinação de 4 coeficientes caracterizando a vegetação, a densidade de plantação, o microclima, e o stress de manejo da vegetação.

O uso de imagens de satélite permite o cálculo de diversos índices de vegetação, nomeadamente o NDVI, que se relaciona bem com o estado hídrico das culturas e, por isso, com os  $K_c$  ou  $K_{cb}$ . Para o efeito, pode recorrer-se a vários algoritmos.

A determinação do balanço hídrico do solo na zona de enraizamento, com a respectiva quantificação dos termos que o constituem e a caracterização dos padrões de ocorrência dos processos de transferência hídrica, é uma necessidade determinante para a gestão da rega. Para tanto, os modelos de balanço hídrico são ferramentas essenciais, servindo para a determinação das necessidades de rega e para a condução da rega. Nesta perspectiva, apresenta-se o modelo WINISAREG, capaz de lidar com a ascensão capilar e a percolação através da zona radicular, bem como com impactos da salinidade da água e do solo. O modelo tem sido utilizado em vários países e aplicações recentes na América Latina são apresentadas neste encontro. O modelo foi adaptado para operar em SIG na versão GISAREG. Foi igualmente modificado para

operar na WEB e servir de apoio na condução da rega aos agricultores que tenham acesso à Internet (WEBISAREG). Um outro modelo aqui apresentado é o SIMDualK<sub>c</sub>, desenvolvido para a calendarização da rega recorrendo à metodologia dos K<sub>c</sub> duais, nomeadamente para culturas com cobertura parcial do solo,

especialmente hortícolas e pomares, e/ou para sistemas com regas de alta-frequência como é o caso da microrrega, o qual é descrito em outro artigo deste encontro.

**Palavras chave:** evapotranspiração, coeficientes culturais, modelos, balanço hídrico. 

---


## Water requirements and irrigation scheduling: modelling, advances and trends

---

### Summary

This paper intends to revise the fundamental concepts and methods for estimating crop water and irrigation requirements, including the presentation of related computational models. It starts presenting the basic evapotranspiration concepts and equations useful for the irrigation practice. Aspects relative to the reference evapotranspiration are presented, namely the respective calculation equation for daily and hourly time steps. Following, crop evapotranspiration is revised adopting both the single and dual crop coefficient approaches. Particular attention is given to the use of a new approach to the dual crop coefficient for incomplete cover crops, mainly orchards. Also referred

is the landscape coefficient, used to estimate the landscape evapotranspiration, relative to gardens, parks or golf courses. A reference is also made to the use of remote sensing for estimating crop coefficients in near real time and large spaces. Finally, several water balance simulation models are presented aimed at computing crop ET, crop irrigation requirements and to support irrigation scheduling practices. Models referred herein are WINISAREG, that deals well with capillary rise, percolation and salinity, and is now used in several applications in Ibero-America; GISAREG, which a GIS version of the former; WEBISAREG, which is a web based model for servicing farmers through the Internet; and SIMDualK<sub>c</sub>, that is a model using the dual crop coefficient approach for ET computations and irrigation scheduling.

**Keywords:** evapotranspiration, crop coefficients, models, water balance. 

## DETERMINACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA DEL DURAZNERO POR LISIMETRÍA

Lucía Puppo<sup>1</sup>, Mario García<sup>2</sup>

### Resumen

El conocimiento de la evapotranspiración de los cultivos ( $ET_c$ ) es esencial para un manejo eficiente del riego ajustando su volumen y frecuencia a los requerimientos de los cultivos. Asimismo este dato es fundamental para un correcto diseño de los sistemas de riego. Se ha reportado que los productores frutícolas de la zona Sur del país no riegan en cantidad suficiente como para cubrir los requerimientos del cultivo y obtener rendimientos diferenciales en la cantidad y calidad de la producción que justifiquen el costo del riego. A pesar de lo relevante del tema, en el Uruguay existe muy escasa investigación en el consumo de agua de los cultivos.

La FAO propone un doble paso de estimación, calculando primero la evapotranspiración del cultivo de referencia ( $ET_o$ ) y considerando luego la especificidad del cultivo a través de un coeficiente de cultivo ( $K_c$ ). Los coeficientes de cultivo se pueden ajustar como  $K_c$  medios ó como  $K_c$  duales, siendo  $K_c = K_{cb} + K_e$ . Se propone que se utilicen los coeficientes culturales de base ( $K_{cb} + K_e$ ) en lugar de los coeficientes culturales medios ( $K_c$ ) cuando se trata de trabajos con fines de investigación ó para la conducción del riego en tiempo real con sistemas de alta frecuencia.

Los objetivos de este trabajo fueron medir el consumo de agua de una planta de duraznero durante varios ciclos de crecimiento, desde su implantación hasta su tamaño definitivo y determinar el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) y el coeficiente de base ( $K_{cb}$ ) para la zona frutícola Sur del Uruguay.

A comienzos del 2004 se instaló en el Centro Regional Sur de la Facultad de Agronomía un lisímetro de compensación con napa freática constante, inmediatamente después de la implantación de un monte de duraznero (*Prunus persica* L. Bastch) cv. Dixiland, con el que se midió el consumo de agua durante las temporadas 2004/05, 2005/06 y 2006/07. El monte se plantó a 4.5 m entre filas y 2.5 m entre plantas. El lisímetro tiene dimensiones 2x2x0.8 m de profundidad.

Diariamente se registró el volumen de agua de entrada al lisímetro con un contador volumétrico, las precipitaciones ocurridas, el volumen de drenaje con una escala calibrada y la tensión de agua en el suelo con tensiómetros

La  $ET_c$  se calculó por balance de volúmenes mediante la fórmula  $ET_c = R + PP - D \pm \Delta Hs$ .

1 Estudiante de Maestría, Departamento de Suelos y Aguas, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Avda. E. Garzón 780, 12900 Montevideo, Uruguay. [lpuppo@fagro.edu.uy](mailto:lpuppo@fagro.edu.uy)

2 Profesor Agregado, Idem. [mgarciap@fagro.edu.uy](mailto:mgarciap@fagro.edu.uy)

Mensualmente se calculó el volumen de copa, el Índice de Área Foliar (IAF), la radiación interceptada y el potencial hídrico foliar.

El consumo en la primera temporada, en que la planta tenía sólo un año de instalada, alcanzó valores de 5 mm día<sup>-1</sup>, equivalente a 56 l para el marco de plantación de 11.25 m<sup>2</sup>. En la segunda temporada, el consumo llegó a alrededor de 6 mm día<sup>-1</sup> (68 l), alcanzando valores extremos de más de 7 mm día<sup>-1</sup>, equivalentes a más de 80 l. En la temporada 2006-07, en que la planta ya alcanzó su tamaño adulto, el consumo máximo se mantuvo alrededor de los 6 mm día<sup>-1</sup>, aunque este valor se alcanzó más temprano que en la temporada anterior (segunda quincena de noviembre).

En la temporada 2004-05, cuando la planta tenía sólo un año de edad, los coeficientes de cultivo ( $K_c$ ) tuvieron un valor aproximadamente constante a lo largo de toda la temporada y no reflejaron las fases de desarrollo del cultivo. En este primer año la mayor parte de la superficie del suelo del lisímetro estuvo expuesta a la radiación solar, por lo que al humedecerse esa superficie ante cada lluvia, los valores de coeficiente de evaporación ( $K_e$ ) fueron importantes, resultando en valores altos de  $K_e$ , aún en los inicios de la temporada de crecimiento, cuando la planta tenía muy poco desarrollo foliar. En la segunda temporada de evaluación, se repitieron los altos valores de  $K_e$  al inicio del ciclo del cultivo, que luego se mantuvieron bajos en el resto del ciclo. En la segunda quincena de enero se observaron valores extremadamente altos de  $K_e$  (1.55), que coinciden con los valores extremos de consumo mencionados en el apartado anterior. En la tercera temporada, se mantuvo un valor de  $K_e$  alrededor de 1.4 desde noviembre hasta marzo.

Los  $K_{cb}$  se ajustaron por el modelo tri-segmentado. Los máximos valores fueron 0.91; 1.04 y 1.20 para las temporadas 2004/05 a 2006/07, respectivamente. En la temporada 2005-06 el  $K_{cb}$  máximo se alcanzó, de acuer-

do al modelo, el día 26 de enero, mientras que en la temporada siguiente se alcanzó el 24 de noviembre. Este adelanto concuerda con que en ésta última temporada al 24 de noviembre ya se había alcanzado un IAF de aproximadamente 3, mientras que en la anterior ese índice se alcanzó recién a mediados de enero. Estos resultados sugieren que habría un valor umbral del IAF, por encima del cual no seguiría aumentando el  $K_{cb}$ . Este valor sería aproximadamente 3, pero para ajustar con más precisión la relación  $K_{cb} / \text{IAF}$ , se deberá tener más información experimental.

El consumo de una planta de duraznero en la zona sur del Uruguay es de 5 mm día<sup>-1</sup> en su primer año y de 6 mm día<sup>-1</sup> en el segundo y tercero, equivalentes a 56 y 68 l día<sup>-1</sup>, respectivamente. Este valor de 68 l día<sup>-1</sup> debería ser el parámetro de diseño de los equipos de riego para este cultivo en esta región.

Los valores de  $K_{cb}$  máximo obtenidos en las tres temporadas fueron 0.91; 1.04 y 1.20, respectivamente. Estos valores son superiores a los propuestos por FAO. En principio parecería que con un valor de Índice de Área Foliar igual a 3 se alcanzaría el máximo valor de  $K_{cb}$  y luego éste se mantiene constante aunque aumente el IAF.

En lisímetros de este tipo, y con este tamaño del macetón, se debe incluir el término  $\Delta H_s$  en la ecuación de balance hídrico.

En condiciones de alta demanda atmosférica y la planta de tamaño adulto, se hace necesario regar para complementar el aporte por ascenso capilar de la napa.

Este método permite el ajuste del  $K_{cb}$  para intervalos de tiempo mayores a cinco días.

**Palabras clave:** coeficientes de cultivo, coeficientes basales de cultivo; evapotranspiración; frutales de hoja caduca, riego.




## Lysimeter evapotranspiration measurements for peach trees

---

### Summary

A compensation lysimeter with constant phreatic water table, with dimensions of 2 x 2 x 0.80 m, was installed after the implantation of a peach grove in order to study the crop water consumption during the first three growth seasons. Evapotranspiration reached 5 mm day<sup>-1</sup> (equivalent to 56 liters) at the first season and 6 mm day<sup>-1</sup> at the second and third season (68 l). The crop coeffi-

cient ( $K_c$ ) was around 1.2 at the first season, and 1.4 in the following two seasons. Basal crop coefficients were calculated ( $K_{cb}$ ) and its value was adjusted by the tri-segmented model. The value was 0.91 at the first season 1.04 in the second one and 1.20 in the third one. Some methodological observations are made regarding the lysimeter use. To add the soil water changes to the mass balance equation, to irrigate from the surface and to take measurements in periods of five days at least, is suggested.

**Keywords:** basal crop coefficient; crop coefficient, water use; fruit trees; irrigation. 

## UTILIZACIÓN DE LAS MEDIDAS DE LAS VARIACIONES DEL DIÁMETRO DEL TRONCO PARA LA PROGRAMACIÓN DEL RIEGO EN MELOCOTONERO TEMPRANO

Arturo Torrecillas<sup>1,2</sup>, Wenceslao Conejero<sup>1</sup>, María Fernanda Ortuño<sup>1</sup>, Yelitza García-Orellana<sup>3</sup>, Emilio Nicolás<sup>1</sup> y Juan José Alarcón<sup>1,2</sup>

### Resumen

En los últimos años se viene afrontando una persistente escasez de agua en el sureste español, lo que obliga a intensificar todos los esfuerzos encaminados a racionalizar el uso del agua en agricultura.

La mejora de la eficiencia de los métodos de riego debe conducir a la modernización conjunta de los sistemas de aplicación y de su programación, constituyendo los procedimientos para la programación precisa del riego una de las herramientas más adecuadas para contribuir a su optimización. En este sentido, ensayos en diversas especies arbóreas han confirmado la sensibilidad de las variaciones diarias del diámetro del tronco en respuesta al déficit hídrico, la cual es superior a la de otros indicadores del estado hídrico más convencionales, y ya existen resultados recientes sobre su utilización en la programación del riego deficitario en otros cultivos arbóreos.

El objetivo de este trabajo se centró en verificar la hipótesis de que se puede realizar la programación del riego del melocotonero basándose exclusivamente en medidas del diámetro del tronco y que manteniendo la

intensidad de señal de la máxima contracción diaria del tronco (*MCD*) en valores muy cercanos a la unidad, el agua aplicada podría considerarse como una estima de la evapotranspiración del cultivo, siempre y cuando no acontezca drenaje.

El ensayo se realizó en melocotoneros tempranos (*Prunus persica* (L.) Batsch cv. Flor-dastar sobre GF-677), los cuales se sometieron a dos tratamientos de riego diferentes. Las plantas control (tratamiento T0) se regaron por encima de sus necesidades hídricas y se compararon con las de otro tratamiento las cuales se regaron en función de medidas de la máxima contracción diaria del tronco (*MCD*) (tratamiento T1), manteniendo la intensidad de señal de la *MCD* ( $MCD_{actual}/MCD_{control}$  (T0)) en valores muy próximos a la unidad. Cuando la intensidad de señal de la *MCD* de al menos dos días, de tres consecutivos, no excedió el valor umbral, el riego se redujo un 10%. Cuando los valores de intensidad de señal de al menos dos días de tres consecutivos excedieron el valor umbral, el riego se incrementó un 10%.

Los requerimientos hídricos del cultivo ( $ET_c$ ) se estimaron a partir de la evapotranspiración

1 Dpto. Riego. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CSIC). Apartado 164, E-30100 Espinardo (Murcia), España. (email: [atorreci@cebas.csic.es](mailto:atorreci@cebas.csic.es))

2 Unidad Asociada al CSIC de Horticultura Sostenible en Zonas Áridas (UPCT-CEBAS). E-30203 Cartagena (Murcia), España.

3 Dpto. Ingeniería Agrícola. Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Venezuela.



del cultivo de referencia ( $ET_o$ ), calculada usando la ecuación de Penman-Monteith (PM), un coeficiente de cultivo basado en el momento del año y el porcentaje de suelo sombreado.

Durante el ensayo,  $ET_o$  alcanzó un valor total de 1059 mm y la pluviometría registrada fue de 237.4 mm, aconteciendo principalmente en primavera y otoño. Los niveles de humedad volumétrica del suelo ( $\theta_v$ ) de 0 a 0.80 m de profundidad en el tratamiento T0 fueron casi constantes durante todo el periodo experimental, presentando niveles cercanos a los de capacidad de campo, y superiores a los encontrados en el suelo del tratamiento T1, los cuales se caracterizaron por el hecho de que por debajo de los 600 mm fueron claramente inferiores a los correspondientes a capacidad de campo, indicando la inexistencia de drenaje.

El hecho de que las plantas de los tratamientos T1 y T0 presentasen niveles iguales de potencial hídrico del tallo ( $\Psi_{tallos}$ ), e intercambio gaseoso durante todo el ensayo, así como que la producción de frutos y las características de estos fueran similares en ambos tratamientos indicó que el estado hídrico de los árboles del tratamiento T1 no resultó afectado por el procedimiento de programación del riego.

La baja variabilidad de los valores de intensidad de señal de la *MCD* tras la recolección (coeficiente de variación ( $CV$ ) = 0.083) y su proximidad al valor umbral seleccionado demuestra que el ajuste de las dosis de riego aplicado se realizó de forma adecuada. Esto confirma la capacidad de este parámetro para ajustar el programa de riego conforme se produce la información y, por tanto, que la programación del riego en melocotonero puede basarse exclusivamente en medidas de la *MCD*. Por otra parte, el hecho de que las desviaciones de la *MCD* durante la fase III de crecimiento del fruto fuesen mayores de lo esperado ( $CV$  = 0.168), evidenció una menor precisión de la programación del riego en ese período, posiblemente debido a que en esos momentos incrementos del 10% en las dosis

de riego son insuficientes o que el riego debería programarse más frecuentemente.

Durante periodos en los cuales la intensidad de señal de un indicador del estado hídrico basado en medidas en la planta presenta valores muy cercanos a la unidad, es evidente que el estado hídrico no refleja ninguna situación de estrés asociada al riego. Por tanto, si no se produce drenaje, el riego aplicado podría ser considerado como una estima de la evapotranspiración actual y ser comparada con la  $ET_c$ . En este sentido, teniendo en cuenta que durante el periodo posterior a la cosecha el coeficiente de variación de la *MCD* fue sólo de 0.083, los valores de la  $ET_c$  estimada (584 mm) sobrevaloraron menos del 5% la evapotranspiración de los melocotoneros estimada a partir de la dosis de riego aplicada (558.1 mm). Por lo cual, y teniendo en cuenta las modificaciones en el protocolo de riego propuestas, la programación del riego basada en medidas de la intensidad de señal de la *MCD*, puede considerarse un prometedor procedimiento para la estima de los requerimientos de riego de los cultivos.

Cabe concluir que la programación del riego basada en medidas de la *MCD* es capaz de no inducir situaciones de déficit hídrico del cultivo, no afecta ni la producción ni el tamaño de los frutos, y puede realizarse atendiendo exclusivamente a medidas de la *MCD*. No obstante, podrían introducirse algunas modificaciones en el protocolo de riego ensayado a fin de disminuir en mayor medida las desviaciones de la intensidad de señal de la *MCD* por encima del valor umbral. Estas modificaciones podrían consistir en aumentos de la frecuencia de programación del riego y/o aumentos del porcentaje de aumento del agua aplicada. Además, la programación del riego manteniendo la intensidad de señal de la *MCD* en valores muy cercanos a la unidad podría ser utilizada cuando no se dispone de coeficientes de cultivo desarrollados a escala local.

**Palabras clave:** fluctuaciones del diámetro del tronco, potencial hídrico del tallo, relaciones hídricas.



## Using trunk diameter fluctuations measurements for irrigation scheduling in early maturing peach trees

---

### Summary

Five-year old early maturing peach trees (*Prunus persica* (L.) Batsch cv. Flordastar grafted on GF-677 peach rootstock) were submitted to two different irrigation treatments. Control plants (T0 treatment) were irrigated above their crop water requirements and compared with plants to which water was applied according to maximum daily trunk shrinkage (MDS) (T1 treatment) measurements, maintaining MDS signal intensity (actual MDS/control (T0) MDS) threshold values close to unity. When MDS signal intensity on at least two of three consecutive days did not exceed the signal intensity threshold value, irrigation

was reduced by 10%. When the MDS signal intensity on at least two of three consecutive days exceeded the threshold value the irrigation rate was increased by 10%. The results indicated that peach tree irrigation scheduling can be based on MDS measurements alone, avoiding the appearance of any plant water stress situation and not affecting yield and fruit size. Changes in the irrigation protocol assayed were proposed to reduce MDS signal intensity deviations above the threshold value, increasing the irrigation scheduling frequency and/or the percentage increase of water applied. MDS signal intensity-driven irrigation schedules maintaining MDS signal intensity values very close to unity could be applied to derive better irrigation protocols when local crop coefficient values are not available.

**Keywords:** stem water potential, trunk diameter fluctuations, water relations.



## COEFICIENTES DE CULTIVO DE LA CEBOLLA Y SU DETERMINACIÓN CON EL MODELO ISAREG

Yoima Chaterlan<sup>1</sup>, Carmen Duarte<sup>1</sup>, María León<sup>1</sup>, Luis S. Pereira<sup>2</sup>, Pedro R. Teodoro<sup>2</sup>, Reinaldo R. García<sup>1</sup>

### Resumen

En Cuba, la cebolla al igual que la mayoría de los cultivos hortícolas, se cultiva en el período seco y es sensible al déficit de agua en el suelo, por lo que requiere de riegos frecuentes y ligeros que garanticen una humedad en el suelo superior al 75% de la disponible.

Una de las principales líneas de investigación en estos momentos esta encaminada al desarrollo de tecnologías y al uso de modelos bien calibrados que contribuyan al manejo eficiente del uso del agua. El modelo ISAREG es una herramienta de simulación para computar el equilibrio del agua del suelo, generadora de alternativas de riego y evaluadora de los relativos impactos en los rendimientos de los cultivos. Básicamente para el balance del agua se sigue lo sugerido por Doorenbos y Pruitt (1977) y descrito por Teixeira y Pereira (1992) y Liu *et al.* (1998). La versión del modelo utilizada (Pereira *et al.*, 2003) adopta la metodología puesta al día para computar evapotranspiración de cultivo y necesidades de riego propuesto por Allen *et al.* (1998).

El objetivo de este trabajo consiste en, explorar a partir de datos históricos de resultados de dos décadas de experimentos de campo

de cebolla para la calibración y validación del modelo ISAREG en la obtención de los coeficientes de cultivo ( $K_c$ ) y la fracción de agotamiento ( $p$ ) adecuada para este cultivo.

Los datos del cultivo de la cebolla (*Allium cepa*, L.) variedad Red Creole utilizados son resultados de experimentos desarrollados durante el período noviembre – abril de 1985 - 1995 en la Estación Experimental de Riego y Drenaje del IIRD, situada en el municipio de Alquizar; provincia La Habana (Latitud 22° 46' N y Longitud 82° 37' W), a seis metros sobre el nivel medio del mar, sobre un suelo Ferralítico Rojo compactado.

La curva de la evapotranspiración de referencia mantiene una tendencia similar a la evaporación. En los meses de seca es relativamente baja pero aumenta rápidamente en el inicio de la época de lluvia. El suelo está clasificado como Ferralítico Rojo compactado (Rhodic Ferralsol) y el mismo ha sido ampliamente estudiado y caracterizado en cuanto a sus propiedades físicas y químicas (Cid, 1995). Para efectuar el riego al cultivo se utilizó el sistema localizado de alta frecuencia, con microaspersores de 41 l/h. El riego se programo para un 85% de la capacidad de campo con una norma total promedio de 3276 m<sup>3</sup>/ha.

1 Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje, La Habana, Cuba; [yoima@iird.cu](mailto:yoima@iird.cu)

2 Centro de Estudos de Engenharia Rural, Instituto Superior de Agronomía, Lisboa, Portugal; [lspereira@isa.utl.pt](mailto:lspereira@isa.utl.pt)


La calibración del modelo consistió en investigar el coeficiente de cultivo y la fracción de agotamiento para las tres fases fundamentales de desarrollo del cultivo de la cebolla, de forma tal que se proporcionen diferencias mínimas entre los valores de contenido de agua en el suelo observado y simulado.

Durante el proceso de calibración y validación de los coeficientes de cultivos y la fracción de agotamiento para el cultivo de la cebolla, los valores de contenido de humedad del suelo observado y simulado mantuvieron correspondencia, manteniéndose en un rango característico de este tipo de suelo, para este tipo de cultivo con valores entre 0.30 y 0.40 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>, presentando una buena correspondencia con los valores simulados por el modelo. En la **Tabla 1** se muestran los valores de  $K_c$  y  $p$  resultantes utilizados en la calibración y validación del modelo.

Estos resultados fueron sometidos a un análisis estadístico del cual se derivan los resultados presentados en la **Tabla 2**, donde se evidencia un buen ajuste entre los valores simulados y calibrados teniendo en cuenta los valores obtenidos para los coeficientes de regresión ( $b$ ) y los coeficientes de determinación ( $R^2$ ). Los errores medios ( $AEE$ ) resultantes de la estimación para el volumen de agua del sue-

lo fueron de 0.0094 y 0.0098 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup> respectivamente indicando un ajuste apropiado en ambos casos y que el modelo podría ser usado en otros cultivos.

Los resultados indican que la metodología empleada para la determinación de  $K_c$  y  $p$  en el cultivo de la cebolla a partir de a simulación utilizando el modelo ISAREG desde el punto de vista teórico resulta apropiada, al permitir determinar los  $K_c$  y los valores de  $p$  para las diferentes fases del cultivo los errores medios ( $AEE$ ) resultantes de la estimación indican un ajuste apropiado en ambos casos y que el modelo podría ser usado en otros cultivos.

**Palabras claves:** coeficientes de cultivo, necesidades de agua, balance hídrico, cebolla, modelos. 

**Tabla 1.** Datos de las fases de desarrollo del cultivo y parámetros utilizados en la calibración del modelo.

Fases de desarrollo	Fechas	$K_c$	$p$
Fase inicial	20/11 – 20/12	0.58	0.30
Fase de crecimiento	21/12 - 28/01	0.58-0.70	0.30-0.60
Fase intermedia	29/01 – 25/03	0.70	0.60
Fase final	20/04	0.70-0.50	0.60

**Tabla 2.** Resultados estadísticos referidos al contenido de humedad del suelo estimado por el modelo en la calibración (1986-1987) y validación (1993 – 1994) para la cebolla.

Período	$b$	$R^2$	$AEE$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )
(1986– 1987) calibración del modelo	0.988	0.862	0.009
(1993 – 1994) validación del modelo	0.781	0.844	0.009


$b$  coeficiente de regresión,  $R^2$  coeficiente de determinación,  $AEE$  error medio estimado.

## Crop coefficients for onion estimated with the model ISAREG.

### Summary

With the objective of calibrating and validating the ISAREG simulation model for determination of crop coefficients for horticultural crops using experimental field data obtained in the last 20 years in the Experimental Station of Irrigation and Drainage of Havana, Cuba, an application to the onion crop was developed. The calibration of the model consisted of the derivation of crop coefficients  $K_c$  and the soil water depletion fraction for no stress  $p$  for each phase of development of the onion crop. To perform that calibration the model was run successively until minimizing the differences between simulated and observed soil water content values. To validate the model,

the values obtained for  $K_c$  and  $p$  during the calibration were later used with onion field data relative to another year and the same soil (Red Ferralitic compacted soil). The results from comparing the simulated with the observed soil water content data for the calibration show a slope of the regression forced to the origin  $b = 1.008$  and  $R^2 = 0.86$ . Results for the validation were similar, with  $b = 1.012$  and  $R^2 = 0.77$ . The average errors of estimates are very low, respectively  $0.0094$  and  $0.0098 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ . Results indicate that model predictions are good and that the model is able to further explore field data relative to other crops obtained in the last 20 years in that Experimental Station and therefore be used to derive the crop parameters  $K_c$  and  $p$  adapted to the local soil and climate of Havana, Cuba.

**Keywords:** crop coefficients, crop water requirements, Water balance, onion, modelling. 

## SIMULAÇÃO DAS NECESSIDADES DE ÁGUA DAS CULTURAS PELA METODOLOGIA DOS COEFICIENTES CULTURAIS DUAIS. MODELO SIMDualKc

Pedro Godinho<sup>1</sup>, Bruno Sequeira<sup>1</sup>, Paula Paredes<sup>1</sup> e Luis S. Pereira<sup>1</sup>

### Resumo

A correcta programação e condução da rega requerem a disponibilidade de ferramentas de cálculo exactas, fáceis e rápidas de utilizar. O modelo SIMDualKc foi desenvolvido tendo em vista o cálculo da evapotranspiração cultural ( $ET_c$ ) e a calendarização da rega, usando a metodologia dos coeficientes culturais duais ( $K_c = K_{cb} + K_e$ ). Esta metodologia considera separadamente a evaporação do solo e a transpiração da cultura, analisando o modo como a água da precipitação e da rega são usadas pelas culturas.

O cálculo da evapotranspiração cultural, utilizando a metodologia dos coeficientes culturais ( $K_c$ ) médios relativos às várias fases das culturas, fornece resultados satisfatórios para cálculos com diferentes passos temporais, incluindo a estimativa da evapotranspiração diária para a maioria das aplicações. No entanto, para regas de alta-frequência, como é o caso da microrrega, e para culturas com cobertura parcial do solo, como sejam os pomares e as hortícolas, assim como para regiões com precipitação frequente, o uso da metodologia dos coeficientes culturais duais permite produzir estimativas mais exactas da evapotranspiração cultural. De facto, dividir o coeficiente cultural ( $K_c$ ) nas componentes de evaporação do solo ( $K_e$ ) e de coeficiente

cultural basal ( $K_{cb}$ ) permite uma melhor percepção das fracções de água, provenientes da precipitação ou da rega, utilizadas pela cultura, assim como avaliar as vantagens de manter uma fracção do solo seca ou a utilização de “mulches” para controlar a evaporação do solo ( $E$ ).

O objectivo principal do modelo SIMDualKc é desenvolver opções para a calendarização da rega, nomeadamente para culturas com cobertura parcial do solo, especialmente hortícolas e pomares, e/ou para sistemas com regas de alta-frequência como é o caso da microrrega.

A evapotranspiração cultural,  $ET_c$  ( $\text{mm d}^{-1}$ ), é calculada multiplicando a evapotranspiração de referência,  $ET_o$  ( $\text{mm d}^{-1}$ ), pelo coeficiente cultural coeficientes culturais de base,  $K_{cb}$  e  $K_e$ , (adimensional):

$$ET_c = (K_s K_{cb} + K_e) ET_o \quad (1)$$

onde:

$K_c$  - coeficiente cultural [ ];

$K_{cb}$  - coeficiente cultural basal [ ];

$K_s$  - coeficiente de stress [ ];

$K_e$  - coeficiente de evaporação da água do solo [ ].

<sup>1</sup> Centro de Estudos de Engenharia Rural, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa, Portugal, Tel.: +351213653339; Fax: +35121362 1575; [lspereira@isa.utl.pt](mailto:lspereira@isa.utl.pt)

O procedimento usado no SIMDualKc para calcular a  $ET_c$  consiste em: 1) recolha de dados sobre o solo, clima, cultura e sistema de rega. Os dados sobre o clima incluem a estimativa da  $ET_o$ , os dados sobre a cultura incluem a identificação da duração ajustada ao local das quatro fases do desenvolvimento e a selecção do correspondente  $K_{cb}$  tabelado; 2) o ajustamento dos  $K_{cb}$  tabelados para as condições climáticas locais da região, seguindo-se o cálculo do  $K_{cb}$  da cultura para cada dia do período de crescimento de acordo com o estágio de desenvolvimento da cultura; 3) cálculo diário dos valores do  $K_e$ ; e 4) cálculo diário da  $ET_c$ .

Usando esta metodologia o modelo executa a simulação do balanço hídrico do solo, produzindo um calendário de rega para a época de rega.

Este modelo foi testado comparando os teores de água no solo simulados e os observados, utilizando uma regressão forçada à origem recorrendo a dados referentes a diversos ensaios de campo. Na zona do Mediterrâneo estes ensaios realizaram-se: (1) no Sorraia, Portugal, em milho regado através de rega de canteiros, com e sem stress hídrico; (2) em Catania, Sicília, Itália, em citrinos regados através de micro-aspersão; (3) em Tel Hadya, Aleppo, Síria, com trigo regado por rega de aspersão; (4) em

Hendi Zitoun, Tunísia Central, com trigo de Inverno, regado através de rega por sulcos. O modelo SIMDualKc foi também testado utilizando dados de campo recolhidos no Vale de Fergana, Uzbequistão, para as culturas do trigo de Inverno e do algodão, utilizando rega por sulcos e diversos tipos de gestão de rega.

Os resultados obtidos das comparações entre os valores de água disponível no solo observados e simulados encontram-se sumariados na **Tabela 1**. Em todos os casos apresentados, o coeficiente de regressão ( $b$ ) é próximo de 1.0, o que indica que o modelo não apresenta tendência para sobre ou subestimar o teor de água no solo. Os valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) obtidos são todos próximos de 0.90, à excepção do pomar de citrinos, onde foram reconhecidos problemas de observação de teor de água no solo.

As simulações efectuadas com o modelo SIMDualKc demonstram uma boa concordância com os dados observados no campo. Os ensaios utilizados para a validação do modelo foram independentes e respeitantes a diversas culturas com gestão de rega diferentes, incluindo a rega deficitária e rega total, e a diferentes solos.

Os resultados obtidos através das diferentes regressões lineares forçadas à origem mos-


**Tabela 1.** Sumário das comparações entre os valores observados de teor de água no solo e os simulados pelo modelo.

Cultura	Sistema de rega	b	R <sup>2</sup>
Milho, Coruche, 3 regas	Rega por canteiros	0.99	0.90
Milho, Coruche, 2 regas	Rega por canteiros	1.02	0.85
Trigo, Hendi Zitoun	Rega por sulcos	1.00	0.94
Trigo, Tel Hadya, 1ª ano	Aspersão	1.00	0.82
Trigo, Tel Hadya, 2º ano	Aspersão	0.98	0.87
Citrinos, Catania	Micro-aspersão	0.96	0.75
Algodão, Fergana, 2003	Rega por sulcos	0.98	0.93
Algodão, Fergana, 2001 (Parcela 1)	Rega por sulcos	1.02	0.91
Algodão, Fergana, 2001 (Parcela 2)	Rega por sulcos	0.97	0.88
Algodão, Fedchenko, 2003	Rega por sulcos	1.01	0.93
Trigo, Fergana, 2001-02	Rega por sulcos	0.99	0.80



tram que, para todos os casos, os coeficientes de regressão têm valores próximos de 1.0, revelando a ausência de tendência do modelo para sobre ou subestimar o teor de água do solo. Os coeficientes de determinação apresentam valores perto de 0.90 para todos os casos, à exceção de um caso de pomar de citrinos, onde foram reconhecidos problemas ao nível da observação dos teores de água no solo. O

modelo demonstra precisão na simulação do balanço hídrico do solo, para todos os estágios culturais, o que indica uma boa estimativa da evapotranspiração cultural usando o método do coeficiente cultural dual.

**Palavras chave:** Evapotranspiração cultural, coeficientes culturais duais, balanço hídrico do solo, modelos de simulação. 

---


## Simulation of crop water requirements adopting dual crop coefficients: the SIMDualKc model

---

### Summary

Proper irrigation planning and scheduling require the availability of accurate, quick and easy to use tools. The SIMDualKc software was developed to compute crop evapotranspiration and irrigation scheduling using the dual crop coefficient approach. The SIMDualKc performs the soil water balance at field level, using a daily time step. This model was tested using data from several experimental fields in Portugal and various Mediterranean countries and Central Asia. The test was per-

formed with crop, soil water and meteorological data collected in those experimental fields by comparing the observed and simulated soil water content values using a regression through the origin. Results show a good agreement for all studied cases, which indicates that the model adequately predicts soil moisture during the growing season. It could be concluded that crop evapotranspiration was properly estimated and the model is able to predict crop evapotranspiration and irrigation requirements for planning and environmental studies.

**Keywords:** crop evapotranspiration, dual crop coefficients, irrigation scheduling, soil water balance, simulation models. 

## EXPERIENCIAS CIENTÍFICAS PARA OPTIMIZAR EL RIEGO DE LOS CULTIVOS EN ZONAS SEMIÁRIDAS

Félix Moreno<sup>1</sup>, María José Martín-Palomo<sup>2</sup>, Ignacio Girón<sup>1</sup>, José Enrique Fernández<sup>1</sup>, José Manuel Murillo<sup>1</sup>, Francisco Cabrera<sup>1</sup>

### Resumen

La explotación óptima de los recursos hídricos continua siendo un objetivo de gran importancia para los encargados del manejo del agua en zonas áridas y semiáridas. La mayor presión sobre los recursos hídricos, en estas áreas, es debida a la agricultura de regadío. Actualmente, la agricultura de regadío consume cerca del 80% de los recursos hídricos disponibles en muchas de las áreas áridas y semiáridas (Kirda y Kanber, 1999). Además, junto a la preocupación actual por la eficiencia en el uso del agua, la agricultura de regadío añade riesgos para la calidad de las aguas subterráneas, debido al lavado de solutos de la solución del suelo desde la zona radical de las plantas hasta los acuíferos (Moreno *et al.*, 1996; de la Rosa y Crompvoets, 1998). Como resultado, existe una continua necesidad de desarrollar y/o mejorar las herramientas disponibles para el manejo óptimo del agua en la agricultura de regadío de ambientes semiáridos y áridos.

En esta conferencia se exponen los resultados de experiencias llevadas a cabo con el fin de establecer bases científicas para optimizar el riego de los cultivos. Se presentan dos casos: a) riego localizado en olivo y b) riego por surco en maíz.

### Caso de estudio (a)

En el caso de estudio (a) los experimentos se realizaron en una plantación de olivos de 29 años (*Olea europaea* L. cv. Manzanilla), plantados a 7 x 5 m, próxima a la ciudad de Sevilla en el suroeste de España. La parcela se dividió en dos partes similares. En una de ellas se estableció un tratamiento de riego por goteo (I) con riego diario para satisfacer las necesidades del cultivo y en la otra los árboles se mantuvieron en condiciones de secano (tratamiento R) y el único aporte de agua fue la lluvia. Antes y durante los experimentos de riego se llevaron a cabo estudios de la distribución del sistema radical de la planta, del balance hídrico en el suelo y de transpiración diaria de los árboles midiendo la velocidad del flujo de savia mediante la técnica de compensación del pulso de calor.

En el tratamiento (R), la densidad radicular más elevada se observó por debajo de 0.5 m de profundidad. Asimismo, se encontró una gran cantidad de raíces lejos del tronco (> 2.5 m), lo que podría deberse a la presencia de raíces de árboles vecinos. En el caso del tratamiento (I) la densidad de raíces fue mayor en la zona de los goteros que en la zona no afectada por el riego. Este hecho está de acuerdo con la diferencia en el contenido de agua en los perfiles a diferentes distancias del tronco y de la zona

1 Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS, CSIC), Sevilla, España.

2 Escuela de Ingeniería Técnica Agrícola, Universidad de Sevilla, España.

de goteros. En el caso del tratamiento I, la mayor concentración de raíces se situó en la zona de goteros y hasta una profundidad de 0.6 m. Esto es importante para adoptar la estrategia más conveniente para la distribución y separación de los emisores en un sistema de riego localizado.

El balance hídrico del suelo permitió conocer los consumos de agua por el cultivo y por tanto establecer programas de riego más acorde con las disponibilidades del recurso hídrico.

El registro continuo con sensores en la planta es una prometedora técnica para establecer un control automático del riego, de acuerdo con las necesidades de la planta en tiempo real.

### **Caso de estudio (b)**


En el caso de estudio (b) los experimentos se llevaron a cabo en la finca experimental del IRNAS, próxima a la ciudad de Sevilla, en el suroeste de España. Un área de 0.1 ha se dividió en dos parcelas, A y B, de aproximadamente 450 m<sup>2</sup> cada una, con el fin de establecer dos tratamientos de fertilización nitrogenada. Ambas parcelas fueron cultivadas con maíz (cv. Prisma) durante tres años consecutivos. La parcela A se fertilizó con 510 kg N ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, una dosis ampliamente usada en la zona, mientras que en la parcela B se aplicaron 170 kg N ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. El cultivo fue regado por surco en ambas parcelas. En cada parcela se seleccionaron tres sitios de medidas, que fueron equipados con: un tubo de acceso para la sonda de neutrones para medir el contenido de agua del suelo hasta una profundidad de 2 m, a intervalos de 0.1 m; cinco tensiómetros de mercurio a las profundidades de 0.3, 0.5, 0.7, 0.9 y 1.1 m; tres extractores de capsula cerámica para extraer la solución del suelo, a 0.3, 0.6 y 0.9 m de profundidad.

El lavado de nitrato fue siempre mucho mayor en la parcela A (dosis mas alta de fertilización nitrogenada) que en la B, aunque en esta el drenaje fuese mayor que en A. La cantidades totales de N-NO<sub>3</sub> lavadas durante el

período experimental (1991-1993) fueron de 147.5 kg ha<sup>-1</sup> y 44 kg ha<sup>-1</sup> en las parcelas A y B respectivamente. Estas cantidades no fueron tan grandes como cabía esperar para nuestras condiciones, posiblemente a cusa de la sequía padecida durante el período experimental. Esto es particularmente cierto en la parcela A si tenemos en cuenta los elevados contenidos de N-NO<sub>3</sub> en el perfil a fecha de cosecha.

La aplicación de una fertilización nitrogenada elevada (~500 kg ha<sup>-1</sup>), tradicionalmente usada en nuestra región, resulta excesiva. Deja una cantidad elevada de nitratos en el suelo a fecha de cosecha, lo que aumenta el potencial de lavado de los mismos durante el período de suelo desnudo y lluvias. La aplicación de una fertilización nitrogenada de un tercio de la anterior (~170 kg ha<sup>-1</sup>) es suficiente para cubrir las necesidades del cultivo. Ello, es posible debido al N-NO<sub>3</sub> producido por mineralización, aunque nuestros suelos tengan bajos contenidos de materia orgánica, junto con el N-NO<sub>3</sub> del agua de riego.

La reducción de la dosis de fertilización a un tercio redujo el lavado de nitratos a una cuarta parte. La reducción de la dosis de fertilización nitrogenada no afectó al rendimiento del cultivo. No se observaron diferencias significativas entre las producciones del cultivo en las parcelas A y B durante los tres años del experimento. Solamente el peso de 1000 granos fue significativamente diferente entre las dos parcelas durante 1991.

**Palabras clave:** distribución radicular, olivo, riego, maíz, lavado de nitratos. 


## Scientific experiments to improve crops irrigation in semi-arid areas

---

### Summary

The present work shows scientific base needed to improve the water application by irrigation to tree and annual crops in semi-arid areas. Two case of study were considered: a) localized irrigation in olive trees and b) furrow irrigation in maize. In the first case we show results of experiments carried out in an olive orchard (*Olea europaea*, cv. Manzanilla) with drip irrigation. In these experiments were carried out measurements of soil physical properties, root distribution and root activity and the wetted zone in order to establish

the number and position of emitters. At the same time, we show the relevance of plant sensors (sap flow probes) for continuous and automated registers of the changes in olive tree water status. In the second case we show the results of experiments in furrow irrigated maize with tow levels of nitrogen fertilization. This was carried out to determine water use by the plant to reduce the nitrate leaching and its effects on yield crop. All these experiments clearly show the need to obtain scientific information in order to improve the crop water use in areas in which water is the limiting factor for agriculture.

**Keywords:** root distribution, olive tree, irrigation, maize, nitrate leaching. 

## RESPUESTA DEL DURAZNERO A DIFERENTES PATRONES DE APLICACIÓN DEL AGUA

Pablo Morales<sup>1</sup>, Mario García<sup>2</sup>, Raquel Hayashi<sup>3</sup>, Lucía Puppo<sup>4</sup>

### Resumen

Las investigaciones de respuesta al porcentaje de suelo mojado por riego localizado en frutales de hoja caduca y especialmente en climas húmedos, actualmente son muy escasas. En trabajos previos en Uruguay se estableció que en los suelos evaluados, los patrones de mojado en riego por goteo fueron sustancialmente diferentes a los esperables de acuerdo a la bibliografía, con menores anchos de la banda mojada y muchas veces sin solape de los bulbos. Asimismo, las pérdidas por percolación detectadas fueron importantes.

En este trabajo se plantea como objetivo evaluar la repuesta vegetativa y productiva de un monte joven de duraznero cv. "Dixiland" al variar el patrón de mojado mediante el uso de diferentes emisores, a los efectos de generar la información que permita el correcto diseño y manejo del riego localizado en las condiciones de Uruguay.

El ensayo se instaló en un monte de duraznero (*Prunus persica* L. Batch) implantado en setiembre de 2003 en el Centro Regional Sur de la Facultad de Agronomía, 31 km al norte de la ciudad de Montevideo, en un marco de

plantación de 4.5 x 2.5 m. El suelo tiene un horizonte superficial de 25 cm franco limoso, y luego un horizonte franco arcillo limoso.

Se aplicaron cinco tratamientos de riego en un diseño de cuadro latino, con cinco repeticiones, en parcelas de siete árboles contiguos de los cuales se evaluaron los cinco centrales. Estos fueron: T1 – seco; T2 - goteros de 1.6  $lh^{-1}$  a 0.4m; T3 - goteros de 4  $lh^{-1}$  a 1m; T4 - microjets de 21  $lh^{-1}$  a 5m; T5 - goteros de 2  $lh^{-1}$  a 1m, con dos líneas por fila. El caudal de todos los tratamientos regados era, por lo tanto, 4  $lh^{-1}m^{-1}$ . A estos cuatro tratamientos se les aplicó la misma dosis de agua, equivalente al 100% de la  $ET_c$ , y la diferencia entre ellos fue el patrón de mojado. En los años evaluados se aplicaron 170, 400 y 210 mm respectivamente.

Se realizaron muestreos para la determinación de la forma y tamaño de los bulbos mojados en los cuatro tratamientos con riego y también en el T1 (seco) como control. El porcentaje de suelo mojado, a 0.30 m de profundidad, calculado respecto a la superficie de la proyección horizontal de la copa fue: T2 16%, T3 18%, T4 22% y T5 44%.

Se evaluó crecimiento vegetativo (sección de

1 Estudiante de Maestría, Departamento de Suelos y Aguas, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Avda. E. Garzón 780, 12900 Montevideo, Uruguay. [pmorales@fagro.edu.uy](mailto:pmorales@fagro.edu.uy)

2 Profesor Agregado, ídem. [mgarciap@fagro.edu.uy](mailto:mgarciap@fagro.edu.uy)

3 Ayudante de Investigación, ídem. [rhayashi@fagro.edu.uy](mailto:rhayashi@fagro.edu.uy)

4 Asistente, ídem. [lpuppo@fagro.edu.uy](mailto:lpuppo@fagro.edu.uy)

tronco y peso de poda), crecimiento de los frutos, conductancia estomática, potencial hídrico foliar y xilemático, rendimiento en la cosecha y calibración comercial de los frutos.

Los dos parámetros de crecimiento vegetativo, peso de poda y crecimiento de la sección del tronco tuvieron un comportamiento similar. En ambos casos la tendencia fue que el T3 produjo los mayores crecimientos, mientras que el seco (T1) los menores.

En cuanto al potencial hídrico foliar y al potencial xilemático, en las distintas fechas el seco estuvo siempre con un potencial significativamente más negativo que los tratamientos regados. Es bastante sorprendente verificar que el T3 es generalmente el que tuvo el menor potencial de todos los tratamientos regados, mientras que también es el que tuvo los mayores crecimientos vegetativos. Las medidas de conductancia mostraron una muy buena relación con las de potencial; los tratamientos de menor potencial hídrico tuvieron también menor conductancia estomática.

Las curvas de crecimiento de los frutos en ambas temporadas tuvieron una tendencia similar, con los tratamientos regados por goteo (T2, T3 y T5) con los mayores tamaños, el riego con microjet (T4) tamaño intermedio y el seco (T1) el menor tamaño.

En la primera cosecha del ensayo los cuatro tratamientos regados rindieron significativamente más que el seco (T1), aunque sin diferencias entre ellos (Tabla 1). Sin perjuicio

de esta falta de diferencias, se insinuó una tendencia similar a la del crecimiento vegetativo, es decir, que el T3 hasta ahora produjo árboles algo más grandes y quizás por eso mismo, con más producción.

Los tratamientos regados por goteo (T2, T3 y T5) tuvieron una mayor producción de los frutos del calibre “Especial” (de más de 180 g) que son los de mayor valor comercial. El seco (T1) es el de menor producción de estos frutos, mientras que el tratamiento regado por microjet (T4) tiene una producción intermedia. El T1 produjo alrededor de un 15% de frutos de descarte, el doble aproximadamente que el promedio de los cuatro tratamientos regados.

En conclusión, en las variables analizadas los tratamientos que recibieron riego no se diferenciaron estadísticamente entre sí, pero todos presentaron valores significativamente superiores al seco ( $p < 0.05$ ).

El volumen de suelo mojado regando con una sola línea portagotos por fila de árboles (T2 y T3) fue similar (16 y 18%), independiente de los distintos caudales y distancias entre ellos (1.6 y 4.0 l h<sup>-1</sup>, 0.40 y 1.00 m, respectivamente). Usando microjets, no se logró aumentar significativamente el volumen de suelo mojado, llegando sólo a 22% de la proyección de la copa. Sí se dio un aumento significativo de dicho volumen (44%), regando con dos líneas portagotos por fila.

No se evidenció ninguna respuesta entre los

**Tabla 1.** Resultados de la cosecha 2006/07.


	Rendimiento (kg árbol <sup>-1</sup> )		Número de frutos		Tamaño (g fruto <sup>-1</sup> )	
T1	12.52	b	94	c	134	b
T2	19.87	a	132	ab	152	a
T3	22.11	a	145	a	157	a
T4	19.91	a	130	ab	155	a
T5	17.50	a	110	bc	166	a

Valores seguidos de la misma letra no son diferentes de acuerdo al test de Tukey a  $p=0.05$ .

tratamientos regados al porcentaje de suelo mojado para todas las variables analizadas. En ningún caso el T5, que mojaba más del doble de volumen que los otros tratamientos, tuvo una respuesta diferencial.

Se plantea la hipótesis que los efectos de es-

tos tratamientos, en un cultivo perenne, serán acumulativos y se podrán expresar en años sucesivos.


**Palabras clave:** frutales de hoja caduca, patrones de mojado, *prunus persica*, riego localizado, volumen de suelo mojado. 

## Peach trees response to different water application patterns.

### Summary

An experiment was carried out for three years on a just planted peach grove, in the south of Uruguay. Five irrigation treatments were applied: without irrigation (T1), drippers of 1,6 l h<sup>-1</sup> at 0.4m (T2), drippers of 4,0 l h<sup>-1</sup> at 1m (T3), microjets of 21 l h<sup>-1</sup> at 5m (T4) and drippers of 2,0 l h<sup>-1</sup> at 1m, 2 lines by row (T5). In all treatments with irrigation, the same water dose was applied. The

percentage of wetted soil volume was 16, 18, 22 and 44% respectively. For all the analyzed variables, the treatments with irrigation were not statistically different, but all of them were significantly different from T1 (p<0.05). No response to the percentage of wet soil among the irrigated treatments was detected. The hypothesis that the effects of these treatments, in a perennial crop, would be cumulative and would show up in the following years, is considered.

**Keywords:** fruit trees, microirrigation, *prunus persica*, soil wetted volume, wetting patterns. 



## MANEJO DEL RIEGO EN DURAZNERO cv. DIXILAND BASADO EN LA EVAPOTRANSPIRACIÓN MÁXIMA DEL CULTIVO

García, C.<sup>1</sup>, Docampo, R.<sup>1</sup>, Casanova, S.<sup>2</sup>, Moura, M.<sup>3</sup>

### Resumen

El Uruguay se caracteriza por tener un clima muy variable entre años y dentro de año, lo que lleva a déficits hídricos muy frecuentes afectando principalmente la estabilidad de la producción y calidad de fruta. Estos déficit a fines de primavera y principios de enero hacen que sea necesario la suplementación del riego. La superficie ocupada por durazneros es de 2100 ha, de las cuales el 51% se encuentra bajo riego. Dentro de esta especie el cultivar Dixiland es uno de los encargados en aportar gran parte de la producción de fruta al mercado. Estudios sobre manejo del riego y la respuesta de rendimiento de duraznero al agregado de agua, así como la eficiencia del uso del agua por las diferentes especies se tornan importantes.

El experimento fue conducido en la Estación Experimental de INIA Las Brujas, Canelones, Uruguay. El monte fue plantado en julio de 1996, con un arreglo de plantas de 4.5m entre líneas y 1.5m entre plantas (1450 pl/ha). La variedad usada fue Dixiland. El diseño experimental fue de parcelas al azar con cuatro repeticiones, cada parcela constaba con dos árboles centrales los cuales eran evaluados más dos árboles de borde entre los tratamientos.

Los riegos eran aplicados diariamente al 50%, 100% y 150% de la evapotranspiración máxima del cultivo ( $ET_c$ ) toda vez que la  $ET_c$  del cultivo acumulaba un valor de 35 mm.

Fueron realizadas medidas de crecimiento tales como: diámetro de fruta, diámetro de tronco y altura de planta. A la cosecha fueron contados y pesados todos las frutas de cada árbol. Para el control de la humedad fueron colocados tensiómetros en todos los tratamientos a 15 y 30 cm de profundidad de suelo y varillas de TDR en las mismas profundidades. El sistema de riego fue por gotero, de 2, 4 y 6 l/h, según los tratamientos.

El análisis estadístico fue realizado usando el modelo general lineal de SAS (1999). Las medias fueron comparadas por regresión múltiple con un error de probabilidad del 5%.

Para las variables de crecimiento estudiadas (crecimiento y diámetro de fruta) no fueron observadas diferencias significativas entre los manejos de riego en ninguna de las tres zafas evaluadas. El diámetro promedio de todos los manejos y los años fue 66 mm. Para el peso promedio de fruta no fueron observadas diferencias significativas entre los manejos pero hubo diferencias entre los años (**Tabla 1**). Es-

1 Ing. Agr. (Dr.) Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria-INIA Las Brujas. Ruta 48 km 10, Canelones. Email: [cgarcia@inia.org.uy](mailto:cgarcia@inia.org.uy)

2 Ing. Agr. INIA Las Brujas.

3 Bach. Pasante de la Facultad de Agronomía. INIA Las Brujas.

**Tabla 1.** Variables de crecimiento medidas en el experimento de manejo de riego de duraznero cv. Dixiland (2004-07)


Manejo del riego (% $ET_c$ )	Diámetro de fruta (mm)	Desvío estándar (mm)	Peso de fruta (kg)	Desvío estándar (kg)
<b>2004-05</b>				
50	69.34	5.13	0.202	0.012
100	71.30	5.97	0.187	0.013
150	68.20	6.59	0.180	0.010
<b>2005-06</b>				
50	71.97	3.8	0.327	0.032
100	68.31	14.66	0.376	0.038
150	68.58	3.22	0.326	0.017
<b>2006-07</b>				
50	63.29	6.31	0.150	0.040
100	63.72	7.22	0.145	0.051
150	64.72	4.49	0.151	0.051

tos resultados concuerdan con García Petillo *et al.* (2003) donde no verificaron diferencias estadísticas en cinco de los seis años de evaluación de duraznero bajo riego.

Durante el período desde el 1 de noviembre al 1 de marzo las precipitaciones ocurridas fueron 643, 409 y 480 mm y la la evapotranspiración máxima del cultivo ( $ET_c$ ) estimada a través de la ecuación Penman-Monteith fue de 665, 680 y 597 mm en las zafas 2004-05, 2005-06 y 2006-07, respectivamente. Las precipitaciones ocurridas en la primera zafra cubrieron prácticamente las necesidades del cultivo debiendo realizar algunos riegos cerca de la cosecha de fruta, en las zafas 2005-06 y 2006-07, hubo que realizar un número mayor de riegos. En la zafra 2005-06 fueron aplicados 55, 105 y 210 mm para los manejos de riego de 50, 100 y 150% de la  $ET_c$ . Este aumento

en la cantidad de agua aplicada, no resultó en un mayor rendimiento significativo de fruta. Datos similares fueron encontrados en la zafra 2006-07 donde se aplicaron 30, 60 y 120 mm para los manejos de riego de 50, 100 y 150% de la  $ET_c$ .

En el análisis de regresión conjunta del resultado de producción promedio de los tres años, si bien no existieron diferencias significativas entre los manejos, hubo una mayor eficiencia en el uso del agua de riego, donde el manejo de 50% de la  $ET_c$  fue 70% más eficiente que el manejo de 100% de la  $ET_c$ . En promedio de las tres zafas el manejo de riego aplicando el 50% de la  $ET_c$ , produjo 78 kg/ha/m<sup>3</sup> de agua de riego aplicada (Tabla 2).

**Palabras claves:** lámina de riego, evapotranspiración, densidad de plantas. 

**Tabla 2.** Rendimiento anual de fruta, promedio de producción en las tres zafas evaluadas y producción promedio por hectárea, lámina promedio aplicada al cultivo y eficiencia del uso de agua de riego en el experimento de manejo de riego de duraznero cv. Dixiland (2004-07).


Manejo del riego (% $ET_c$ )	Rendimiento (kg/planta)				Lámina de riego aplicada, (mm)	Rendimiento promedio (kg/ha)	Productividad del agua (kg de fruta/m <sup>3</sup> de agua)
	2004-05	2005-06	2006-07	Promedio (2004-07)			
50	11.37	25.57	22.71	15.28	36.00	27958	77.66
100	8.58	28.73	25.48	13.02	70.00	30727	43.90
150	9.10	23.03	24.77	14.72	140.00	28438	20.31

## Irrigation water management in peach cv. *Dixiland* based on cumulative maximum crop evapotranspiration

### Summary

Peach plants cv. *Dixiland* were submitted to different irrigation management with the objective to evaluate supplementary water irrigation to natural rainfall based on the maximum crop evapotranspiration ( $ET_c$ ). Treatments were water irrigation application at 50%, 100% and 150% of  $ET_c$ . Experiment was conducted in INIA Las Brujas, Uruguay, in an orchard with 1450 plants by hectare. The experimental plots were arranged in a complete randomized design with four rep-

lications. Experimental plots were arranged in a complete randomized design with four replications. Regression analysis did not find significance differences due to treatments in total yield, fruit diameter and soluble solid for any of the three growing seasons. Total irrigation depth applied at 50% and 150% was 23 and 90 mm to 2004-05 growing season, 55 and 210 mm to 2005-06 growing season and 30 and 210 mm to 2006-07 growing season. According to these results irrigation at 50% of  $ET_c$  each time that the accumulative maximum crop evapotranspiration of peach plant reaches values of 35 mm is recommended.

**Keywords:** irrigation depth, evapotranspiration, plant density. 

## ESTADO DA ARTE DA IRRIGAÇÃO EM TOMATEIRO PARA PROCESSAMENTO NO BRASIL

Henoque R. da Silva<sup>1</sup>, Waldir A. Marouelli,  
Washington L. de Carvalho e Silva

### Resumo

O Brasil é um grande produtor de tomate para processamento industrial com estimativa de produção de cerca de 1,3 milhões de toneladas, numa área de 16,6 mil hectares e produtividade média de 78.1 toneladas por hectare, para o ano de 2007. O estado de Goiás é responsável por cerca de 75% da produção nacional.

O estabelecimento e adaptação da cultura do tomate na região do Brasil Central foi favorecida pelas condições edafoclimáticas dos cerrados. A cultura se desenvolve durante a estação seca do ano (março a setembro) requerendo, portanto, o uso de irrigação. Os sistemas de irrigação por pivô central e por gotejamento são os mais usados (>95%).

A irrigação tem efeito direto sobre a incidência de pragas e doenças do tomateiro para processamento, notadamente, irrigações em excesso. A adoção de manejo adequado de água permite racionalizar seu uso, minimizar o gasto de energia, a incidência de doenças e os impactos ambientais.

Os principais problemas do sistema de produção evidenciados pela irrigação incluem a falta de estudos em rotação de culturas em sistemas por pivô central, adoção do sistema

de irrigação por gotejamento, necessidade de água da cultura, fertirrigação, controle de pragas e doenças e enfoque econômico dos novos projetos de pesquisa.

O objetivo deste trabalho é apresentar um inventário de tecnologias usadas atualmente na irrigação do tomate para processamento industrial no Brasil.

A cultura do tomate além da geração de receita emprega grande quantidade de mão-de-obra para as operações de transplante, replantio e colheita, gerando em média de 2 a 3 empregos por hectare por ano.

Acima de 90% da área cultivada na região dos cerrados do Brasil Central é irrigada por pivô central e apenas cerca de 5% é irrigada por gotejamento. As principais vantagens do pivô central são: uso reduzido de mão-de-obra, boa uniformidade de distribuição de água e relativamente baixo custo de aquisição do equipamento.

A irrigação por gotejamento é tida como uma tecnologia conservadora de água e energia que associada à prática de fertirrigação, pode proporcionar incrementos de produtividade de frutos e economia de água da ordem de 10% a 30%. Por não molhar a folhagem e os

<sup>1</sup> Embrapa Hortaliças, Caixa Postal 218, CEP 70359-970, Brasília-DF, Brasil, [henoque@cnph.embrapa.br](mailto:henoque@cnph.embrapa.br); [waldir@cnph.embrapa.br](mailto:waldir@cnph.embrapa.br); [washington.silva@embrapa.br](mailto:washington.silva@embrapa.br)

frutos, contribui para reduzir a incidência de doenças da parte aérea, diminuindo o uso de fungicidas em até 50%.

A seleção do sistema de irrigação mais adequado deverá ser feita, preferencialmente, mediante uma análise de indicadores econômicos. Utilizando dados médios da safra de 2006, os indicadores econômicos sinalizam que a escolha tende a recair sobre o sistema por gotejamento. Se o produtor já dispõe de pivô central, não é vantajoso adquirir um novo sistema, mas o equipamento deverá estar em perfeito estado de manutenção.

O ciclo da cultura nas condições de cerrado do Brasil Central dura, em média, 115 dias. O consumo de água do tomateiro durante o ciclo situa-se entre 300 mm e 400 mm podendo, entretanto, variar de 133 a 609 mm; os valores recomendados do coeficiente de cultura variam de 0.45 a 0.55 (0.60 a 0.70), 0.40 a 0.50 (0.50 a 0.60), 0.95 a 1.05 (0.95 a 1.05) e 0.75 a 0.85 (0.60 a 0.70) para as fases inicial, vegetativa, reprodutiva e maturação, respectivamente, para os sistemas por gotejamento e pivô central (valores entre parêntesis).

No que se refere ao manejo da irrigação para as condições edafoclimáticas do Brasil Central, usar valores de tensão de água no solo de 50 a 100 (100 a 200), 10 a 15 (30 a 50) e 40 a 50 (100 a 200), respectivamente para as fases vegetativa, reprodutiva e maturação para reposição do consumo de água da cultura usando os sistemas por gotejamento e pivô central (valores

entre parêntesis). Ainda, sobre o método do balanço hídrico a implantação do Sistema Irriga® de manejo e monitoração da irrigação em áreas de produtores ligados à indústria de processamento foi um importante avanço, permitindo ao produtor receber a programação de irrigação via recurso da Internet. A **Tabela 1** ilustra a recomendação geral para o manejo de irrigação na região dos cerrados do Brasil Central.

Quanto ao momento de suspender as irrigações, a maior produtividade de frutos foi obtida quando estas foram suspensas 21 dias antes da colheita, com 10% dos frutos maduros. A maior eficiência de uso de água, relativo à produtividade de frutos e rendimento de polpa foi observada quando a última irrigação ocorreu aos 37 e 45 dias após o florescimento, respectivamente. Para o gotejamento, a maior produtividade de frutos foi obtida para o turno de rega de 1 a 2 dias e paralisação com 70% a 90% de frutos maduros.

No Brasil, poucos estudos foram realizados objetivando determinar o manejo adequado da fertirrigação para a cultura do tomate para processamento.

Dentre os benefícios do uso da rotação de cultura e dos sistemas de plantio direto e reduzido estão a redução da erosão e do impacto da chuva ou da irrigação por aspersão, e o aumento da eficiência no uso de água pelas plantas.

**Tabela 1.** Parâmetros para o manejo da irrigação em sistemas por gotejamento e aspersão (valores entre parêntesis).

Parâmetros	Estádio de desenvolvimento (ciclo médio de 115 dias)			
	Inicial	Vegetativo	Frutificação	Maturação
Duração (dias)	7	25	55	28
Turno rega (dias)	1-2 (1-3)	4-6 (5-10)	1-2 (5-8)	3-4 (7-10)
Tensão crítica (kPa)	---	50-100 (100-200)	10-15 (30-50)	40-50 (100-200)
Coef. de cultura (K <sub>c</sub> )	0.45-0.55 (0.60-0.70)	0.40-0.50 (0.50-0.60)	0.95-1.05 (0.95-1.05)	0.75-0.85 (0.60-0.70)
Paralisar as irrigações com 30-50% de frutos maduros para aspersão e 60-70% para gotejamento.				

Com relação a estudos em andamento, destaque para o projeto de pesquisa sobre a produção integrada do tomate indústria (PITI) que objetiva a produção de alimentos de alta qualidade, utilizando-se de técnicas que consideram os impactos ambientais sobre o sistema solo/água/produção. Dentre as diversas práticas culturais da PITI, a irrigação é, sem

dúvida, uma das principais a ser considerada, pois tem efeito direto na produtividade e qualidade de frutos, na incidência de pragas e de doenças e na sustentabilidade dos recursos hídricos.

**Palavras chave:** *Lycopersicon esculentum*, manejo de irrigação, pivô central, gotejamento.



## State of the art of irrigation for processing tomatoes in Brazil.

### Summary

The processing tomato crop is of utmost social and economical importance for income and labor generation in the production areas of Brazil particularly for Goiás, the largest produce state. Despite of actual and relatively high technological level, further research and technology transfer are needed for both irrigation scheduling improvement and the adoption by farmers. The objective of this paper is to present an inventory of technologies of irrigation currently available for processing tomato

crop in the “Cerrado” Region of Central Brazil. It has been found that significant research contributions were incorporated to the crop production system in the last ten years, and greatly contributed for the irrigation scheduling progress and adoption. Besides improved yield and quality produce of tomato crop, irrigation scheduling also promotes conservation of water and energy, minimizes occurrence of diseases and environmental impacts on natural resources. To date, irrigation scheduling research studies are directed mainly to center pivot and drip irrigation systems.

**Keywords:** *Lycopersicon esculentum*, irrigation scheduling, center pivot, drip irrigation.



## PROYECTO SIAR LIMARÍ, CHILE: CONDICIONES INICIALES DE PRODUCCIÓN Y MANEJO DEL RIEGO EN PREDIOS SELECCIONADOS PARA EFECTUAR ENSAYOS DE VALIDACIÓN

Alfonso Osorio<sup>1\*(1)</sup>, José Cuevas<sup>(2)</sup>, Javier Zeballos<sup>(3)</sup>, Luis Leris<sup>(4)</sup>,  
Rubén Alfaro<sup>(5)</sup>

### Resumen

A nivel mundial, la incorporación de riego de alta eficiencia se ha incrementado sostenidamente; debido a resultados positivos en producción y calidad de frutos. Esto ha permitido incorporar al regadío amplias áreas en el mundo. El uso adecuado del riego implica conocer el comportamiento de los cultivos frente al agua aplicada, en función de las variaciones climáticas dentro de una temporada y determinar las cantidades óptimas para un adecuado nivel productivo, usando tecnologías de monitoreo e interpretación de estas variables para llegar al nivel óptimo. El Proyecto “Sistema Interactivo de Apoyo al Riego, en la Provincia de Limarí, CHILE, SIAR Limarí-Chile”, actualmente en ejecución, intenta validar los parámetros o factores asociados a clima, suelo, cultivo y aplicación de agua; que tienen directa relación o influyen en la respuesta de los cultivos bajo riego, que en este caso son paltos, vides y mandarinas.

El área de influencia, de aproximadamente 30.000 ha, es una zona con una variación de altura entre los 100 y 1.100 msnm; bajo régimen hidrológico nivo pluvial y precipitaciones medias de 200 mm anuales. Los principales cultivos del área son: vid de mesa, 9.681 ha; paltos 3.932 ha y mandarinos 1.493 ha.

Al inicio se realizó una encuesta en el área y se seleccionaron 10 predios para utilizarlos como unidades de validación, ubicados en tres sectores: *alto*, alta radiación y alta demanda atmosférica, sobre Piedmont arcilloso; *medio*, con menor demanda atmosférica, sobre terrazas y lecho de río, texturas franca arcillosa a franca arenosa y *bajo*, con alta influencia marina y suelos muy arcillosos en terrazas altas y arenosos ubicados en caja de río.

A partir de la ubicación de los predios y utilizando información disponible de evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ ) entregada por la Comisión Nacional de Riego (CNR) se determinó la variación de la Evapotranspiración Potencial en el área agrícola bajo proyecto. Se constató una variación importante, superior al 50%, entre los puntos más alto (535 msnm) y más bajo (169 msnm). Tal situación se produce por la variación que experimentan los factores que afectan el cálculo de  $ET_o$ , entre ellos: temperatura, viento, humedad relativa y radiación solar; produciéndose un gradiente térmico entre mar y cordillera. En el sector alto se producen altas temperaturas diurnas durante el verano principalmente. En el sector bajo, ubicado a unos 30 km del mar, las variaciones de temperatura no son tan altas, generando menores demandas de evapotranspiración. En vista de ello, el manejo del riego debiera estar definido por las condicio-

1\* Investigadores y profesionales del Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA, Centro Regional de Investigación Intihuasi, Casilla 36-B, La Serena. [www.inia.cl](http://www.inia.cl).

(1) aosorio@inia.cl; (2) jcuevas@inia.cl; (3) jzeballos@inia.cl; (4) luisleris@inia.cl; (5) ralfaro@inia.cl



nes de demanda; y a igualdad de condiciones de cultivo, el volumen de agua aplicado en la parte baja del valle debería ser mucho menor.

En todos los casos el mayor consumo potencial de agua se produce principalmente entre los meses de noviembre a febrero, comprometiendo sobre el 50% del consumo y que coincide, en el caso de vides de mesa, con el período de maduración y cosecha. Por el contrario en el caso de paltos o aguacates, dicho período coincide con la floración y en mandarinas corresponde con el desarrollo de frutos. Los datos de cantidades de agua utilizada en los predios se obtuvieron de los registros de los propios productores.

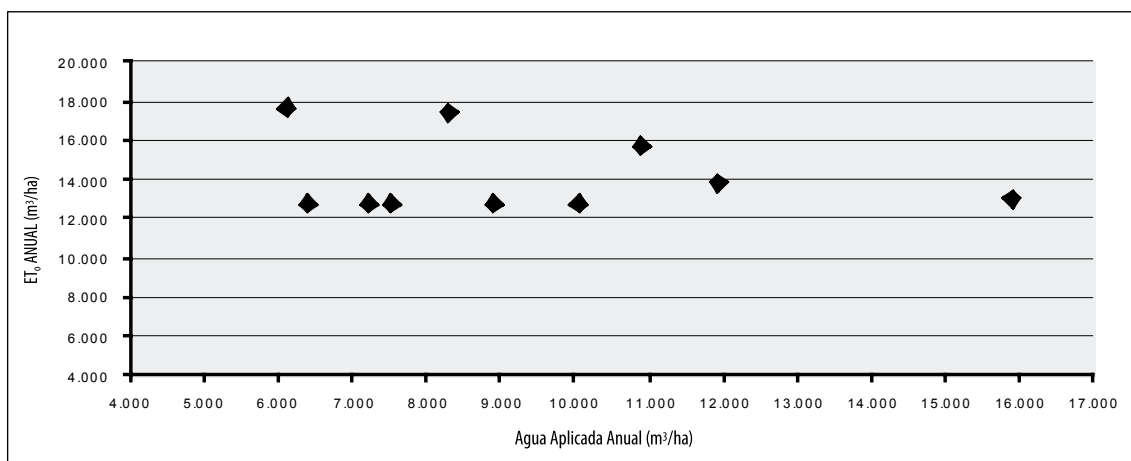
Se comparó valores anuales de Agua Aplicada (AA) y  $ET_o$  (Figura 1); existiendo una gran amplitud en los valores de AA, desde 6.000 a 16.000  $m^3/ha$ . Por el contrario la  $ET_o$  en el sector muestra una variación cercana al 50%, con valores extremos de 12.000 y 18.000  $m^3/ha$ . Esto es atribuible a condiciones particulares de eficiencia en la aplicación del agua o aplicación de técnicas no adecuadas de control del riego.

Al relacionar los valores acumulados de la  $ET_o$  con el agua efectivamente aplicada, expresadas en  $m^3/ha$ , permite establecer la mayor o menor uniformidad de los datos registrados y su mayor o menor desplazamiento respecto a la recta  $AA = ET_o$ , con pendiente 1.

Considerando el tipo de cultivo es esperable que las rectas obtenidas estén por debajo de aquella con pendiente 1. Al analizar los coeficientes que forman parte de la ecuación de las rectas, se desprende que la pendiente ( $\Delta y/\Delta x$ ) representa una estimación global del Coeficiente de Cultivo  $K_c$ , reflejando condiciones de mayor o menor evapotranspiración respecto al cultivo de referencia. Para mandarinas y vides las rectas se mantienen bajo la recta unitaria, y refleja el uso de cantidades de agua bajo las estimadas. En paltos, un huerto arrojó valores por sobre esta recta, asociado a un manejo inadecuado del agua. Sin embargo, los niveles de uniformidad de emisión de emisores fueron superiores a 90%; lo que revela buenas condiciones de entrega de agua en el sistema de goteo.

Al evaluar la productividad de los predios, usando el Eficiencia de Uso del Agua (EUA), expresada como kg de fruta dividido por  $m^3$  de agua; la mayoría de los casos muestra valores superiores a 1. La excepción es el cultivo de paltos donde en 2 casos la EUA es inferior a 1  $kg/m^3$ , reflejando problemas de manejo general del cultivo o bien condiciones climáticas adversas.

**Palabras clave:** riego por goteo,  $ET_o$ ,  $K_c$ , paltos, mandarinos, vid de mesa.



**Figura 1.** Relación entre Agua Aplicada y  $ET_o$ , anualmente en los diferentes sectores.

## Project SIAR Limarí, Chile: initial conditions of production and irrigation management in fields selected to validation tests.


---

### Summary

In 2006's it was implemented the project SIAR Limarí, in the Limarí valley, Chile, located between 28° and 30° of South latitude. This project corresponds mainly to an interactive system of support to growers, using Internet and through information available in a Web page ([www.siar.cl](http://www.siar.cl)). It implied to make an initial deep diagnosis of the characteristics and technologies available in agricultural sector in the project area, that involves a surface approximated of 50000 ha. Product of that diagnostic, conducted in 150 agriculturist fields, 10 agricultural fields were selected to make validation works of technologies, establishing in them experimental units of irrigation, in which the volumes of irrigation will be contrasted with that used by the producer, using 3 treatments with deficit volumes of water.

Previously to the establishment of the tests, initial conditions of production and irrigation management in 10 selected fields cultivated with grapevines, avocado and mandarins were evaluated. The aim was to define real conditions of irrigation and their relation with the productive aspect in the selected fields.

The result indicates that a great variability exist in volumes of water applied to the crops; not bearing relation to variation that the reference evapotranspiration ( $ET_0$ ) experiences in the project area. This varies from 1200 to 1800 mm/year and the applied water fluctuates between 600 and 1600 mm/year. On the other hand, important difference between the irrigation management of selected field and its relation with the plant requirements are observed. Nevertheless, the productive response of plants adjusts to the standards that are handled for the zone. With respect to the irrigation systems, the obtained uniformity coefficients are superior to 85%, indicating a good operation.

**Keywords:** Drip irrigation, reference evapotranspiration, crop coefficients, avocado, mandarin, table grapes. 

## LIMITACIONES DEBIDAS A CALIDAD DE DATOS EN EL USO DE LA ECUACIÓN FAO-PM PARA LA GENERACIÓN DE MAPAS DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA EN VENEZUELA

Gennady Bracho M.<sup>1</sup>, Marelia Puche C.<sup>1</sup>

### Resumen

Cuando se generan mapas con información climatológica, uno de los principales inconvenientes es la falta de datos, la inadecuada distribución espacial y calidad de los registros, así como la carencia de criterios unificados para la selección de estaciones y la estimación de variables climáticas. Durante la elaboración del “Mapa de Zonas Áridas, Semiáridas y Subhúmedas Secas de América Latina y el Caribe”, específicamente en el caso particular de Venezuela, se detectaron una serie de limitaciones en la recopilación de los datos climáticos necesarios para la aplicación de la ecuación FAO Penman-Monteith (P-M), con fines de estimación de la evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ), y para la posterior clasificación de las zonas en función de la disponibilidad de agua.

En este estudio el proceso de selección de estaciones se basó en los siguientes criterios: 1) Estaciones con registros de radiación solar y/o insolación, temperatura máxima y mínima del aire, humedad relativa máxima y mínima del aire y velocidad del viento, ya que la ecuación de preferencia para estimar evapotranspiración es FAO P-M; 2) El número de años de registro mínimo es: 5 años para todos los

elementos, excepto para velocidad del viento que se sugirió como mínimo un año; 3) Las series climatológicas deben cumplir con los criterios de calidad: homogeneidad, y número reducido de datos faltantes y dudosos. Para el cálculo de la  $ET_0$ , así como de los índices del régimen hídrico se utilizó el sistema desarrollado en el marco del proyecto, para el cálculo de los índices del régimen hídrico (CIRH).

De un total de 164 estaciones climatológicas principales, se seleccionaron 101 estaciones, debido a limitaciones relativas a: número y distribución espacial de estaciones climatológicas, y a la longitud de registro. En cuanto al número de estaciones, la principal limitación que condujo al descarte de estaciones fue la falta de los registros mínimos requeridos de radiación solar global, humedad relativa y velocidad del viento. En las estaciones seleccionadas se identificaron problemas de calidad de datos: datos dudosos, datos faltantes y falta de homogeneidad de las series mensuales. En pocas estaciones se presentaron datos dudosos de radiación, temperatura y humedad relativa del aire. Sin embargo, fue frecuente la presencia de datos faltantes particularmente de velocidad del viento y radiación solar global. Estos problemas de homogeneidad, se observaron predominantemente en las series de radiación

<sup>1</sup> Cátedra de Climatología Agrícola, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Maracay, Estado Aragua, Venezuela. Tel. +392435507481. Correo electrónico: [brachog@agr.ucv.ve](mailto:brachog@agr.ucv.ve)

solar global, 18 estaciones mostraron tendencias a la disminución. Además se apreció que en 39 estaciones, las series de radiación solar global no cumplían con los criterios de calidad, por lo que en 18 de ellas se asignó la radiación solar de la estación más cercana, y en las 21 restantes se realizó la estimación de la radiación solar a partir de los registros de insolación.

En relación a la distribución espacial de estaciones, se apreció que en grandes áreas de Venezuela, no se dispone de la información climatológica necesaria para estimar  $ET_0$  por la ecuación de FAO P-M, destacando la región nor-occidental, en el sur, los llanos centrales, y el extremo nor-oriental del país.

En cuanto a la longitud de registro, cabe resaltar, que en más del 80% de las estaciones se utilizó un período de registro de por lo menos 15 años en todas las variables climáticas, y en todos los casos se contó con más de 5 años de registro. No obstante, en la mayoría de las estaciones seleccionadas (58 estaciones de las 101), los periodos de registro para los elementos de una misma estación no coinciden. Esto puede deberse a diversas razones, entre ellas, que algunos elementos comenzaron a medirse en las estaciones antes que otros, o que algunos instrumentos se dañaron y se continuó las lecturas del resto de ellos. Es de señalar, que la velocidad del viento es el elemento que comúnmente tiene menor longitud de registro.

Durante el proceso de recopilación de información climática, se detectaron problemas de datos faltantes, datos dudosos, y falta de homogeneidad de las series mensuales de los elementos requeridos para el cálculo de la  $ET_0$  por el método de FAO P-M. Ello condujo a la eliminación de alrededor del 40% de las estaciones principales, y aún en las restantes los registros muestran datos faltantes y en menor proporción, datos fuera de los órdenes de mag-

nitud conocidos o característicos de la zona. Las series con mayores inconvenientes fueron las series de radiación solar global y velocidad del viento. Por otra parte, se detectaron muy pocas estaciones con un período de registro largo común para todos los elementos, ello implica la necesidad de uso de promedios provenientes de diferentes períodos de registro para poder contar con toda la información requerida para la estimación de la  $ET_0$  por la ecuación FAO P-M, limitando la estimación de la  $ET_0$  año a año.

Los problemas de homogeneidad se observaron especialmente en las series de radiación solar global. En todos los casos, la falta de homogeneidad se debió a la presencia de tendencias negativas, es decir, una disminución en la radiación en el tiempo, lo que sugiere problemas de mantenimiento de equipos y de las áreas aledañas a las estaciones climatológicas.

La falta de información climatológica, particularmente en las regiones nor-occidental, central llanera, nor-oriental y sur del país, dificulta la representación espacial de la  $ET_0$  para fines de este proyecto, y se agrava para escalas más detalladas requeridas en proyectos con fines agrícolas y ambientales. Se sugiere el uso de estrategias metodológicas para la estimación de la información básica requerida por la ecuación FAO P-M, principalmente radiación solar global y velocidad del viento, así como la exploración de otras ecuaciones más sencillas que requieran un menor número de elementos climatológicos y que se miden con mayor frecuencia en las estaciones.

**Palabras clave:** evapotranspiración de referencia, ecuación FAO P-M, calidad de datos climáticos.

## Limitations due to weather data quality on the use of the FAO – PM equation for generating reference evapotranspiration maps in Venezuela

---

### Summary

This work discusses limitations relative to the compilation of weather data for application of the FAO Penman-Monteith equation in Venezuela referring to the elaboration of the “Arid, Semiarid, and Subhumid dry zones of Latin America and the Caribbean Map”. Taking into account criteria such as length of record and quality of the data (homogeneity

and number of missing and doubtful data), only 101 principal climatologic stations out of 164 could be used. For the selected stations, the main limitations are records’ length, spatial distribution and missing data, especially relative to global solar radiation and wind speed records. Trends were observed in global solar radiation series for 18 stations. In order to improve the spatial coverage of Penman-Monteith FAO estimates of  $ET_0$ , methods for estimating basic climatological data need to be used.

**Keywords:** Reference evapotranspiration, FAO P-M equation, quality of climatological data.



# 2

## PUESTA EN VALOR DE LOS RIEGOS ANCESTRALES





## PUESTA EN VALOR DE LOS RIEGOS ANCESTRALES

Milka Castro Lucic<sup>1</sup>

El término puesta en valor lo encontramos cada vez con más frecuencia, por lo que conviene esclarecer su significado. La puesta en valor se aplica básicamente a los bienes históricos o artísticos para proponer la optimización y el aprovechamiento de su potencial económico en beneficio de su pueblo, destacando y exaltando sus características y méritos hasta colocarlos en condiciones de cumplir a plenitud la nueva función a que están destinados (ICOMOS, 1967). En su aplicación a los sistemas de riego diremos que es la urgencia y conveniencia de valorar, proteger y utilizar los recursos patrimoniales de un pueblo en función de su desarrollo económico y territorial; comprende, por tanto, planes de estudios, de preservación y rehabilitación.

La palabra ancestral proviene del latín *antecesor* y fue convertida en francés a *ancestour* o *ancestro*. Las familias y las comunidades rurales al valorar, conservar y practicar ese conocimiento heredado de sus antecesores o ancestros lo han convertido en un eje del *filum* cultural de un pueblo. Es así como en la cadena de valoración de la experiencia y la historia, las personas ancianas gozan del poder de la sabiduría y autoridad. Así, el estudio de los riegos ancestrales es el estudio de toda la historia contenida en un sistema de riego que habiendo sido creado por antecesores de

una determinada familia, continuó siendo utilizado y modificado a través de sucesivas generaciones.

La agricultura de regadío es un proceso cultural que, hace miles de años, contribuyó al desarrollo de las primeras sociedades sedentarias y de las grandes civilizaciones. En efecto, tuvo su origen hace alrededor de diez mil años, cuando aparecen en Mesopotamia las primeras formas de agricultura, luego en Egipto, China y la India hace 9000 a 5000 años, y en Mesoamérica y Sudamérica, aproximadamente 4000 a 3000 años. El impacto que tuvo la invención de la agricultura, aquel tránsito desde una economía depredadora practicada por las sociedades cazadoras y recolectoras hacia una de productores agrícola y ganaderos, ha sido calificado como una *revolución* del período neolítico (Gordon Childe, 1959). Cuando el hombre fue capaz de producir su propio abastecimiento alimenticio mediante la siembra, mejoramiento de las especies cultivables, y la domesticación de ciertas especies de animales, produjo singulares transformaciones en la economía. Desde esta nueva base económica se fueron generando estrechos vínculos entre civilización y regadío, y complejas estructuras políticas asociadas a grandes sistemas hidráulicos y conocimientos técnicos necesarios para la construcción de presas, canales, acueductos,

1 Directora. Programa de Estudios de Antropología Jurídica e Interculturalidad. Facultad de Derecho, Universidad de Chile. Email: [mcastro@uchile.cl](mailto:mcastro@uchile.cl)

galerías y otras obras, se complementaba con la especialización del trabajo, la planificación y la movilización de numerosa mano de obra, debido a la ausencia de maquinaria (Palerm *et al.*, 2004).

Los artículos que a continuación se exponen son estudios realizados en zonas que fueron escenario de civilizaciones altamente desarrolladas por habitantes de los Andes centrales – Perú, Bolivia y norte de Chile. La incorporación de estudios en áreas periféricas a estos centros, como el caso de México, permiten demostrar que las economías agrarias de pequeños productores y campesinos indígenas y no indígenas, también han heredado una gran riqueza tecnológica y cultural de sus ancestros. Lo paradójico de este escenario es que aquellas grandes civilizaciones, hoy conforman los sectores más pobres de América Latina y el Caribe.

El año 2000, el área rural en América Latina tenía 125.301 millones de habitantes (Tabla 1); de los cuales algo más de 211 millones vi-

ven en condiciones de pobreza, encontrándose el 37% en zonas rurales, de los cuales el 22% vive en condiciones de indigencia<sup>2</sup> (Tabla 2). Como se puede observar, la incidencia relativa de la pobreza rural supera ampliamente la urbana, mientras que en el caso de la indigencia las cifras absolutas son mayores en el sector rural.

La alta prevalencia y severidad de la pobreza tiene una marcada correlación con la etnicidad; la mayoría de la población indígena es pobre o extremadamente pobre que carece de tierras propias o se encuentran en terrenos insuficientes y de baja productividad. Alrededor del 50% de los pobres de las zonas rurales tienen un acceso muy limitado a recursos productivos que les permita obtener suficientes ingresos de la producción agrícola misma. El acceso a los recursos y la calidad y cantidad de terreno, condicionan el potencial agrícola en la generación de ingresos, por lo que para elevar los ingresos de los hogares rurales pobres de manera sostenida es necesario fortalecer la acción pública en la formación de capital fisi-

**Tabla 1.** Población urbana y rural en América Latina, millones (Fuente: CELADE, 1999)

	1990	1995	2000	2005
<b>Población total</b>	429.775	468.889	507.932	546.385
<b>Población urbana</b>	305.252	343.909	380.631	420.768
<b>Población rural</b>	124.524	124.980	125.301	125.616

**Tabla 2.** Población pobre e indigente en América Latina, 1980-1999 (Fuente: CEPAL, 2001)

<b>América Latina: población pobre e indigente (millones). 1980-1999 (a)</b>												
	Pobreza (b)						Indigentes					
	Total	%	Urbana	%	Rural	%	Total	%	Urbana	%	Rural	%
1980	136,9	40.5	62,9	29.8	73,0	59.9	62,4	18.6	22,5	10.6	39,9	32.7
1990	200.2	48.3	121,7	41.4	78,5	66.4	93,4	22.5	45,0	15.3	48,4	40.4
1994	201.5	45.7	125.9	38.7	75.6	66.1	91.6	20.8	44.3	13.6	47.4	40.8
1997	203.8	43.5	125.7	36.5	78.2	63.0	88.8	19.0	42.2	12.3	46.6	37.6
1999	211.4	43.8	134.2	37.1	77.2	63.7	89.4	18.5	43.0	11.9	46.4	38.3

(a) Estimación correspondiente a 19 países de la región

(b) Incluye población en situación de indigencia

2 Estado de indigencia, cuando el ingreso es insuficiente para cubrir una canasta básica de alimentos para un individuo o un hogar.

co y humano, concentrándose particularmente en inversiones en manejo de suelo, riego y drenaje, infraestructura vial, de comunicaciones y energía, gestión del riesgo agropecuario, educación e investigación agrícola (IFPRI, 2002). Los sectores más postergados han recibido el calificativo de “tradicional”, por oposición a lo moderno, por no haber incorporado tecnologías modernas y por tener una mínima inserción en la economía de mercado. Es el sector campesino conformado por unidades familiares o domésticas, que trabajan la tierra preferentemente con mano de obra familiar y el destino de la producción está orientado al consumo y al mercado, la mayoría de las veces se encuentran formando parte de comunidades. Una de las mayores fortalezas de la cohesión cultural en el área andina, radica precisamente en la gestión comunitaria del uso y manejo del agua, cuya matriz ha conservado a pesar de una serie de transformaciones que ha debido soportar para acomodarse a las exigencias de la presión externa.

La modernización impuso el cambio tecnológico (uso de tecnología moderna: mecanización e insumos externos),- la especialización de la mano de obra y la división del trabajo - como condición para un desarrollo agrícola capaz de aumentar la productividad e incorporar al mercado. Desde esta óptica se ha estigmatizado lo tradicional, igualándolo a un estancamiento de la cultura y la tecnología; por lo que pretender rescatar, valorar y fomentar el conocimiento ancestral, *tradicional*, encontrará detractores que lo verán como una vuelta al pasado, un retroceso (Grillo, 1990). Este constituye el mayor reto para una propuesta de *interculturalidad tecnológica* (Castro Lucic, 2007). Lo cierto es que la dinámica productiva de los hogares campesinos contiene diversas estrategias de vida para enfrentar las condiciones sociales y naturales, economías campesinas que obedecen a una racionalidad no capitalista, pues los campesinos tratan de satisfacer las necesidades de la familia más que obtener ganancias. A nivel de las dinámicas sociales se reconoce en el campesinado la existencia de niveles de organización y relaciones

de reciprocidad que, en el último tiempo, se ha venido identificando y difundiendo como “capital social”. Para Bourdieu (2000), “el capital social está constituido por la totalidad de los recursos potenciales o actuales asociados a la posesión de una red duradera de *relaciones* más o menos institucionalizadas de conocimiento y reconocimiento mutuos. Expresado de otra forma, se trata aquí de la totalidad de los recursos basados en la pertenencia a un grupo”. El uso de este concepto obedecería a la necesidad, por parte de organismos gubernamentales de explicar el bajo protagonismo de los destinatarios de los programas sociales y productivos, y por otra parte, por el desconocimiento y no aprovechamiento de una serie de mecanismos sociales que las comunidades elaboran para enfrentar en forma colectiva ciertas tareas que benefician al conjunto (Bahamondes, 2004).

Las unidades productivas a las que hacemos referencia, son las herederas de aquellos sistemas hidráulicos de los antiguos habitantes de los Andes, que han sido comparados con las grandiosas edificaciones hidráulicas en China, las Indias Orientales, Egipto, el Imperio Romano, la España árabe y la llanura del Po a fines del Medioevo (Horkheimer, en Dietschy, 1990). Todo el territorio andino fue escenario de complejas tecnologías hidráulicas, técnicas para controlar la erosión e inundaciones; sistemas subterráneos para el riego y el drenaje, reservorios de agua, diques, desviación de arroyos y ríos para irrigar oasis fértiles, diversas técnicas de aplicación del riego, hundimientos artificiales del suelo “chacras hundidas”, entre otras. La alta cultura andina, señala Ravines (1978) se sustentó en milenios de experimentación, sacando admirable partido al ambiente hasta lograr sobre él un verdadero dominio.

Los artículos que se presentan en este apartado constituyen importantes aportes al conocimiento y valoración de las tecnologías ancestrales de riego. En el estudio de los valles interandinos del Departamento de La Paz, Bolivia, titulado “Una aproximación a

las tecnologías ancestrales de riego andino en Bolivia”, José Roldán y René Chipana caracterizan la infraestructura asociada a los sistemas de irrigación en un sitio arqueológico y una comunidad campesina. En esta última describen la organización comunitaria para la distribución del agua, como “legado de los campesinos andinos” para utilizar las “aguas de los ríos, lagunas y manantiales para satisfacer sus necesidades, dentro de la cosmovisión holística del mundo”. El sistema descrito es apropiado a las condiciones topográficas, permite un buen desarrollo del riego, protección del suelo, y se complementa con técnicas de recuperación de la fertilidad del suelo.

Tomás Martínez Saldaña, en su artículo “Los riegos ancestrales en el árido mexicano en el siglo XXI”, sostiene que existe un desconocimiento por parte de las autoridades y de la ciencia, de la riqueza hidráulica colonial contenida en los sistemas de pequeño riego que caracteriza como los más modestos del árido mexicano. En su estudio destaca que si bien las comunidades enfrentan el futuro en base a su capital social, se ciñe sobre ellos la amenaza de desaparecer por las demandas del agua debido al crecimiento urbano, la voracidad del capital inmobiliario, la contaminación ambiental y la indiferencia del sistema administrativo. Ante este panorama plantea la urgencia de implementar acciones que fomenten el desarrollo equilibrado sin costos sociales y políticos.

Rosa María Bustos, en su artículo “El saber popular de los inspectores de cauce y los cambios de paradigma en la gestión del sistema de riego, Mendoza, Argentina” caracteriza las facultades que poseen los Inspectores de Cauce, organismo de usuarios regantes responsable del mantenimiento y operación de la red de distribución de agua en la Provincia de Mendoza, y describe los saberes y las condiciones que permiten mantener la legitimidad de ese saber como “llave del sistema” dentro de un nuevo paradigma de gestión de lo público.

El artículo de Milka Castro Lucic, “La tecnología de riego en la cultura de los pueblos

andinos”, aborda el concepto de técnica y tecnología entre los pueblos indígenas que mantienen una gestión comunal de sus recursos; propone un esquema de estudio sociotecnológico de las tecnologías de riego que, además del proceso productivo, incluya la dimensión social, económica y cultural. Ejemplifica su propuesta con dos estudios de comunidades aymaras del norte de Chile.

Antonio Enciso, en su artículo “Puesta en valor de riegos ancestrales: galerías filtrantes, andenes, amunas y waru waru” propone concitar el interés de las comunidades, de los gobiernos locales y regionales del Perú, para rehabilitar las infraestructuras de riego ancestrales, algunas en uso como es el caso de las galerías filtrantes de Nasca, los andenes del Cusco, los Waru Waru de Puno y las amunas de Huarochiri. El autor sostiene que poner en valor estas infraestructuras de riego de origen precolombino, tendría además otro beneficio, como es el generar una fuente de ingreso proveniente del Turismo Rural.

Nelson Olmedo y René Chipana, en su artículo “Gestión del riego tradicional en la zona circundante al nevado Illampu”, en el altiplano del Departamento de La Paz, Bolivia, describen y analizan el sistema de riego, la infraestructura física de las obras de toma y conducción, y la caracterización del tipo de organización. Ésta contiene dos tipos: uno, formal o sistemas organizados por alguna autoridad sea este un Alcalde de Agua, Jefe de Zona o algún miembro del sindicato; y uno no formal, organizado por los mismos usuarios. Las comunidades estudiadas poseen derechos de riego colectivos, a los que se accede por diferentes modalidades de distribución.

Angela Palacios y René Chipana, describen el “Manejo del agua a nivel parcelario, en zonas con elevada pendiente de los valles interandinos de La Paz”. Los agricultores han desarrollado sistemas de manejo del agua en laderas con elevadas pendientes y alta salinidad, como son los surcos en zigzag corrugados,

los que fueron analizados y evaluados. Los resultados mostraron que constituyen un buen método para reducir las pérdidas por erosión hídrica en suelos con elevada pendiente y contenido de sales, también incrementan la infiltración del agua del suelo. Aún cuando se detectó una baja eficiencia de aplicación, elevada pérdida por escorrentía superficial, existe una reutilización del agua de escorrentía, en las acequias parcelarias, acequias principales y comunidades ubicadas aguas abajo.

El estudio que presenta Fernando Castañeda, sobre el “Manejo del agua en la región

Kallawalla”, se realizó en la microcuenca del río Charazani, de la provincia Bautista Saavedra, al Noroeste del Departamento de La Paz. Analiza el comportamiento de los recursos hídricos, las necesidades de acceso y uso de agua de riego, y el saber local y ancestral del sistema organizacional de comunidades casi exclusivamente dedicadas al manejo de ganado camélido, que enfrentan problemas de poca disponibilidad de recursos hídricos y sobrepastoreo de bofedales, y de comunidades agrícolas que mantienen tecnologías tradicionales apropiadas a la conservación de suelos y la gestión de recursos para riego.

## Bibliografía

- Bahamondes, M. 2004. Poder y reciprocidad en el mundo rural. Un enfoque crítico a la idea de capital social. Grupo de Investigaciones Agrarias, Santiago.
- Bourdieu, P. 2000. Poder, Derecho y Clases Sociales. Palimpsesto. Derechos Humanos y Desarrollo. Desclée de Brouwer. Bilbao.
- Castro Lucic, M. 2007. “Desafíos para una Interculturalidad Tecnológica: el caso del riego ancestral en terrazas andinas”. En Riegos Ancestrales en Iberoamérica. Eds. Palerm, J, Saldaña, T., Castro Lucic, M. y L.S. Pereira, México, en prensa.
- CELADE / CEPAL. 1999. “América Latina: Proyecciones de población urbano – rural 1970- 2025”. En Boletín Demográfico No. 63.
- CEPAL. 2001. Panorama Social de América Latina. 2000-2001
- Childe, V.G. 1959. Los orígenes de la civilización, Fondo de Cultura Económica, Colección Breviarios, México D. F.
- Dietschy, B. 1990. “Respuestas altiplánicas a la escasez de agua” en Agua: Visión andina y usos campesinos. Greslou, F., B. Dietschy, P.Gelles y B.Coolman (eds). Hisbol, La Paz. pp 151.
- Echeverría, R. 2000. “Opciones para reducir la pobreza rural en América Latina y el Caribe”.- En CEPAL N° 70. pp 147-160.
- Grillo, E. 1990. “Investigación y extensión agropecuaria en los Andes” en Agricultura y cultura en los Andes. Eds. Eduardo Grillo y Grimaldo Rengifo. Ed. Hisbol-Pratec, La Paz.
- ICOMOS. 1967. Normas de Quito. **Informe final de la reunión sobre conservación y utilización de monumentos y lugares de interés histórico y artístico.** Internacional Council on Monuments and Sites, Paris, France. ([www.international.icomos.org](http://www.international.icomos.org))
- Machinea, J.L; Bárcena A. y León A. (Coords). 2005. Objetivos de Desarrollo del Milenio: Una mirada desde América Latina y el Caribe. Naciones Unidas.CEPAL. Santiago.
- Palerm, J.M.R; Ávalos, C. y Pimentel Equihua, J.L. 2004. Capacidad autogestiva para la administración de sistemas de riego: la teoría y problemáticas externas, en El agua en México vista desde la Academia, Blanca Jiménez y Luis Marín (eds.) Academia Mexicana de Ciencias, México. pp 71-387.
- Ravines, R. 1978. “Agricultura y Riego”, en Tecnología andina. R.Ravines (Comp). Instituto de Estudios Peruanos, Lima. pp 93-106.

## LOS RIEGOS ANCESTRALES EN EL ÁRIDO MEXICANO EN EL SIGLO XXI

Tomas Martínez Saldana

### Resumen

El pequeño riego en el árido mexicano y su roeste norteamericano indica el alto dominio del medio ambiente al que llegó la tecnología agrícola tradicional y nos señala por otro lado el desconocimiento del valor hidráulico de los sistemas de pequeño riego por parte de las autoridades y de la ciencia.

Los sistemas de pequeño riego que van desde un simple transporte de agua por gravedad hasta las galerías filtrantes y sistemas hidráulicos chinamperos cuentan con miles de años de existencia en Mesoamérica y en el mundo andino. En México estos sistemas son reconocidos porque son milenarios y han apoyado la existencia del mundo campesino indígena y han sido claves para la proveeduría de los mercados urbanos hasta nuestros días. Pero poco se conocen los sistemas más modestos del árido mexicano. Muchos de estos sistemas tienen 400 años de existencia, fueron introducidos en el proceso de colonización en el desierto y algunos han sobrevivido. Ejemplo de estos son Parras de la Fuente en Coahuila, Bustamante en Nuevo León, Valle de San Bartolomé en Chihuahua, estos tres sistemas ubicados en el desierto chihuahuense en el norte de México a 1000 o más kilómetros de distancia de la ciudad de México.

Ejemplos de estos sistemas los encontramos dispersos en el norte tales como Valle de Allende, Aldama en Chihuahua, San Juan del

Rio, Nombre de Dios, Ocampo en Durango, Bustamante, Santiago en Nuevo León, Lamadrid, Nadadores, Parras en Coahuila. Entre estos El antiguo San Miguel de Aguayo hoy Bustamante, se distinguía por su carga de agua, su sistema de riego está activo hoy en día irrigando en forma directa unas 200 hectáreas de huertas nogaleras y otras tantas con riego por goteo y con carácter comercial. Bustamante y la mayoría de los pueblos hortelanos irrigados ha venido perdiendo el germoplasma que acompañaba a los sistemas de riego, ya no existen los huertos pluriproductivos y ahora se ha vuelto monoproductores de nuez y han extendido su producción hacia el pan, dulces y el ecoturismo.

Ejemplo notorio de estos pueblos con sistemas de riego ancestral con una riqueza hidráulica colonial incomparable es Santamaría de las Parras, hoy Parras Coahuila. Dicho Municipio representa el 6.9% de la superficie del estado de Coahuila y se ubica al sur del mismo. La ciudad de Parras de la Fuente es Cabecera Municipal ubicada en el centro del municipio, justo al Norte de la Sierra de Parras, allí el riego se conforma con el manejo de aguas subterráneas (pozos, norias, manantiales y galerías filtrantes o tajos), las que representan el recurso más confiable de abastecimiento de agua, tanto para las actividades agropecuarias como para usos domésticos e industriales. El agua que se extrae del acuífero se utiliza para abastecer el pueblo, los campos y huertos irrigados.



Santa María de las Parras se estableció en 1598 como una de las primeras colonizaciones coloniales en el árido mexicano, fundada por colonos agrícolas tlaxcaltecas, quienes transfirieron sistemas agrícolas traídos del centro de México mediante un sistema hortelano basado en el pequeño riego capturando agua de diversas fuentes en pequeños estanques. Se enumeran cinco sistemas agrícolas tlaxcaltecas de riego y temporal exitosos hoy en día: las vegas, los apantles, los huertos, las terrazas y los metlepantles. Estos complejos sistemas tienen su origen en captaciones de agua de manantial o de galerías filtrantes y se han mantenido idénticos en su base hidráulica, en sus alcances productivos y en su vinculación con la mano de obra. La estructura agraria ha cambiado, ya no existe la comunidad indígena ni el cabildo tlaxcalteca ni la cofradía, pero continúa produciendo en el mismo formato que se estableció en el siglo XVI.

El éxito de Parras y de los sistemas de riego ancestral en el árido norteño mexicano se ha basado en un bien planeado manejo ambiental, tal fue el caso de los colonos mesoamericanos llegados al norte, quienes por su cuenta resolvieron su endémica escasez de agua construyendo galerías filtrantes y cajas de agua para almacenar el líquido derivado de las galerías y de los manantiales perennes y ocasionales. La galería filtrante es una técnica de riego que permite captar agua subterránea y consiste en una excavación horizontal que funciona como canal subterráneo y capta el agua por filtración del manto freático. La evidencia arqueológica e histórica conduce a la idea que en la fundación de Parras se hizo uso del agua de los manantiales y escurrimientos de la sierra y con estas aguas se desarrolló el sistema de canales, estanques de Parras. Con esta agua al derivarla de las cajas de agua ubicadas en un nivel superior a las tierras de cultivo lograron un sistema de riego efectivo, suficiente y permanente aprovechado para producción agrícola intensiva desde el siglo XVI. Parras continúa siendo un eficiente espacio productivo de variados productos: fruta, uva, nuez, que transformados llegan al mercado en forma de

vinos, dulces y todo tipo de artesanías. Esta primitiva base artesanal ha facilitado el establecimiento de empresas textiles industrializadas cuya producción llega a los mercados internacionales.

Parras junto con su riqueza hidráulica tiene un capital social de organización comunitaria en asociaciones de riego, usuarios, accionistas, mayordomías y cofradías que mantienen los sistemas de riego funcionando y los rituales religiosos vivos. Esta organización permite el manejo, conservación, uso y aprovechamiento comunal del agua. Esta organización es más antigua que la infraestructura hidráulica y se conserva en su base tradicional, tan solo se ha venido adaptando en nombres y legalidad con el paso de los años, frente a las diversas estructuras políticas surgidas en el transcurso de la historia. Este éxito técnico y social es el común denominador de Parras con todos los sistemas de riego ancestrales ubicados en el árido mexicano. Así el patrón común de todos ellos se define de la siguiente manera: un sistema de riego basado en captaciones de manantiales, escurrimientos, galerías filtrantes, manejados por los usuarios donde la producción tiene una base tradicional y gracias a esa calidad artesanal llega al mercado de productos suntuarios en el turismo nacional y extranjero. Estos pueblos a su vez aprovechan el entorno, sus aguas y sus huertas para atraer turismo especializado.

Pueblos que han sobrevivido al paso de los años y que enfrentan el futuro en base a su capital social pero están necesitados de una reestructuración, al ya no ser autosostenibles, la autoridad comunal ha sido removida, su mercado tradicional ha desaparecido y sobre todo se ven amenazados por la demanda del agua, por la voracidad del capital inmobiliario, por la contaminación ambiental y por el descuido burocrático administrativo de funcionarios desconocedores del valor que tienen.

**Palabras clave:** sistemas de riego tradicionales, organización social, México.





## The traditional irrigation systems in the Mexican desert

---

### Summary

The traditional irrigation system in northern Mexico and Southwestern US has been irrigating the desert lands for four centuries. They have been since then as a blend of Spanish, Mesoamerican and Indian techniques and are located in small valleys, oasis, riparian land. Those systems are based in small orchards and gardens with a usage of water diverted from a main fount: a sidetracked river, a spring or a near lake with their ditches, ca-

nals, water heads. Along with this technology comes the social organization of people: traditional guilders of users such as brotherhoods, “mayordomias”, “cofradías”, with a cultural of old and new seeds and plants. These irrigation systems have shaped the “acequia” culture or the traditions of the small irrigation, found in the flavor of local cuisine, or in the remedies of traditional medicine. Those systems have a great potential for survival and they are an incredible resource for research and development in the future.

**Keywords:** traditional irrigation systems, social organization, Mexico.



## LA TECNOLOGÍA DE RIEGO EN LA CULTURA DE LOS PUEBLOS ANDINOS

Milka Castro Lucic<sup>1</sup>

### Resumen

Este trabajo aborda el concepto de técnica y tecnología entre los pueblos indígenas que han conservado una gestión comunal de sus recursos, y propone un esquema de estudio sociotecnológico de las tecnologías de riego, ejemplificado con dos estudios de comunidades aymaras del norte de Chile. En uno, Socoroma, se enfatiza en las técnicas empleadas en el nivel de distribución del agua; en el otro, Chiapa, el énfasis se coloca en la dimensión social y cultural asociada al riego. Finalmente, se entrega alguna información de las técnicas mágicas destinadas a controlar las fuerzas de la naturaleza que intervienen en la disponibilidad de agua.

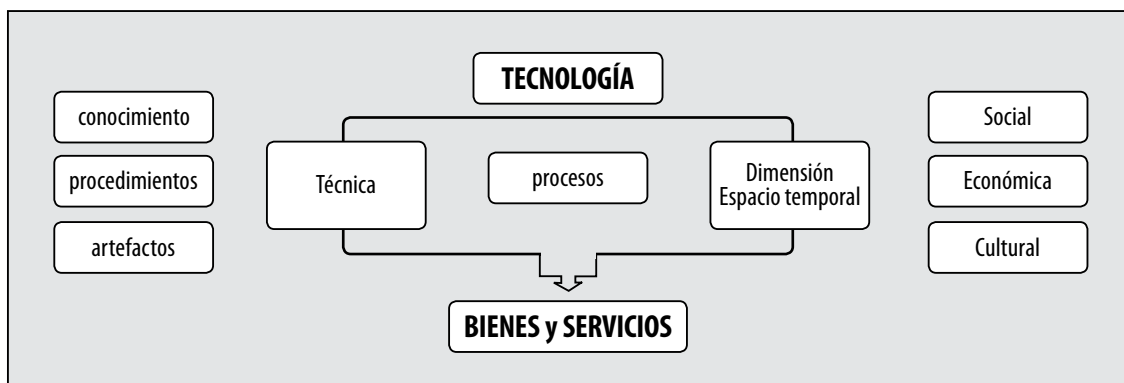
Ciencia, técnica y tecnología tienen en común el estar asociados al desarrollo de la sociedad, compartir la utilización de la actividad humana e instrumentos, y buscar un producto resultante. Existen innumerables definiciones de tecnología, provenientes de la economía, sociología, historia, filosofía, que han puesto mayor o menor énfasis en los instrumentos que contiene, en la actividad social que genera y en la relación con el conocimiento científico, entre otros. Técnica alude a aquellos actos agrupados en función de un efecto mecánico, físico o químico; comprenden tres elementos

básicos: a) *el conocimiento*; b) *el procedimiento*, y c) *los artefactos*. De acuerdo al tipo de conocimiento se clasifican en *cotidiana*, *científica* y *mágica*. La tecnología es una actividad social que contiene un conjunto de *conocimientos* y *procesos* necesarios para producir bienes y servicios. Incluye la técnica, el conocimiento científico, y la dimensión económica, social y cultura, y también los bienes que genera. Se propone la perspectiva de los estudios *sociotecnológicos*. Éstos contemplan los procesos necesarios para producir bienes y servicios; la dimensión social, económica y cultural, en un tiempo y lugar determinado; las técnicas; y las condiciones sociales y económicas imperantes en un tiempo dado (**Figura 1**).

Los pueblos aymaras conservan el sistema comunal de gestión del agua, regulado por normas jurídicas propias, patrones culturales ancestrales y autoridades libremente elegidas. Las técnicas de riego se entrecruzan con todos los planos de la cultura: economía, organización y religiosidad.

En Socoroma, al interior de la ciudad de Arica, el área agrícola se encuentra dividida en cuatro sectores con su canal matriz: Pueblo, Chacacagua, Aroma y Mancaruma; división que permite la rotación de suelos. Anualmente, los usuarios seleccionan los sectores que serán

<sup>1</sup> Directora. Programa de Estudios de Antropología Jurídica e Interculturalidad. Facultad de Derecho, Universidad de Chile. Email: [mcastro@uchile.cl](mailto:mcastro@uchile.cl)



**Figura 1.** Esquema sociotecnológico de la tecnología.

cultivados temporalmente - marzo a mayo. Un beneficio de ésta tecnología es concentrar el sistema de irrigación en cada uno de sus tramos: captación, conducción, distribución, y aplicación. Los requerimientos de la planta, el tipo de suelo y la inclinación de la pendiente determinan las necesidades de riego.


En Chiapa, al interior de la ciudad de Iquique, tres caseríos comparten la misma fuente de agua, por lo que la organización es clave. Utilizan dos tipos de técnicas: a) acumulación nocturna en un estanque, y b) aguas que circulan libremente durante el día sin pasar por el estanque. Son aguas corrientes. El tiempo de riego, cuándo comienza y termina un turno, se reconoce por la sombra que proyecta la luz del sol en ciertos lugares como rocas y farrellones. En ambos tipos utilizan un complejo y minucioso sistema de repartos en turnos de riego, llamados “mita”, medidos en unidades de tiempo de riego que van desde un máximo de 9 horas y un mínimo de 3 horas.

Las técnicas mágicas son frecuentes en todas las comunidades andinas. En la concepción andina del ciclo del agua, la circulación superficial y subterránea conecta las montañas y el mar. En los meses previos a las lluvias estivales personas especializadas efectúan ceremonias propiciatorias para asegurar la abundancia de agua. A modo de ejemplo, señalamos lo siguiente: depositan agua de mar en cerros sagrados en un ritual que simulará la evaporación y formación de nubes. También se puede depositar

lentamente en ciertas vertientes esperando que la fuerza del agua del mar se junte con el agua de la vertiente haciendo que brote más agua y la arrastre hasta la costa, regando a su paso los terrenos de cultivo. Estas ceremonias y ritos complementan el uso racional del agua.

La tecnología ancestral del riego entre los aymarás se enmarca en una visión particular del agua y de la tecnología utilizada. La descripción, evaluación y comprensión del funcionamiento de las tecnologías ancestrales debería incorporar un enfoque *sociotecnológico* que, además del proceso productivo, incluya la dimensión social, económica y cultural.

Puesto que todas las culturas experimentan cambios en el curso de su desarrollo, el análisis debería contemplar también una perspectiva diacrónica. Como toda sociedad humana posee una configuración sociocultural única, la tecnología debe ser analizada en sus propios términos, en las especiales formas de interrelación con los otros aspectos de la vida social, económica, cultural y religiosa.

**Palabras clave:** riego, tecnología ancestral, enfoque sociotecnológico, técnicas mágicas, cultura de los pueblos andinos. 

## Irrigation technology in the Andean people culture

---

### Summary

This presentation refers to the particularities of the technique and technology concept and exposes some approaches for technology studies. It proposes a socio-technological study as a useful methodology to comprehend how the communal management of water works. Two studies of aymara communities of the north of Chile are used as examples, where the technique is analyzed in the different sections that constitute an irrigation system (wa-

ter capturing, conduction, distribution, and application).

For Socoroma we describe the techniques used in the distribution level; for Chiapa, we emphasize the social and cultural dimension of irrigation. Therefore, assuming the ancestral cultures use two types of techniques, quotidian and magical kind. This paper analyses in depth how the magical techniques manage symbolic and religious effectiveness in order to dominate natural forces from which the annual productive cycle depends.

**Keywords:** irrigation techniques, indigenous culture.



## UNA APROXIMACIÓN A LAS TECNOLOGÍAS ANCESTRALES DE RIEGO ANDINO EN BOLIVIA

José Roldán<sup>1</sup>, René Chipana<sup>2</sup>, María Fátima Moreno<sup>1</sup>, José Luis del Pino<sup>1</sup>,  
Hugo Bosque<sup>2</sup>, Rolando Céspedes<sup>2</sup>, Angela Palacios<sup>3</sup>, Marco Irahola<sup>2</sup>

### Resumen

El riego en las zonas andinas constituye, sin duda, una práctica muy antigua. En ellas, los campesinos lograron, durante siglos, aprovechar las aguas de los ríos, lagunas y manantiales para complementar o suplir el régimen de precipitaciones pluviales, caracterizado, como es conocido, por su irregular distribución en una corta estación de lluvias. En Bolivia, los valles interandinos del Departamento de La Paz constituyen lugares privilegiados para el estudio de sistemas de riego tradicionales. En este trabajo tratamos de analizar, como una primera aproximación, el riego ancestral precolombino, su aplicación actual, funcionalidad y eficiencia. Para ello, centramos nuestro análisis en el yacimiento arqueológico de Iskanwalla y en la comunidad campesina de Jatichulaya. El trabajo se desarrolló del 24 de febrero al 4 de marzo de 2007 en el marco del Proyecto PCI B/7215/06 “Revalorización de tecnologías ancestrales y formación de recursos humanos en riego y manejo sostenible del agua en zonas áridas”, financiado por la Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI), a quién se agradece su colaboración, y en el que participan profesores de las Universidades de

Córdoba, Córdoba, España, y Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.

Iskanwaya se encuentra en el municipio de Aucapata (Provincia de Muñecas), a una cota de 1.722 msnm. Este asentamiento –perteneciente a la cultura Mollo-, se dispuso, como pudimos constatar *in situ* durante la prospección del terreno, en una empinada ladera del Valle del río Llika, cuyas aguas corren hacia las partes bajas orientales de la Cuenca Amazónica; las construcciones distribuidas en explanadas o plataformas artificialmente rebajadas dan al conjunto el aspecto de un verdadero complejo urbano que parece colgar de un precipicio. Las viviendas de las terrazas aparecen conectadas mediante calles que siguen la topografía del terreno y el agua se distribuía entre ellas por medio de una red de acequias, cuya sección conforma una “V” realizada con pequeñas piedras de laja o pizarras de unos 15 centímetros de profundidad. A unos ocho kilómetros de Iskanwaya, se localiza el canal *Mama Churo*, una obra singular utilizada para llevar el agua desde el río *Pukanwaya* a los pobladores de las montañas. El cálculo hidráulico de este canal, de forma trapecial, demuestra que era capaz de conducir un caudal de alrededor de 50 l/ (s ha).

1 Universidad de Córdoba, Córdoba, España, [jroldan@uco.es](mailto:jroldan@uco.es).

2 Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia, [renehchipana@yahoo.com](mailto:renehchipana@yahoo.com).

3 Medio Ambiente y Desarrollo, La Paz, Bolivia, [angela\\_palaciosnogales@yahoo.es](mailto:angela_palaciosnogales@yahoo.es).

La comunidad campesina de Jatichulaya vive en Charazani -o Villa Juan José Pérez-, capital del Valle al que da nombre, se encuentra situada a una altitud de 3.250 msnm, en la Provincia Bautista de Saavedra. Conforman el espacio socio-geográfico más significativo para el estudio del riego tradicional, ya que el agua en la zona es un recurso escaso del que dependen las actividades agrícolas que realiza el campesinado (precipitación media anual oscila alrededor de los 450 mm). Dicha comunidad posee en la actualidad una superficie aproximada de 202 hectáreas, de las que 45,5 ha (22,5%) cuentan con riego; lo demás son tierras de secano que destinan a la producción de trigo, arveja y cebada. En la comunidad de Jatichulaya se tienen características climáticas variables, debido a que la zona presenta una topografía accidentada, con laderas de pendientes empinadas y terrazas angostas, diferentes de las partes bajas, a orillas de los ríos, que cuentan con riego y terrazas más amplias. Las fuentes de agua son las precipitaciones pluviales, distribuidas desde el mes de septiembre hasta abril; y las aguas superficiales, producto de deshielo de la cordillera de Apolobamba que forman el Río Calaya y parte del Río Charazani.

El manejo del agua está de acuerdo a los ciclos agrícolas que se practican en el Valle de Charazani (comunidades bajas de Charazani). La distribución del agua varía a lo largo del año. Desde agosto hasta enero (algunos años febrero), se la hace bajo un control estricto y el establecimiento de un turno específico cuya trasgresión es sancionada por el Agente de Aguas que, elegido anualmente, tiene entre sus funciones el mantenimiento y cuidado de todas las obras hidráulicas que posee el sistema. Este sistema de distribución consiste en programar el uso del agua de riego de acuerdo a los pedidos que hagan los usuarios en un período dado. El agua se entrega de acuerdo al turno programado por el Agente de Aguas. La adopción de la distribución por turnos comienza, pues, en el mes de agosto con la siembra de papa-milli (papa temprana). El Agente de Aguas lo hace en


forma equitativa sin dar preferencia a nadie. Desde febrero hasta julio, en cambio, el uso del agua no es por turnos, las personas que desean regar piden permiso, o bien dan aviso al Agente de Aguas, y van ellos mismos hasta la toma conveniente, a soltar el agua. Esto es así porque es la época donde no existe mucha demanda de agua de riego.

El sistema de riego tradicional practicado por comunidades campesinas pertenecientes a la municipalidad de Charazani en áreas de dominio de las comunidades de Jatichulaya está condicionado al método de Kanis. Este método consiste en un riego superficial ya desarrollado por las culturas tradicionales andinas del país, un sistema completamente adecuado y en equilibrio con las características ecológicas y productivas de la zona. El campesino inicia la apertura de un *mama kanis* para que el agua procedente de un *kanis* entre a la parcela y la inunde. El *mama kani* (canal principal) divide el terreno en dos. Para la construcción de los *juchuy kanis* (canales secundarios) dentro de la parcela se toma al canal principal, dentro de la misma, como referencia. El sistema funciona apropiadamente, acomodándose a las condiciones topográficas de la zona. El método de riego practicado en la comunidad elimina la erosión hídrica de los suelos, debido a que el manejo del agua dentro de la parcela y fuera de ella está dado por un conocimiento ancestral de los campesinos de acuerdo a las curvas a nivel, lo que permite el buen desarrollo del riego y la protección del suelo sin provocar ningún tipo de problemas. Aunque la dosis aplicada en la parcela estudiada fue bastante adecuada, se pudo evidenciar un elevado uso de mano de obra en la práctica del riego.

Finalmente, el cultivo de mayor importancia en la zona estudiada es el maíz -seguido de papa-milli, trigo, arveja y otros-, que cultivan año tras año en las parcelas que poseen, de esta manera estas parcelas no tienen un descanso adecuado para poder recuperar la fertilidad natural. Para poder cultivar cada año los campesinos de la comunidad reali-

zan una asociación con leguminosas que de alguna manera ayuda a que se recupere la fertilidad. También en época de preparación del terreno trasladan cantidades considerables de abono orgánico (guano o estiércol) para mejorar las condiciones del suelo. Los productos cosechados constituyen la dieta

básica de la alimentación campesina; los escasos excedentes se utilizan como trueque en los mercados (ferias) que periódicamente se celebran en la zona.


**Palabras clave:** Riego andino; técnicas ancestrales; cultura Mollo. 

## An approach to old Andean irrigation techniques in Bolivia

### Summary

In this work, old pre-Columbian irrigations were studied in two Bolivian areas: the archaeological site of Iskanwaya (Mollo culture) and the peasant community of Jatichulaya. In the first case, buildings were constructed in terraces and water was supplied to them by small v-shaped channels. Near, the *Mama*

*Churo* canal was located. This canal also carries water for irrigation. In the second case, irrigation is now practised in small terraces following a traditional method called *Irrigation by Kanis*. This method is very well adapted to the topographical characteristics of the area, so soil erosion is avoided. Irrigation water is uniformly distributed and the amount of applied water satisfies water requirements. However, labour needs were very high.

**Keywords:** Andean irrigation; old irrigation techniques; Mollo culture. 



## MANEJO DEL AGUA A NIVEL PARCELARIO EN ZONAS CON ELEVADA PENDIENTE DE LOS VALLES INTERANDINOS DE LA PAZ

Angela Palacios N.<sup>1</sup>, René Chipana R.<sup>2</sup>

### Resumen

El presente trabajo se llevó a cabo en la Comunidad de Kholá, Municipio de Sapahaqui del Departamento de La Paz, donde los agricultores desarrollaron sistemas de manejo de agua en pendientes elevadas y bajo condiciones de elevada salinidad, tales como los surcos en zigzag corrugados, donde el objetivo fue realizar una primera evaluación de este tipo de sistemas.

En Bolivia, la zona de los valles interandinos ocupa aproximadamente el 16% de la superficie total del país cuya extensión es de 1.098.581 km<sup>2</sup>. En estas zonas el principal problema radica en la alta pendiente de los suelos y muy pocos lugares planos que dificultan las actividades agrícolas, sumado a ello, existe el problema de escasez de agua (en muchos casos con elevado contenido de sales y sodio), minifundio donde los agricultores, en su mayoría, no pueden acceder a grandes extensiones de terreno, viéndose obligados a buscar alternativas para incrementar sus áreas de cultivo teniendo que realizar importantes inversiones en sistemas de riego y prácticas de conservación de suelos. Las zonas que cuentan con riego producen hortalizas como la zanahoria, cebolla, maíz, tomate y frutas como el du-

razno, uvas, peras, etc. Ante lo indicado, los agricultores desarrollaron sistemas de manejo de agua en pendientes elevadas y bajo condiciones de elevada salinidad, tales como los “surcos en zigzag corrugados” y con el presente trabajo se tuvo como objetivo realizar una primera evaluación de este tipo de sistemas.

Por las características topográficas descritas anteriormente, actualmente en Bolivia, la superficie cultivable aproximada es de 2.38 % en relación a la superficie total del territorio, de ésta solo el 8.68% cuenta con riego (226.564 ha). De acuerdo con algunos investigadores, el 97% de la superficie bajo riego se riega mediante métodos por superficie, el 2% por aspersión y el 1% por riego localizado.

Los surcos corrugados (**Figura 1**), son un sistema tradicional de manejo del agua y cultivo, desarrollado principalmente en los valles interandinos desde la época colonial, con el objetivo de reducir la energía cinética del agua en los surcos. Esto trae dos ventajas, la primera es que reduce las pérdidas de suelos por erosión hídrica y la segunda permite incrementar la infiltración del agua en el suelo, mediante el mayor tiempo de contacto entre la superficie del suelo y la lámina de agua (tiempo de oportunidad).

1 Ingeniera Agrónoma, Consultora Medio Ambiente y Desarrollo, La Paz-Bolivia  
e-mail: [angela\\_palaciosnogales@yahoo.es](mailto:angela_palaciosnogales@yahoo.es)

2 Dr. en Riego y Drenaje, Profesor de la Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia,  
e-mail: [renechipana@yahoo.com](mailto:renechipana@yahoo.com)



**Figura 1.** Surcos en zigzag corrugados y disposición de cultivos.

Se usan bajos caudales (entre 0.15 a 0.30 l/s), con elevados tiempos de riego (10 a 14 horas). El riego se realiza durante las horas diurnas y nocturnas, según el turno asignado a cada usuario. Los agricultores aplican este sistema de surcos en zigzag corrugados en suelos con elevada pendiente (entre el 5 a 60%) y en suelos poco permeables, con elevado contenido de arcilla y/o con elevado contenido de sodio. Los surcos corrugados consisten en la realización de una serie de canales de tierra, normalmente de pequeña sección, perpendiculares a la dirección de la pendiente. Los surcos van cambiando continuamente de dirección, siendo que la longitud en el eje horizontal varía entre 2 a 4 m y en el eje vertical de 0,4 a 1 m, dependiendo del tipo de cultivo, del tipo de suelo y de la pendiente. Este tipo de surcos es usado para regar una diversidad de cultivos.

De acuerdo con algunos análisis y mediciones de campo efectuados se obtuvieron los siguientes datos y resultados. Existe una baja eficiencia de aplicación (22.22%), debido a que hay una elevada pérdida por escorrentía superficial (76.6%), pocas pérdidas por percolación (1.16%). Si bien existen elevadas pérdidas por escorrentía superficial, sin embargo, el agua es reutilizada en tres niveles: 1) dentro la misma parcela en los surcos corrugados ubicados en

las partes inferiores, colectando el agua en canales de tierra intraparcenarios denominado por los regantes como “chirus”; 2) a nivel de acequias principales, donde el agua escurrida es colectada en las acequias ubicadas en las zonas inferiores; 3) a nivel comunal, es decir que el agua que escurre de las acequias principales, retorna al río, para ser aprovechadas por las comunidades ubicadas aguas abajo. Por otro lado, para incrementar la profundidad del suelo y disminuir la concentración de sales, se efectúa el “lameo” en época de lluvias, que consiste en regar con aguas turbias con elevado contenido de sólidos totales (limo y arcilla principalmente).

De acuerdo con los resultados, se puede indicar que los surcos corrugados resultan ser un buen método para reducir las pérdidas por erosión hídrica en suelos con elevada pendiente y contenido de sales, también incrementan la infiltración del agua del suelo. Por otro lado existe una baja eficiencia de aplicación, elevada pérdida por escorrentía superficial, empero, a nivel de sistema existe una reutilización del agua de escorrentía, en las acequias parcelarias, acequias principales y comunidades ubicadas aguas abajo.

**Palabras clave:** Surcos en zigzag corrugados, suelos salinos, escorrentía, reuso del agua.




## Water management in farming fields in high sloping areas of the Inter-Andean valleys of La Paz

---

### Summary

In Bolivia, the zone of inter-Andean valleys approximately occupies 16% of the total surface of the country, whose extension is of 1.098.581 km<sup>2</sup>. In these zones the main problems are the high slope of the fields, water shortage, salinity and small field sizes. The irrigated areas are dedicated to produce vegetables like carrots, onions, maize and tomato, and fruits like peaches, plums, grapes, pears, etc. The present work was carried out in the Community of Khola, Municipality of Sapa-haqui of the Department of La Paz, where farmers developed systems of water management

appropriate to high slopes and conditions of high salinity, such as the corrugated furrows. For that reason, the objective of the present work was to make a first evaluation of this type of systems. In agreement with the results, it is possible to conclude that the corrugated furrows turn out to be a good method to reduce soil losses by water erosion despite the high slopes. They are also appropriate to cope with high salinity and favour the infiltration of the water into the ground. On the other hand they show a low efficiency of application and high surface run-off occurs, however, at system level the run-off water is reused because it is captured by downstream canals serving other communities.

**Keywords:** Corrugated furrows, saline soils, run-off, reuse of surface water. 

## EL SABER POPULAR DE LOS INSPECTORES DE CAUCE Y LOS CAMBIOS DE PARADIGMA EN LA GESTIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO, MENDOZA, ARGENTINA

Rosa María Bustos<sup>1</sup>

### Resumen

En la provincia de Mendoza, el regadío está presente desde antes de la llegada de los españoles hasta nuestra actualidad. A partir de 1884, se sanciona la Ley de Aguas que establece las pautas para la gestión y distribución del agua de riego. En virtud de ese ordenamiento, el Departamento General de Irrigación (DGI) entiende en todos los aspectos que se refieren a la política hídrica y a la gestión del riego a nivel del río, dique y canal matriz. Sin embargo, los agricultores son los que históricamente controlaron la distribución del agua administrando los canales secundarios, terciarios y cuaternarios a través de la figura del Inspector de Cauce. Estos desempeñan funciones de jueces de aguas, elaboran los presupuestos de gastos para la conservación de canal y la distribución del agua, tienen funciones de vigilancia y policía y tienen facultades sancionatorias. Son electos cada cuatro años y ejercen un genuino liderazgo entre sus vecinos del canal. La figura del inspector supone un nivel de descentralización en el manejo de la red hídrica provincial a partir de la autogestión del canal. Los Inspectores de Cauce son los representantes de una comunidad de regantes y una de las instituciones locales más importantes del campo mendocino.

Esta organización, que se mantuvo durante

un siglo, tuvo una importante reforma durante las décadas de los '80 y '90, conforme a las medidas neoliberales impulsadas desde el Estado. El cambio en la organización de la distribución del agua de riego se llamó "Descentralización". La nueva administración del agua se basó primeramente en un proceso de unificación de inspecciones con el objetivo de aumentar la eficiencia financiera, administrativa y la eficiencia física. De esta manera se incorporó un criterio de mercado que implicaba economías de escala y criterios empresariales. La descentralización de la gestión del agua de riego ha conformado un nuevo espacio simbólico entre los distintos agentes donde la posición de cada uno ha variado en cuanto a la eficacia simbólica. Teniendo en cuenta la importancia de estas instituciones que gestionan la distribución del agua a nivel local, parece relevante conocer los "saberes" sobre los que se basa su gestión, en tanto conocimiento que resulta de una construcción colectiva de las comunidades de regantes. Este es un saber de tipo instrumental, adecuado a un desempeño concreto y a las características de la práctica social dadas por las relaciones de poder que caracterizan un momento histórico. El objeto de este trabajo es describir estos saberes y las condiciones que permiten mantener la legitimidad de su saber como "llave del sistema" dentro de este nuevo paradigma de gestión de


<sup>1</sup> Centro de Estudios de la Cultura, Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, Universidad Nacional de Cuyo, Argentina. E-mail: [rosibustos@hotmail.com](mailto:rosibustos@hotmail.com)

lo público. La metodología para la recolección de datos es de tipo cualitativa y se basa en el análisis de documentos, entrevistas a distintos actores del sistema de riego y análisis de redes informales. La zona de estudio es el Oasis Norte de la Provincia de Mendoza, Argentina.

Para explicar el funcionamiento de las Inspecciones de Cauce es indispensable reconstruir la dinámica de interacción entre el DGI, las Inspecciones de Cauce y los regantes a partir de las redes que se conforman. En estas interfaces se enfrentan sistemas de conocimiento de diferente raíz sociocultural y reconocimiento jurídico-técnico: conocimientos institucionales y populares que dan lugar a pugnas por la predominancia de significados, valores y prácticas alrededor de la distribución del agua y a partir de relaciones políticas desiguales. Los resultados obtenidos del análisis de redes informales nos muestran como está posicionado en este campo el Inspector de Cauce. El inspector no tiene una relación directa con el DGI, sino a través de la Asociación de Inspección de Cauce, que es su red de apoyo técnico. En cambio, el gerente de la asociación se comunica directamente con el DGI. Los inspectores tienen que ir acompañados por el gerente de la asociación. La asociación ejerce una especie de tutela. Los inspectores suelen ser regantes que pertenecen a los estratos medianos y grandes. Sin embargo se definen como “yo y mis regantes” y de esa manera expresa como esta constituida históricamente esta relación y de donde viene su reconocimiento.

Los Inspectores de Cauce, frente al monopolio de información del DGI utilizan su saber empírico y de conocimiento de la zona de los regantes del canal para identificar a los “regantes” o propietarios con derecho de agua a través de un “dibujo práctico” que entiendan los regantes y los tomeros. Este contiene información sobre la ubicación y recorrido de los canales, hijuelas y ramos, ubicación de las tomas y donde aparecen ubicados los regantes en el canal. Dando cuenta de que la

gestión del inspector supone una relación cercana con el regante, la identificación del propietario con la propiedad, para los Inspectores de Cauce se basan en el padrón electoral. El inspector conoce los distintos tipos de regantes, grandes propiedades de empresas internacionales, pequeños chacareros, y sus necesidades de agua que trata de plasmar a través de la confección del cuadro de turnos en base a la cantidad de hectáreas que figuran en el padrón de regantes. Flexibilizando algunos mecanismos de distribución, van “regulando” la distribución según la necesidades de los regantes. El inspector para confeccionar el cuadro de turnos, necesita conocer el caudal de agua que va a ser distribuido ese año. Existen por lo menos dos formas prácticas de determinar el caudal de agua a distribuir. Una se expresa como una “altura” de agua en el canal. Otra se expresa en  $m^3 s^{-1}$ . A esta medida los inspectores le denominan “el coeficiente”. La primera, le permite entenderse con el regante. La segunda, es un saber tutelado, en el sentido que supone el asesoramiento técnico del DGI, a través de las Asociaciones de Riego. El cuadro de turnos es una herramienta indispensable para la distribución del agua, ya que establece a que regante le debe ser asignada el agua y por cuantos minutos. El control se organiza a través de un sistema que se denomina “de abajo hacia arriba y de arriba hacia abajo”. Con la reestructuración productiva, aparecen nuevos actores, que no reconocen estas relaciones, hoy es reemplazado por el “control” de la Asociación. Los Inspectores de Cauce utilizan “saberes” que están ligados a la realidad cotidiana de una comunidad de regantes. Forman parte de una realidad única, como se puede definir a cada comunidad de regantes a diferencia de una organización de usuarios. De esta manera continúan teniendo la llave del funcionamiento del sistema.

**Palabras clave:** saber popular, descentralización, redes sociales. 



## The popular knowledge of the “Inspector de Cauce” and the changes in paradigm in irrigation systems management in Mendoza, Argentina

---

### Summary

In Mendoza, Argentina, the irrigation system exists since before de Spanish colonization. Since 1884, the General Departament of Irrigation is responsible for the management of the distribution of water among the farmers through an organization called “Inspeccion de Cauce”. Since 1980-1990, a provincial policy is developed to decentralize irrigation management in order to increase the efficien-

ty. The objetive of this paper is to describe the popular knowledge of the Canal Inspectors and to analyze the conditions for the maintenance, which is the key of the performance of the system of water distribution between the users of the canal. Field data were collected by in-depth interviews with diferents actors of de irrigation system of de North oasis. It is concluded that the comunity insertion of the Canal’s Inspector is the condition of their performance in the present new stage of power relations, where the power of the State is based upon scientific knowledge.

**Keywords:** Traditional knowledge, decentralization, social network.



## PUESTA EN VALOR DE RIEGOS ANCESTRALES: GALERÍAS FILTRANTES, ANDENES, AMUNAS Y WARU WARU, PERU

Antonio Enciso G<sup>1</sup>

### Resumen

En el Perú Precolombino se ejecutaron numerosas obras hidráulicas para almacenar, captar, conducir y distribuir el agua con fines de riego, estas obras se construyeron a lo largo de toda la costa y sierra peruana.

En el trabajo titulado “Puesta en valor de Sistemas de Riegos Ancestrales”, se pretende despertar el interés de las comunidades, de los gobiernos locales y regionales del Perú, a fin de que consideren dentro de sus planes, la rehabilitación y/o construcción de las infraestructuras de riego ancestrales, muchas de las cuales están prestando servicio actualmente, tales como las galerías filtrantes de Nasca, los andenes del Cusco, los Waru Waru de Puno y las amunas de Huarochiri.

El área de estudio esta comprendida en:

- Galerías Filtrantes- En la Provincia de Nasca, Región Ica, con una altitud aproximada entre los 600 a 700 msnm.
- Andenes- En el valle de Lurin, Provincia de Lima, Región Lima, a una altura de 300 msnm.
- Amunas- En la Provincia de Huarochiri, Región Lima, a una altura de 1800 a 3000 msnm.

- Waru Waru- En la Provincia de Juliaca, en la región Puno, a una altura aproximada de 4000 msnm.

Para la ejecución de la evaluación se ha empleado los siguientes materiales y equipos: información cartográfica, fotografías, imágenes de satélite y los reportes de los trabajos de campo. El método empleado ha sido el deductivo.

**Las galerías filtrantes:** Las galerías filtrantes de Nasca, fueron construidas por la cultura precolombina del mismo nombre con la finalidad de solucionar la escasez de agua en el valle, estas galerías filtrantes o llamadas también “acueductos” aún están en funcionamiento, mantienen su diseño y construcción original y proporcionan agua con fines de riego y para consumo humano para Nasca y su campiña.

Los primeros cateos y descubrimiento de la corriente subsuperficial, naturalmente debió ocurrir en la parte baja es decir en la zona de Cahuachi, en donde aflorarían algunos puquiales.

**Los andenes:** En el Perú Precolombino se construyeron andenes tanto en la costa como en la sierra, en las épocas ancestrales, las construcciones se efectuaban con la decisión de los gobernantes, no interesaba el costo que

<sup>1</sup> Ingeniero Agrícola. Profesor de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Peru, Leon Baumann 126 San Borja, Lima, Peru. ([aenciso@lamolina.edu.pe](mailto:aenciso@lamolina.edu.pe))



esto significaba ni el tiempo que se demorarían, así tenemos numerosas obras de andenería que además de cumplir con las funciones de controlar la erosión, sostener los cultivos, presentan una arquitectura bellísima que en la actualidad asombra a los visitantes.

Los costos calculados para poner en valor andenes precolombinos asciende a \$2.200/ha (dólares americanos) y \$6.500/ha la construcción de un nuevo andén.

**Las amunas (siembra de agua):** En esta parte abundare en más detalles, dado que las Amunas (es el nombre en quechua) son un sistema que consiste en la construcción de grandes terrazas limitadas por diques, en donde se almacena el agua de lluvia, impidiendo que drene a los ríos y procurando una total infiltración, en otros casos se construyeron canales para conducir el agua excedente de las quebradas, las cuales drenan en épocas de lluvias, y eran conducidas hasta estas grandes pampas, se almacenaban allí para su posterior infiltración.

El agua infiltrada, drene subterráneamente ladera abajo a través de cárcavas y finalmente meses después aflora formando los puquios, manantiales u ojos de agua (ñahuinpuquios), de allí se conduce el agua mediante canales a los terrenos de cultivo y para uso doméstico.

La puesta en valor de estos sistemas se ha calculado en \$12.000 dólares americanos por kilómetro, igualmente, si masificáramos la construcción y/o rehabilitación de estos sistemas, se emplearía gran cantidad de mano de obra y contribuiríamos a la recuperación de los manantiales y a mantener los que todavía no se han secado.

**Los waru waru:** Consisten básicamente en generar terrenos de cultivo en camellones los cuales son construidos con el material extraído de las excavaciones para conformar los canales que receptaran el agua de las lluvias o sub-superficiales. El ancho de los camellones es en promedio de 4 a 10 metros y la longitud va desde los 10 metros hasta los 120 metros.

Se ha estimado en 10.000 dólares la rehabilitación de una hectárea de waru y en 23.000 dólares la construcción de una hectárea nueva.

**Conclusiones:** es factible la puesta en valor de los sistemas ancestrales de riego.

La puesta en valor de las galerías filtrantes se ha calculado en \$ 15.000 (dólares americanos) por kilómetro. La rehabilitación de andenes Precolombinos demandarían una inversión de 2.200 dólares americanos por hectárea, mientras que la construcción de nuevos andenes, requieren una inversión de 6.500 dólares americanos por hectárea de andén. La puesta en valor de las amunas, en la provincia de Huarochiri se ha calculado en dólares americanos por kilómetro de acequia amunera, el costo de las terrazas de infiltración aún se están estudiando. La puesta en valor de una hectárea de Waru waru se ha calculado en 10.000 dólares americanos, y en 23.000 dólares americanos la construcción de una hectárea de waru waru. La puesta en valor de estos sistemas ancestrales de riego demandaría una gran cantidad de mano de obra y por otro lado una vez puestos en valor fomentaría el turismo rural.

**Palabras clave:** riego ancestral, acueductos, andenes, waru waru, amunas, puesta en valor.




## Valuing for today's use of ancestral irrigation systems in Peru: Nazca aqueducts, andenes, amunas and waru waru.

---

### Summary

In Pre-Columbian Peru many hydraulic structures were built to store, capture, conduct and distribute water for irrigation. In the Ica region, the Nazca aqueducts for collecting groundwater flows also stand out. In the Pe-

ruvian highland, *andene* terraces stand out as the main system used by ancient Peruvians for efficient water-plant-soil management. In the Peruvian highlands, especially in the plateau region of Puno, an irrigation system called *waru waru* stands out. Another common practice in the Peruvian highland known as *amunas*, or water-planting, still is in use. The study points out that today's use of these systems is viable despite costs are high.

**Keywords:** ancient irrigation system, subterranean aqueduct, terraces, waru waru, amunas, stake in value. 

## GESTIÓN DEL RIEGO TRADICIONAL EN LA ZONA CIRCUNDANTE AL NEVADO ILLAMPU

Nelson Olmedo E.<sup>1</sup>, René Chipana R.<sup>2</sup>

### Resumen

Uno de los principales problemas que tiene el sector agrícola en el altiplano de Bolivia es la carencia de recursos hídricos y la gestión de sistemas de riego tradicionales. Por tal motivo, existe la necesidad de desarrollar un enfoque adecuado, que incorpore el componente social, el cual está representado por usuarios del sistema, quienes ocupan un cierto espacio geográfico y asumen diferentes formas de organización con la finalidad de lograr un control interno para la distribución equitativa del agua. La cuenca del río Keka, que es uno de los principales afluentes del lago Titicaca, está conformada en su totalidad por sistemas de riego tradicionales. En tal sentido, el presente trabajo buscó describir la gestión de los sistemas tradicionales de riego de esta cuenca.

El estudio se efectuó en la cuenca superior del río Keka, que está compuesta por 18 comunidades, perteneciente a las provincias Los Andes y Omasuyos del departamento de La Paz. Dicha área comprende cuatro cantones y 18 comunidades, existiendo 42 sistemas de riego distribuidos entre los ríos Keka, Corpa Jauría, Colla Jauría, Jallps y Kellhuani, con caudales en la época de estiaje variando entre 0.1 a 2.5 m<sup>3</sup>/s, los cuales riegan una superficie

aproximada de 2.195 ha, beneficiando a 1.514 familias.

El paisaje de la cuenca superior está conformado por serranías precordilleranas con una topografía de pendientes elevadas y suaves. Varias comunidades se extienden hasta los nevados de la cordillera Oriental (nevado Illampu) presentando un paisaje montañoso casi en toda su extensión. Las otras comunidades están ubicadas en planicies y pampas, con pendientes que varían entre 1 a 10%. La precipitación media anual es de 590 mm distribuida de diciembre a marzo y temperatura media anual es igual a 7.1 °C.

Los habitantes de la zona tienen su origen en asentamientos de la raza Aymara. El derecho propietario se otorgó con la Ley de Reforma Agraria en 1953, con la condición de que las tierras fueran utilizadas para la actividad agrícola. La mayoría de las familias posee menos de 4 ha.

La mayoría de las tomas de cada sistema de riego está construido con materiales existentes en el lugar (piedra, arena, barro y ramas). Las tomas son construidas amontonando las piedras en forma de diques para desviar el agua hacia los canales. Todos los canales son de tierra, generalmente tienen forma de "U".

1 Ingeniero Agrónomo, Consultor en Riego. E-mail: [esquivel-nelson@hotmail.com](mailto:esquivel-nelson@hotmail.com)

2 Ingeniero Agrónomo, Dr. en Riego y Drenaje. Profesor Universidad Mayor de San Andrés. E-mail: [renechipana@yahoo.com](mailto:renechipana@yahoo.com)

En algunos tramos las paredes laterales de los canales están cubiertas por pastos nativos y pajonales. Los canales se subdividen en principales, secundarios, terciarios y cuaternarios. La longitud total de los canales en los 42 sistemas de riego alcanza a los 134 km. Mediante una evaluación de los sistemas de riego se llegó a estimar un área potencial de riego de 5.500 ha, predominando los pastizales y bofedales extensos que abarcan 1.305 ha y los cultivos anuales que alcanzan las 889 ha, de las cuales 234 ha correspondan a papa, 157 ha a haba, 277 ha a cebada, 76 ha a oca, 123 a quinua, 9 ha a la alfalfa y 11 ha a algunas hortalizas, totalizando 2.195 ha de área neta con riego. En las partes altas, por las severas condiciones climáticas (principalmente bajas temperaturas) el agua se destina al riego de pastizales nativos, regándose 1305 ha de bofedales.

Las comunidades regantes conforman parte de la “Asociación de Usuarios del Proyecto Achacachi” (AUPA) que es una asociación de derecho público con fines no lucrativos. Esta organización tiene un presidente, un vicepresidente y varias secretarías. Los niveles de decisión siguen la siguiente secuencia: Ampliado anual; Asamblea ordinaria; Asamblea extraordinaria; Reunión de la directiva. Al interior de las comunidades, el Sindicato Agrario es la máxima organización, este tipo de estructura data de 1953 y su formación está sobre la base de una organización tradicional enraizada a criterios campesinos, además de estar reconocido por el Estado boliviano.


En cuanto a la organización entorno al riego, ésta es manejada por el Sindicato Agrario de cada comunidad, haciéndose responsable del aprovechamiento de los ríos y sistemas de riego. Específicamente la autoridad del agua recae en el Secretario General o Alcalde de Agua que elige la comunidad anualmente; esta autoridad es la encargada de coordinar con los representantes de otras comunidades los acuerdos para la distribución, mantenimiento y sanciones que se debe aplicar. Todas las actividades que involucran el uso del agua están

contempladas dentro de una visión integral, donde tratan de que su intervención mantenga ileso el equilibrio con la naturaleza, lo que permitiría a la vez una retribución de las deidades para lograr una buena producción.

Los derechos al agua son parte fundamental del funcionamiento de los sistemas de riego en esta zona, los cuales son derechos locales o derechos consuetudinarios, no establecidos por el sistema jurídico formal sino por las organizaciones locales que se ocupan del aprovechamiento de las aguas. La distribución del riego que se da en la Cuenca Superior a nivel intercomunal y comunal, está dado según la modalidad establecida en la AUPA, las cuales son: distribución libre; distribución al pedido; distribución continua; distribución por rotación o turnos que consiste en obtener el riego por un tiempo determinado, acordado entre las partes interesadas.

En el mantenimiento, la práctica más usual es la limpieza y refaccionamiento de los canales, para tal efecto los usuarios se reúnen para fijar la fecha del trabajo, participando en esta actividad hombres, mujeres, niños y hasta ancianos distribuyéndose tramos iguales; las herramientas más utilizadas son la pala y picota.

Los resultados alcanzados permiten indicar que la infraestructura de las obras de toma, conducción y distribución son estructuras rústicas, que permiten regar actualmente 2.195 ha. Asimismo, cada sistema de riego tiene su particular forma de organización de las cuales se distinguen dos tipos: la formal, que son sistemas organizados por alguna autoridad sea este un Alcalde de Agua, Jefe de Zona o algún miembro del sindicato; y no formal, organizada por los mismos usuarios, siendo que en estos sistemas los derechos sobre el agua son colectivos. En la distribución del riego, se determinaron cuatro modalidades: distribución libre, a pedido, continuo y por rotación o turnos, según la época.

**Palabras clave:** Organización, distribución, mantenimiento y derechos del agua. 


## Management of the traditional irrigation systems in the area surrounding the snow-capped mountain Illampu

---

### Summary

The present work was realized in the upper basin of the Keka River. During the study there was carried out the recognition of the study area and a summary of the information related to the system management of irrigation. The systems of irrigation were divided into zones and described. Meetings were carried out by the local organizations with visits and collection of information from farmers. The area of study includes 42 systems of irrigation with an approximate cropped surface of 14.675 ha having 2.385 irrigation water users. It is believed that these systems mainly exist from the colonial epoch. The infrastructure of the systems is rustic, with water diversion and

distribution with stone and earth channels; the total length of these channels reaches 134 km. The flow rate in the channels ranges from 15 to 800 l/s. The potential area of irrigation reaches the 5.500 ha but the current area of irrigation is of 2.195 ha dedicated to various crops: bean, barley, oats, goose, quinoa, alfalfa and native pastures in wetted areas. The farmers form a part of the “Users” Association of the Project Achacachi - AUPA. At communal level, the principal organization is the Agrarian Union, and inside this structure the Water Mayor has authorities of irrigation control. The water rights are expressed in regulations, with rights and obligations. The distribution of the water is performed by order, for shift and free distribution; in the majority of the communities the distribution of the water is free of charge.

**Keywords:** Organization, distribution, maintenance, laws of the water. 

## MANEJO DEL AGUA EN LA REGIÓN KALLAWAYA

Fernando Manzaneda Delgado<sup>1</sup>

### Resumen

Los Kallawayas son un grupo étnico situado en la jurisdicción de la Provincia Bautista Saavedra, ubicada al norte del departamento de La Paz con una superficie de 2.525 km<sup>2</sup>. Su nombre está relacionado con la denominación que dieron los incas a la actual Bolivia, Kollasuyo que quiere decir país de los médicos. De ahí, que los andinos reconocen a los Kallawayas como “Herbolarios originarios de la tierra sagrada de la medicina”, reunidos por lazos de parentesco, religiosos y territoriales, por un derecho permanente a la tierra y linaje, además de los lazos de afinidad generada en torno a la reciprocidad y prácticas ceremoniales.

El manejo y uso del agua de riego en la actualidad presenta un caso peculiar que aglutina diferentes comunidades y distintos pisos ecológicos entre los 3.000 a 5.000 msnm, poniendo en práctica el llamado “control vertical de

pisos ecológicos”, aplicando sus conocimientos ligados a una forma de ver la cosmovisión andina.

En la metodología se aplican herramientas de diagnóstico rural participativo (DRPs), adaptable para diferentes actores sociales, identificando alternativas y directrices para planificar futuras actividades; con entrevistas y encuestas a autoridades originarias, personas de base y grupos focales.

La microcuenca tiene como principales fuentes a: las precipitaciones pluviales, aguas del deshielo, vertientes, ojos de agua y lagunas, se tiene los ríos: Apacheta, Palq’a, Chacarapi, Caluyo, Chari, Lunlaya, Charazani, Jatichulaya y Wasawayqho desembocando en la comunidad de Sillij Playa (unión con el río Curva). Para determinar el comportamiento del agua durante la gestión se han medido caudales en dos puntos (inicio y final) (Tabla 1).

**Tabla 1.** Cálculo de caudales de los ríos de influencia.

Nombre del río	Caudales m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>									
	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
<b>Inicio río Charazani</b>	2.52	2.17	1.99	2.14	1.59	1.77	1.72	1.70	1.65	1.60
<b>Final Cuenca</b>	3.22	2.77	2.54	2.74	2.04	2.25	2.19	2.00	1.99	2.10

<sup>1</sup> Consultor del Programa de Agroecología de Desarrollo Rural Autosostenible (PRADERA). E-mail: [fmanzaneda@yahoo.es](mailto:fmanzaneda@yahoo.es)

En la **Tabla 1**, se observa una disminución gradual del caudal al final de la cuenca, desde la primera medición (marzo) a la última (diciembre); de  $(3.210 - 2.001) = 1.09 \text{ m}^3/\text{s}$ . Excepto el mes de junio que tiene mayor caudal respecto a mayo por el poco uso de agua para cultivos precoces y hortalizas.

Los aportes de las diferentes fuentes de agua, no tiene relación con la sumatoria total, porque no se consideran pequeñas filtraciones, vertientes, ojos de agua, aguas subterráneas y las que se pierde por infiltración.

Finalmente la reducción de los caudales a partir del mes de septiembre es mayor, utilizados para la preparación de terreno (siembra de octubre y noviembre) y la época de estiaje.

Desde el punto de vista del estudio de la calidad del agua (**Tabla 2**), es importante mencionar que las características del mismo, en su generalidad son buenas, sin embargo hay que resaltar que las condiciones de la zona determinan que en gran parte de la cuenca el agua tenga una calidad aceptable para el consumo humano. Considerando el efecto de la geomorfología en la concentración de oxígeno disuelto, se establece que existe un ligero arrastre de metales pesados, cuantificando el DBO5 medida indirecta de la carga orgánica, que en general es muy baja, estos valores se corroboran con los datos presentados en el pH que van desde ligero hasta moderadamente ácido.

La dimensión simbólica es el elemento central de la *cosmovisión andina*, donde las actividades económicas productivas tienen un nexo indisoluble con las *ceremonias y rituales*, que muestran la interacción constante entre el hombre y la naturaleza, dentro de estas mencionamos una de ellas.

*Ceremonia del “Kallay”* (inicio de actividades agrícolas): Es un ritual que se efectúa en el lugar de la chacra, en el mes de enero, se la realiza *ayllu* por *ayllu* y es principalmente para que haya buena producción. En esta ceremonia, lo primero que procede es la “*ch’alla*” (celebración con bebidas alcohólicas) en el lugar de la chacra, esta costumbre es organizada y convocada por todas las autoridades. La persona encargada se la denomina “*yapukamana*”, o el que se acuerda de la chacra, y es quien debe además llevar e invitar coca, alcohol y dar todo para la ofrenda o “*wajtanchara*”, en esta ceremonia también aporta cada familia de la comunidad. Como se ha mencionado las costumbres y los ritos se encuentran relacionados con las actividades productivas, en el caso de la actividad ganadera, se realiza en “San Juan, 24 de junio”, es para festejar al ganado ovino y camélido, mientras que para el ganado equino (caballos, burros, etc.) la fiesta es en honor al “Apostol Santiago, 25 de julio”, a esto se denomina “*killpa*” (marcado de los animales en la oreja) y “*Thika*” (adornado con flores sintéticas).

**Tabla 2.** Calidad del agua en diferentes puntos de la cuenca.

Punto de muestreo	Comunidad más cercana	Contaminación física		Contaminación química			Contaminación biológica
		Color	Olor	pH	OD	Dureza	DBO5
Río Caluyo	Caluyo	Transparente	Sin olor	6	Medio	Blanda	Baja
Río Chacarapi	Chacarapi	Transparente	Sin olor	6	Medio	Semiblanda	Baja
Río Apacheta	Chillchata	Transparente	Sin olor	6	Medio	Blanda	Baja
Río Lunlaya	Lunlaya	Transparente	Hierbas	6.5	Bajo	Blanda	Baja
Río Chupuico	Chupuico	Transparente	Sin olor	7	Bajo	Blanda	Baja
Río Charazani	Charazani	Verdoso	Hierbas	6.5	Alto	Blanda	Ligeramente Baja
Jatichulaya	Silij Playa	Transparente	Sin olor	6.5	Medio	Blanda	Baja



El manejo del recurso hídrico es tradicional, método completamente adecuado y en equilibrio con las características ecológicas y productivas del área, carece de un sistema organizativo específico en torno al agua, es utilizado convencionalmente por los usuarios, dando lugar a que la distribución del agua sea diferenciada causando problemas a comunidades adyacentes y circundantes. El saber local es característico de la zona andina, y se va transmitiendo de generación en generación, en la actualidad este sistema de conocimientos ancestrales debe ser estudiado con mayor énfasis, ya que el

trabajo realizado aportará en lo posterior una adecuada planificación en torno al recurso hídrico.

Finalmente las tradiciones sobre las ceremonias y rituales relacionados al agua y fenómenos naturales adversos, se mantienen muy estables, lo que de alguna manera ayuda a paliar la necesidad cuando las precipitaciones pluviales no son normales.

**Palabras clave:** Análisis de agua, comportamiento, riego ancestral y rituales.



## Water management in the Kallawayá region

### Summary


The Kallawayas is an ethnic group located in the province of Bautista Saavedra, which extends over 2.525 km<sup>2</sup> located at the north of the department of La Paz. The name Kallawayá was taken from the title Kollasuyo used by the Incas, referring to the territory known today as Bolivia. Kollasuyo means land of doctors and since Inca times the Andean people used the name Kallawayá to describe the “original Herbalist’s of the sacred land of medicine”, who were grouped by kinship, religion and territory with a permanent right to the land and lineage, in addition to bonds built based on reciprocity and ceremonial practices. The management and use of the water for irrigation currently presents a particular case that brings together different communities and different ecological floors ranging from 3.000 to 5.000 masl. These communities practice the “vertical control of ecological floors”, applying their knowledge and customs tied to a way of life seen through the Andean Cosmovisión or world vision.

The study looked at the behaviour of water through the agricultural cycle. Flow measurements were taken and the results obtained, showed a gradual decrease in the flow of water at the end of the water basin, from the first measurement in March to the last measurement in December of  $(3.210 - 2.001) = 1.09$  m<sup>3</sup>/s. The only exception being the month of June when there was less use of water for premature seedlings and garden vegetables. Finally it was noted that the water flow was greatest during September when it is intensely used for preparation of the land for sowing in October and November. It is important to advise that the water quality in the region is in general good; however, specific conditions of the zone greatly influence the basin’s water quality and its suitability for human consumption. Considering the effect of the geomorphology in the concentrations of dissolved oxygen, it was found that there exists a slight trace of heavy metals. The DBO<sub>5</sub>, an indirect measure of the organic load, was quantified and in general is very low. The pH showed a range from slight to moderate acid.

The symbolic dimension is the central element of the Andean cosmovisión, where economic productive activities have an inseparable link

with ceremonies and rituals that demonstrate the constant interaction between man and nature. This can be seen for example in the “*Kallay*” ceremony which marks the beginning of agricultural activities. The ceremony takes place in January on the “*chakra*” (small subsistence agricultural plots) to ensure a good harvest for the year. The ceremony includes a “*ch’alla*” (offertory celebration with alcohol) organized by the local/community authorities. The ceremony is led by the “*yapukamana*”, the person who remembers the *chakra*, and who brings and invites coca, alcohol and the “*wajtancha*” offering for the ceremony. Every family in the community also contributes and participates in the ceremony. The study conclusion is that management of water resources is practiced using traditional methods and

customs that are in balance with the ecological and productive characteristics of the area, but its management lacks a specific organizational system solely focused on water. This and the use of the water by conventional users causes changes or differences in water distribution which in turn creates problems for adjacent and surrounding communities. Finally, the traditions related to ceremonies and rituals, which are linked to water and adverse natural phenomena, are well established and this in some way helps to ameliorate water supply needs when rainfall is higher or lower than normal.

**Keyword:** water analysis, behavior, ancient irrigation and rituals. 

# 3

## POUPANÇA E CONSERVAÇÃO DA ÁGUA: TÉCNICAS DE IRRIGAÇÃO E MODELOS DE SIMULAÇÃO



## POUPANÇA E CONSERVAÇÃO DA ÁGUA: TÉCNICAS DE IRRIGAÇÃO E MODELOS DE SIMULAÇÃO

Reimar Carlesso<sup>1</sup>

No tema “Ahorro y conservación del agua en la finca: técnicas de riego y modelos de simulación”, apresentados abaixo, são discutidos estratégias utilizadas pelos produtores iberoamericanos em nível parcelar e de investigação científica na área de manejo de áreas irrigadas. As colaborações apresentadas por esse grupo de especialistas em irrigação são importantes para o manejo integrado de áreas irrigadas, em nível de parcela e de microbacias hidrográficas. Em nível de parcela irrigada, a melhora na eficiência de uso da água na agricultura só será possível com a adoção de um adequado manejo de irrigação. Assim será possível evitar desperdícios de água e/ou redução na produção, causados pela irrigação aplicada em excesso ou deficiente. Inúmeras tecnologias podem ser utilizadas pelos produtores para aliar o aumento da produtividade com a proteção ambiental, tais como práticas que visem reduzir as perdas de água de uma bacia hidrográfica. Em outras palavras, sem um controle e monitoramento adequado da água disponibilizada às culturas, a agricultura irrigada pode comprometer a sustentabilidade do sistema de produção.

As informações e trocas de experiências apresentadas a seguir constituem-se em um importante subsídio para extensionistas, profissionais em agronomia, técnicos, produtores

rurais e acadêmicos, uma vez que serão discutidos temas sobre agricultura irrigada, manejo da irrigação e gerenciamento de recursos hídricos. Neste tema, entretanto, os autores se reportam em maior escala à modernização da estrutura de informação utilizada para o manejo da água de irrigação e fertilizantes em nível parcelar de áreas irrigadas. Dessa forma, é facilitado o acesso às recomendações de quando irrigar e quanta água aplicar em cada irrigação, bem como o manejo de fertilizantes, gerenciamento de microbacias agrícolas e a determinação de vazão em áreas irrigadas.

Os autores através de uma linguagem clara e concisa descrevem a importância do conhecimento dos diferentes parâmetros agrometeorológicos e da sua influência sobre os processos biológicos dos cultivos em geral. Além da importância da determinação do consumo de água das culturas, as informações contidas nesse tema podem auxiliar diretamente os produtores irrigantes no manejo de áreas irrigadas. Busca-se assim, contribuir para o fortalecimento da extensão rural e dos cursos acadêmicos ligados à agronomia, engenharia agrícola, agrometeorologia e irrigação, bem como disponibilizar informações para produtores, profissionais liberais, empresas de fomento, extensão e pesquisa ligados a atividade agrícola.

<sup>1</sup> Eng. Agr. Ph.D. Professor Titular do Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil. CEP 97105-900. E-mail: [carlesso@ccr.ufsm.br](mailto:carlesso@ccr.ufsm.br).

O grande desafio da primeira metade do século XXI vem a ser o aumento na produção das culturas com quantidades menores de água, particularmente nas regiões com limitados recursos hídricos. Sabe-se que o requerimento hídrico das plantas varia entre espécies, dependendo de características genéticas e adaptação às diferentes condições de cultivo. Um adequado manejo de irrigação é aquele que determina quando e quanto irrigar, baseado na necessidade de água das culturas, nas características de solo e condições meteorológicas do ambiente de cultivo, visando otimizar a qualidade e quantidade da produção obtida.

Vários métodos de manejo de irrigação foram desenvolvidos nas últimas décadas, mas a adoção da maioria deles por produtores irrigantes foi limitada pelo custo, tempo de instalação, manutenção e complexidades que a adoção que um ou outro método envolve. Em regiões áridas, a decisão de quando e quanto irrigar é relativamente simples. Entretanto, quando se trata de irrigação suplementar, a programação de irrigação passa a ser uma tarefa complexa, principalmente devido à ocorrência de precipitações pluviais.

No primeiro trabalho – *Rede de Estações Meteorológicas Automáticas para Prover a Necessidade de Irrigação das Culturas* - discute-se um serviço de manejo e monitoramento de irrigação, com a disponibilização das informações aos produtores em tempo real, via internet e os critérios de quando irrigar e quanta água aplicar em cada irrigação. A definição desses critérios está fundamentada em parâmetros agronômicos de cada cultura (requerimento hídrico, períodos críticos da cultura, fenologia, fenometria, etc.) e em características de solo e de clima, particularmente às variações das condições meteorológicas, em combinação com um modelo matemático de determinação da evapotranspiração de referência.

O Sistema Irriga® é um serviço de manejo e monitoramento de irrigações, desenvolvido no Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal de Santa Maria – Brasil,

onde os critérios de quando irrigar e quanta água aplicar são fundamentados em parâmetros agronômicos de cada cultura (requerimento hídrico, períodos críticos da cultura) e em características de solo e de clima, particularmente às variações das condições meteorológicas, em combinação com um modelo matemático de determinação da evapotranspiração de referência. Neste trabalho serão apresentados os fatores envolvidos na determinação da programação de irrigação do Sistema Irriga®, desde a coleta de informações, até a disponibilização das informações em nível de produtor irrigante.

Na mesma linha, no segundo trabalho - *Sistema Integral para la Gestión Hídrica* -, é apresentado uma metodologia que possibilita a programação da irrigação da videira, milho e tomate a partir de informações de solo, planta e clima. Nesses trabalhos a transferências das recomendações de manejo de irrigação é realizada via internet, facilitando e simplificando a adoção dessa tecnologia por parte dos produtores irrigantes. Essa tecnologia requer uma calibração no local de utilização do modelo de simulação especialmente para parâmetros como: coeficiente de cultivo, critérios de irrigação e componentes do balanço de energia. De acordo com o autor, recomendações a seguir devem ser seguidas para garantir sucesso na implantação de um sistema de irrigação e posterior monitoramento e manejo: (a) a instalação de um sistema de irrigação pressurizado sem considerar a programação de irrigação não garante um uso eficiente da água de irrigação. Por essa razão, os investimentos em irrigação devem ser complementados com investimentos em computadores, softwares e estação meteorológica automática, para possibilitar uma adequada gestão dos recursos hídricos disponíveis; (b) implementar um programa de transferência orientada de tecnologia para a assistência técnica e produtores para facilitar a adoção da programação de irrigação e; (c) incentivar programas de pesquisa técnico-científica para desenvolver, validar ou adaptar tecnologias de programação de irrigação que permita melhorar a gestão da

água em sistemas de irrigação mecanizado e superficial.

No terceiro trabalho - *Modelización Bidimensional del Movimiento de Nutrientes en el Suelo bajo Riego por Goteo* - produtos químicos aplicados via água de irrigação, quando atingem o solo, são submetidos a deslocamentos espaciais e temporais no interior do perfil, resultando em concentrações diferente daquela inicialmente determinada na profundidade do perfil explorado pelo sistema radicular nas plantas. No trabalho são apresentados resultados de um modelo matemático utilizado para descrever o movimento de nutrientes, especialmente o nitrato e o potássio, no interior do bulbo molhado, de um sistema de irrigação por gotejamento. As características físicas do solo utilizadas para validar o modelo foram: a textura do solo, densidade do solo e de partículas, condutividade hidráulica saturada do solo e curva característica da água no solo. Na simulação foi assumida uma vazão dos gotejadores de 3 l/hr e um tempo de irrigação de duas horas. Os resultados apresentados contribuem para o entendimento da dinâmica da água e de solutos no interior dos solos irrigados. A distribuição de potássio no interior do bulbo úmido demonstrou que esse cátion é fortemente retido nos extratos superiores do perfil do solo (camada superficial). As maiores concentrações tanto dos valores medidos como dos estimados foram observadas dentro de um raio de 10 cm a partir do gotejador, não ultrapassando a profundidade de 20 cm. Assim, o transporte de potássio no interior do perfil do solo não acompanha o movimento da água de irrigação. A redistribuição do nitrato no interior do bulbo molhado é similar ao deslocamento da água de irrigação. Esse trabalho descreve a dinâmica da água e de solutos no interior do perfil do solo, sendo essas informações importantes para o dimensionamento, operação e manejo de sistemas de distribuição de fertilizantes através da água de irrigação.

No Altiplano da cordilheira dos Andes é comum a produção e o consumo de quinoa

(*Chenopodium quinoa* W.). A cultura da quinoa é uma importante fonte de proteína para os povos andinos, sendo a produção excedente é utilizada para exportação. O trabalho - *Manejo y Dinamica del Agua en Parcelas Destinadas al Cultivo de la Quinoa* - discorre sobre a relação entre o conteúdo de água no solo e a produtividade da cultura irrigada pelo método de superfície, além da importância do manejo do solo e da cultura para preservar a água no perfil do solo. O clima da região é caracterizado como temperado montanhoso (Md-MTE), com temperatura média anual de 8,5°C, com temperatura mínima atingindo -16°C, limitando o desenvolvimento da cultura. A precipitação pluvial média anual é de 160 mm, sendo que a evapotranspiração média anual é bem superior a esse valor. Os solos cultivados com essa cultura são de textura grosseira apresentando menos de 20% de argila no perfil do solo. Os agricultores da região desenvolveram um sistema tradicional que objetiva armazenar água no perfil do solo de um ano para outro, através da trituração da vegetação nativa para manter uma cobertura morta (palha) na superfície do solo para reduzir as perdas de água por evaporação. Outra prática de manejo, para aumentar o armazenamento de água no solo, é a adição de matéria orgânica (esterco) alguns meses antes da semeadura da cultura. Tradicionalmente não é realizada nenhuma aplicação de irrigação durante o crescimento e o desenvolvimento da cultura, devido a reduzida quantidade de água disponível para a irrigação. No entanto, a aplicação de uma irrigação por superfície antes da semeadura aumentaria o armazenamento de água no perfil do solo, garantindo um incremento de produção, quando a demanda por água dos demais usuários é menor.

Na agricultura irrigada ou mesmo na de sequeiro, o conhecimento da disponibilidade de água aos cultivos é fundamental no planejamento do manejo do solo, da cultura e no uso dos recursos hídricos. No trabalho, *O Gerenciamento de Microbacias com Vocação Agrícola em Santa Catarina: Estudos Agrohidroclimatológicos Integrados*, são apresentadas



aplicações de conceitos e princípios de abordagem multi-escala de micro-bacias com o objetivo de estudar a gestão integrada e sustentável dos recursos hídricos. Os autores relatam que, a instrumentalização da coleta de informações das bacias hidrográficas possibilita identificar se as práticas e ações implementadas pelos agentes envolvidos (produtor, técnicos, sociedade, etc.) melhoram ou não o uso dos recursos naturais disponíveis, para cada bacia hidrográfica, desenvolvendo, a partir disso, critérios efetivos de sustentabilidade.

O gerenciamento de micro-bacias agrícolas envolve elementos de elevada complexidade, que necessitam de uma adequada representação e síntese, visando o entendimento das relações e a busca de soluções para os problemas associados ao desenvolvimento das atividades econômicas locais. No trabalho são apresentadas iniciativas de aplicação de conceitos e princípios de abordagem multi-escala, aliado à maior densidade de determinação de pluviometria em sete micro-bacias do Estado de Santa Catarina – Brasil, visando estudos de gestão integrada e sustentável da água e dos recursos hídricos. A metodologia baseia-se na abordagem multi-escala: que esta baseada por um lado na análise do uso da água em nível de produtor rural e por outro na alocação de água por parte dos gerentes e gestores nas bacias. A análise multi-escala possibilita considerar os impactos das alternativas de gestão

sobre o rendimento e a busca de alternativa de solução para ambas as escalas. No contexto dos conhecimentos hídricos locais, salienta-se a importância das características das chuvas e das variáveis meteorológicas que, em conjunto, são determinantes na definição das disponibilidades de água nas sub-bacias e na micro-bacia como um todo, bem como na necessidade de infra-estrutura adequada às exigências das atividades das mesmas.

As micro-bacias foram instrumentalizadas com estações de monitoramento permanente de fluviometria, de precipitação pluvial, de sedimentos e de qualidade da água. Essa instrumentação visa a determinação da disponibilidade hídrica da bacia em termos de qualidade e quantidade de água e as suas relações com as atividades humanas. Com as informações coletadas é realizada a caracterização da agricultura de sequeiro e a necessidade de água dos cultivos, avaliação das restrições hídricas, redução de produção, investimentos realizados, riscos associados, lucratividade, práticas de cultivo, tarifação pelo uso da água, entre outros processos relacionados à agricultura de cada local. As análises integradas desses resultados permitem avaliar as práticas e ações implementadas, tanto pelos agricultores como pelos gestores para a melhor utilização da água e dos recursos disponíveis, salientando as potencialidades de cada local, possibilitando a verificação de critérios efetivos de sustentabilidade.

## REDE DE ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS PARA PROVER A NECESSIDADE DE IRRIGAÇÃO DAS CULTURAS

Reimar Carlesso<sup>1</sup>, Mirta Teresinha Petry<sup>2</sup>, Celio Trois<sup>3</sup>

### Resumo

A despeito do incremento no uso de água por outros setores que não a agricultura, a irrigação continua sendo a principal consumidora de água em escala global. Entretanto, há uma crescente pressão da sociedade civil pela melhora na eficiência de uso da água na agricultura, como forma de evitar a escassez de água potável para uma população que cresce continuamente, principalmente em áreas marginais do planeta. Por outro lado, a irrigação é considerada a principal ferramenta para aumentar a eficiência de uso da água, seja pelo aumento na produção, seja pela manutenção do homem no campo. A eficiência de uso da água pode ser melhorada através da adoção de um eficiente manejo de irrigação e de técnicas que visam a conservação dos recursos hídricos.

O grande desafio da primeira metade do século XXI vem a ser o aumento na produção com quantidades menores de água, particularmente nas regiões com limitados recursos hídricos. Sabe-se que o requerimento hídrico das plantas varia entre espécies, dependendo de características genéticas e adaptação às diferentes condições de cultivo. Um adequado

manejo de irrigação é aquele que determina quando e quanto irrigar, baseado na necessidade de água das culturas, nas características de solo e condições meteorológicas do ambiente de cultivo, visando otimizar a qualidade e quantidade da produção obtida. Vários métodos de manejo de irrigação foram desenvolvidos nas últimas décadas, mas a adoção da maioria deles por produtores irrigantes foi limitada pelo custo, tempo de instalação, manutenção e complexidades que a adoção de um ou outro método envolve. Em regiões áridas, a decisão de quando e quanto irrigar é relativamente simples. Entretanto, quando se trata de irrigação suplementar, a programação de irrigação passa a ser tarefa complexa, principalmente devido à ocorrência de precipitações pluviais.

O Sistema Irriga<sup>®</sup> é um serviço de manejo e monitoramento de irrigações, onde os critérios de quando irrigar e quanta água aplicar são fundamentados em parâmetros agrônômicos de cada cultura (requerimento hídrico, períodos críticos da cultura) e em características de solo e de clima, particularmente às variações das condições meteorológicas, em combinação com um modelo matemático de


1 Eng. Agr. Ph.D. Professor Titular do Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil. CEP 97105-900. E-mail: [carlesso@ccr.ufsm.br](mailto:carlesso@ccr.ufsm.br).

2 Eng. Agr. Dra. Em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria. E-mail: [mirta@ccr.ufsm.br](mailto:mirta@ccr.ufsm.br).

3 Bel. em Informática, MSc. Ciência e Tecnologia da Comunicação e Informação. E-mail: [celio.trois@gmail.com](mailto:celio.trois@gmail.com).

determinação da evapotranspiração de referência. Neste trabalho serão apresentados os fatores envolvidos na determinação da programação de irrigação do Sistema Irriga®, desde a coleta de informações, até a dispo-

nibilização das informações para os produtores irrigantes.

**Palavras chave:** estação meteorológica automática, evapotranspiração de referência, manejo de irrigação. 

## The use of a meteorological stations network to provide crop water requirement information for irrigated crops


### Summary

Despite of the water use increment for other sectors than agriculture, the water use for irrigation continues being the main water consumer in global scale. However, irrigation has been pressured by the civil society to improve water use efficiency in agriculture, to prevent water scarcity for human population that grows continuously, mainly in developing areas of the planet. On the other hand, the irrigation practice is considered the main tool to increase water use efficiency, either for increasing crop production or for keeping rural works in the agricultural areas. The water use efficiency can be improved through the adoption of an efficient irrigation management and programming that results in water conservation.

The major challenge for the first half of XXI century is to increase crop production with lesser amounts of water, particularly in the regions with limited natural resources. It is well know that crop water consumption varies among species, depending on genetic characteristics and adaptation to the different crop cultivation conditions. An adequate irrigation management determines when to irrigate and how much water to apply based on plant water consumption, soil characteristics and meteorological conditions, aiming to optimize the quality and amount of the crop production.

Several methods of irrigation management have been developed in the last few decades, but the adoption of the majority by the irrigated grower was limited by the cost, time of installation, maintenance and local difficulties that the selection of a specific method involves. In arid regions, the decision of “when” and “how much” to irrigate is relatively simple. However, in regions where complementary irrigation is used, the irrigation scheduling is a complex task, mainly due to the water added from rainfall events.

The Sistema Irriga® is a service of irrigation management developed by the Federal University of Santa Maria, Brazil. The criteria used by this method to decide the irrigation application based on crop parameters of each irrigated crop (water requirements, crop critical periods, etc.), soil physical characteristics, meteorological conditions and characteristics of the irrigation system and irrigation method, combined with a mathematical model to determine the reference evapotranspiration and crop evapotranspiration. This paper describe all factors and parameters used in the Sistema Irriga® service, since the data acquisition (plant, soil, weather and irrigation system information) until the irrigation recommendation is available to the farmers.

**Keywords:** weather station, reference evapotranspiration, irrigation management. 

## SISTEMA INTEGRAL PARA LA GESTIÓN HÍDRICA

Samuel Ortega-Farías<sup>1</sup>

### Resumen

La programación del riego es una metodología que permite determinar el nivel óptimo de agua a aplicar en cada período fenológico de la vid, de acuerdo a las interacciones específicas de suelo, planta, clima, las cuales son integradas a través de modelos bio-matemáticos. Esta técnica consiste en establecer la frecuencia (¿cuándo regar?) y tiempo de riego (¿cuánto regar?) de acuerdo a sectores homogéneos de suelo y cultivo. Para programar el riego es esencial estimar tanto la evapotranspiración real y la cantidad de agua que puede almacenar el suelo en la zona de raíces. La programación del riego es entonces un procedimiento que permite establecer el momento oportuno del riego y la cantidad exacta de agua a aplicar en los cultivos, frutales o viñedos. Sin embargo, esta técnica requiere de la calibración local de algunos parámetros incorporados en su algoritmo tales como coeficiente de cultivo, criterio de riego y componentes del balance de energía (Ortega-Farías *et al.*, 2004; Ortega-Farías *et al.*, 2005).

En la temporada 1997-98, el Centro de Investigación y Transferencia en Riego y Agroclimatología (CITRA) estableció un sistema de información para la programación del riego de cultivos, frutales y viñedos en la Región del

Maule, Chile (Ortega-Farías *et al.*, 2005). Este sistema está formado por un módulo central y una red de estaciones meteorológicas automáticas (EMAs). El módulo central está encargado de recibir, procesar y almacenar la información de suelo (capacidad de campo, punto de marchitez permanente, densidad aparente, profundidad de raíces efectivas), de clima (temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, radiación solar y precipitaciones) y cultivar (coeficiente de riego, sistema de riego, sistemas de conducción del follaje, etc.). Las EMAs están encargadas de medir, en diferentes localidades, variables climáticas en intervalos de 15 minutos, las cuales son transmitidas vía telemetría o telefonía celular a la base central que está ubicada en el laboratorio del CITRA. De este modo el sistema determina la evapotranspiración real, capacidad de estanque del suelo, frecuencia y tiempo de riego en base a las condiciones específicas de suelo, clima y cultivo.

En el caso específico del viñedo, los sectores homogéneos de riego son determinados con imágenes satelitales complementado con un conjunto de modernas tecnologías que permiten un manejo sitio-específico del agua de riego. Este conjunto de tecnologías incluye el uso de estaciones meteorológicas automáticas (EMAs), medidores de agua en el suelo y plan-

<sup>1</sup> Ing. Agr. M.S. Ph.D. Director del Centro de Investigación y Transferencia en Riego y Agroclimatología (CITRA), Universidad de Talca, Chile. E-mail: [sortega@utalca.cl](mailto:sortega@utalca.cl)

ta, sistemas de posicionamiento global (GPS), sistemas de información geográfica (SIG), fotografía aérea, imágenes satelitales y diversos programas computacionales para el procesamiento de datos (Bramley and Lamb, 2003; Ortega-Farias *et al.*, 2005).

A continuación se van a describir algunos resultados del servicio de programación del riego en viñas, maíz semillero y tomate invernal, que el CITRA ha realizado en los últimos 10 años.

**Programación del riego en viñas:** Desde la temporada 1997-1998, el equipo de profesionales del CITRA ha realizado un servicio de programación del riego a varias empresas vitivinícolas de las regiones VI y VII. A través de este servicio, en los viñedos regados por goteo se logro ahorros de agua que oscilaron entre un 20 y 60%. Además, es importante mencionar que junto al ahorro de agua en las viñas se incremento la calidad de los mostos y vinos entre un 20 y 30%.

**Programación del riego en semillero de maíz:** El CITRA desarrolló un servicio de programación del riego de semilleros de maíz a unos 60 agricultores de la empresa de semilleros ANASAC durante las temporadas 2000-2001 y 2003-2004. En este caso, la superficie de los semilleros de maíz varió entre 10 y 150 ha, abarcando alrededor 1.600 ha en las regiones VI y VII. Los informes de programación de riego eran entregados dos veces por semana a los asesores de ANASAC, los cuales tenían a su cargo entre 15 y 20 agricultores. En la primera temporada, la empresa encontró que la programación del riego permitió incrementar en un 14% el rendimiento del semillero con sólo ajustar las frecuencias y tiempos de riego a las condiciones edafoclimáticas. También es importante indicar que el incremento en rendimientos varió entre un 2% y 32%; y en un sólo caso, el servicio de programación del riego presentó rendimiento inferiores al agricultor.

**Programación del riego en tomate invernal:** En este caso, los cultivos de tomate de

otoño y primavera tuvieron un ahorro de agua de 3.205 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> y 2.304 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, respectivamente. En ambos casos, el ahorro de agua fue alrededor de un 72% y la eficiencia del uso de agua se incremento en casi un 50%. Por otro lado, el rendimiento comercial de los tomates de otoño y primavera no fue afectado por los ahorros de agua.

De acuerdo a nuestra experiencia podemos establecer las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- La instalación de sistemas de riego presurizado, sin considerar la programación del riego, no garantiza un óptimo uso del agua a nivel predial. Por lo tanto las inversiones en tecnologías de riego deben ir complementadas con inversiones en sistemas computacionales y estaciones meteorológicas automáticas que permitan una adecuada gestión hídrica de los sistemas de riego mecanizados.
- Implementar programas de transferencia, orientada a profesionales del agro y obreros agrícolas, que faciliten la adopción de tecnologías en programación del riego, las cuales están disponibles en el mercado.
- Incentivar programas de investigación científico-tecnológica para desarrollar y/o adaptar tecnología en programación del riego que permita mejorar la gestión hídrica de los sistemas de riego mecanizado y superficial.

**Palabras clave:** programación del riego, evapotranspiración de referencia, estaciones meteorológicas.




## Integrated system for water management

---

### Summary

In general the water availability for irrigation has been reduced in the last years due to frequent drought and strong competition for water resources among agriculture, industry and urban areas. Thus, the Research and Extension Center for Irrigation and Agrometeorology (CITRA) of the Universidad de Talca established an Integral System for water management to advice farmers (VI and VII Region, Chile) in the irrigation scheduling of crop, fruit tree and vineyards. This system gives to farmers basic climatic informa-

tion (temperature, relative humidity, wind speed, solar radiation and precipitation) and processed information (reference evapotranspiration, irrigation timing and frequency) in order to optimize water application on crops, fruit trees and vineyards. Among the principle results obtained during the years 1997 and 2005 for these services, the following can be mentioned: (1) a 72% reduction in water application in greenhouse tomatoes without affecting the commercial yield, (2) an increase of between 14 and 30% in the seed corn yield, (3) water savings of between 30% and 60% in vineyards using drip irrigation, and (4) a 20 to 30% increase in wine quality.

**Keywords:** irrigation scheduling, reference evapotranspiration, automatic weather station. 

## MODELIZACIÓN BIDIMENSIONAL DEL MOVIMIENTO DE NUTRIENTES EN EL SUELO BAJO RIEGO POR GOTEO

Rene Chipana R.<sup>1</sup>

### Resumen

Debido a que la población mundial está en franco proceso de crecimiento, principalmente en los países en vías de desarrollo, es necesario incrementar la producción de alimentos mediante técnicas agrícolas adecuadas, tales como la fertirrigación. No obstante, los productos químicos aplicados a través del agua de riego, sufren cambios espaciales y temporales en el suelo, variando la distribución de estos en el perfil. Algunos solutos reaccionan con la matriz del suelo, otros se mueven a través de él. El conocimiento de los efectos que podrían causar dichas sustancias a largo plazo requiere de una investigación ligada estrechamente a los mecanismos de interacción con el suelo, mediante el uso de modelos matemáticos que definan el comportamiento y permitan predecir su evolución con el tiempo, de tal manera de desarrollar estrategias eficientes de fertirrigación. Asimismo, entre los macronutrientes utilizados en mayor cantidad en el fertiriego están el potasio y nitrógeno. Los lugares de mayor concentración de  $K^+$  coinciden con los puntos de mayor humedad, de esta manera se evidencia su transporte por flujo en masa, entretanto el nitrato ( $NO_3^-$ ) se acumula en la periferia del volumen mojado (fuera de la zona radicular), con la posibilidad de contaminar el agua subterránea.

Por tales motivos y en el entendido de que la comprensión de la dinámica del agua y solutos en el suelo son importantes para diseñar, operar y manejar sistemas de fertirrigación, es que se realizó el presente trabajo, focalizando para ello al potasio y nitrato.

La modelización del transporte de potasio y nitrato en el suelo bajo condiciones de riego por goteo, se basó en la solución numérica de dos ecuaciones diferenciales parciales de segundo orden aplicadas a fuentes tipo punto, en condiciones de flujo transitorio.

$$Fr \frac{\partial \theta C}{\partial t} = -\frac{\partial(qC)}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left[ D\theta \frac{\partial C}{\partial z} \right] - \frac{\partial(qC)}{\partial r} + \frac{\partial}{\partial r} \left[ D\theta \frac{\partial C}{\partial r} \right] \quad (1)$$

donde:

$q$  es la densidad de flujo ( $L T^{-1}$ );  $\theta$  la humedad volumétrica del suelo ( $L^3 L^{-3}$ ),  $C$  es la concentración del soluto en la solución del suelo ( $M L^{-3}$ );  $t$  tiempo (T);  $r, z$  son coordenadas de posición (L);  $D$  es el coeficiente de dispersión hidrodinámico ( $L^2 T^{-1}$ ); y  $Fr$  es el factor de retraso.

Las características físicas del suelo determinadas para emplear el modelo fueron: textura, densidad aparente, densidad de partículas, conductividad hidráulica del suelo saturado,

<sup>1</sup> Dr. Riego y Drenaje. Profesor Universidad Mayor de San Andrés. La Paz-Bolivia. E-mail: [renechipana@yahoo.com](mailto:renechipana@yahoo.com)



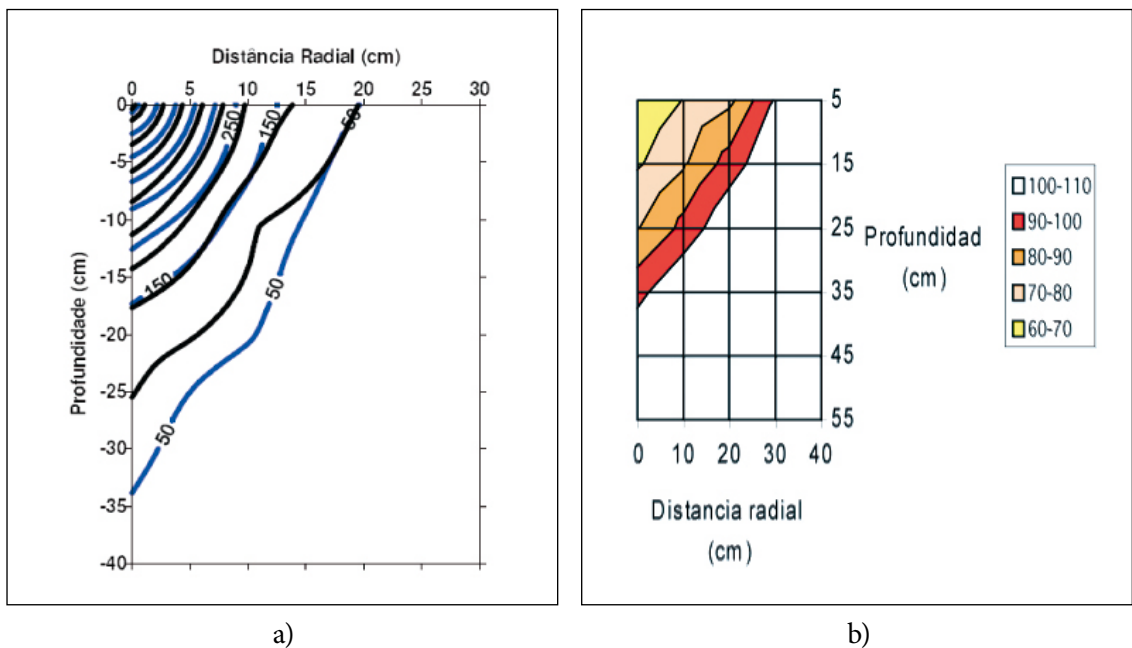
los parámetros de la ecuación de van Genuchten, parámetros de transporte del soluto. En la simulación se asumió un caudal del emisor igual a  $3 \text{ l h}^{-1}$  con un tiempo de riego de dos horas. Los tiempos considerados fueron 24, 48 y 72 horas después del riego.

La distribución del potasio en el bulbo húmedo mostró que este catión fue retenido en los estratos superficiales del suelo (**Figura 1**), siendo que tanto para los valores medidos y observados las mayores concentraciones quedaron contenidas en un radio de 10 cm y profundidad de 0 a 20 cm, donde las concentraciones variaron de 62 a  $817 \text{ mg l}^{-1}$ . El volumen de suelo con un contenido de potasio en cantidades mayores a  $200 \text{ mg l}^{-1}$  (“bulbo de potasio”) fue menor que el bulbo húmedo, es decir, el transporte de este catión no acompañó en su totalidad el transporte del agua, probablemente por la adsorción del potasio en el complejo de intercambio del suelo. Asimismo, los valores de la concentración de potasio simulados por el modelo fueron semejantes a los observados en el ensayo, siguiendo el mismo patrón de distribución. Para tiempos de redistribución de 48 y 72 la

concentración de potasio en el perfil permaneció casi constante.

Con relación al nitrato, para un tiempo de redistribución de 24 horas se pudo advertir que este anión sigue un patrón de distribución uniforme con una tendencia de acumulación hacia el límite del bulbo húmedo (**Figura 1**). La concentración de nitrato sufrió modificaciones a partir de su concentración inicial en el suelo ( $109.81 \text{ mg l}^{-1}$ ) y en el agua de riego ( $50 \text{ mg l}^{-1}$ ), hasta alcanzar valores de  $62.37 \text{ mg l}^{-1}$  en las células que se encontraban entorno al emisor, entretanto que en la periferia del bulbo esta concentración fue de  $92.89 \text{ mg l}^{-1}$ . El mismo fenómeno y sin variar significativamente la concentración se observó para tiempos de 48 y 72 horas. Por tanto el movimiento de nitrato acompañó casi permanentemente el movimiento del agua, concentrándose de esta manera en las células externas del volumen de mojado, lo que demuestra que por ser un anión no es adsorbido por la matriz del suelo, siendo transportado en forma preferencial por el flujo convectivo junto con el agua.


De esta manera se observó que hubo un buen



**Figura 1.** Distribución del potasio (a) y del nitrato (b) en el bulbo húmedo ( $\text{mg L}^{-1}$ ) observado y simulado, para un tiempo de 24 horas después del riego.

ajuste en los valores observados y simulados, siendo que la distribución del potasio quedo limitado a los estratos superficiales, debido a que su movimiento es retrazado por la adsorción de la matriz del suelo y el movimiento de nitrato en el bulbo mojado acompaña el

movimiento del agua, encontrándose en bajas concentraciones entorno al emisor y acumulándose en la periferia del volumen mojado.


**Palabras clave:** Modelo de distribución de potasio y nitrato; bulbo húmedo; percolación profunda. 

## Two-dimensional modeling of the movement of nutrients in the soil under drip irrigation

### Summary

The fertigation is spreading rapidly in the world; nevertheless, it must be used under high efficiencies, due to possible pollutions of the groundwater, principally due to the leaching of nitrate. Hereby this work took as aim the simulation of the transport of potassium and nitrate in trickle irrigation. For it was considered application rate of  $2 \text{ l h}^{-1}$  and application time of two hours of a solution of nitrate of  $50 \text{ mg l}^{-1}$ , deciding later the distribution of this element 24, 48 and 72 hours after the irrigation was finished. It was observed that there

was a good adjustment in the distribution of water and potassium values in the bulb when compared the data simulated by the model and experimentally obtained. The potassium distribution was limited to the most internal bulb layers, showing the ion displacement was delayed due soil matrix interactions. Also was determined that the transport of nitrate in the wetted volume accompanies the water movement, being in low concentrations half-close to the emitter and accumulating in the periphery of the wetted volume. Therefore, to avoid the accumulation and further leaching of nitrate, this element must be applied in low concentrations in function of the needs of the crops.

**Keywords:** Potassium and nitrate distribution model; wetted volume; deep percolation. 

## MANEJO Y DINÁMICA DEL AGUA EN PARCELAS DESTINADAS AL CULTIVO DE LA QUINUA (Nor Lipez - Prov. Enrique Valdivieso - Bolivia)

Roberto Miranda <sup>1</sup>

### Resumen

Bolivia es el mayor productor de quinua con un 46% de la producción mundial, seguido por Perú con un 42% y Estados Unidos con 6.3%. Según la Corporación Andina de Fomento, la producción nacional de quinua en los años 70 fue de aproximadamente 9.000 Tm/año en una superficie de aproximadamente 12.000 ha cultivadas.

La producción de quinua se centra en el Altiplano central y sur de Bolivia, abarcando los departamentos de Oruro y Potosí principalmente. En el Altiplano Norte la producción de quinua es menor escala debido a que en esta zona se cuenta con mayor diversificación de cultivos. Los rendimientos a nivel productor no sobrepasan los 600 a 700 kilos por hectárea, mientras que a nivel de estación experimental, estos superan los 1.000 kg por hectárea. Es posible que estas diferencias en los rendimientos tengan que ver con el manejo del cultivo, incidencia de plagas y/o manejo del agua.

El objetivo principal del presente trabajo fue el de determinar el comportamiento de la humedad del suelo a diferentes profundidades, así como el manejo del agua por parte de los agricultores en la zona sur de Bolivia.

El trabajo se realizó en la comunidad de Meji-

llones localizado en la provincia Enrique Valdivieso del departamento de Potosí, ubicada al sud-oeste de la ciudad de Uyuni. Geográficamente se sitúa entre 21°42'8.8" latitud sud y 67°14'20.7" longitud oeste, caracterizada por ser una región productora de quinua.

El clima de la región corresponde a matorral desértico – Montano templado (Md-MTE), con una temperatura media anual de 8.5 °C, sin embargo las fluctuaciones de temperatura son extremas llegando a – 16 °C la mínima, lo que limita el desarrollo del cultivo. La precipitación promedio anual llega a 160 mm y la evapotranspiración supera este valor, lo que implica un déficit hídrico en la zona.

Para determinar la humedad del suelo a diferentes profundidades se eligieron parcelas de quinua ubicadas en la parte alta y baja de la cuenca de Mejillones, en ambos sitios se eligieron parcelas con cultivo de quinua y otras parcelas sin quinua, (barbecho), a las que se las denominó parcelas en descanso. La humedad fue determinada por gravimetría y expresada en volumen utilizando la densidad aparente. Las muestras fueron extraídas a profundidades de 10, 30, 50 y 90 cm.

Los suelos en general son de textura gruesa, con contenidos de arcilla que se encuentran por debajo del 20% que parece ser esencial.

<sup>1</sup> Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz Bolivia, Fono: 592-2-2452924, E-mail: [robertomicasa@gmail.com](mailto:robertomicasa@gmail.com)

Respecto al manejo del agua, los agricultores de la región han desarrollado algunas formas de manejo del agua, para asegurar el desarrollo de la quinua. Entre estas actividades se tiene por ejemplo el hecho de realizar un roturado de una pradera nativa (*Parestrephya lepidophylla*, *Festuca ortophylla*), la cual dejan en descanso por un año, con la finalidad de que el suelo retenga humedad.

Por otro lado, la incorporación de materia orgánica la realizan en el mes de enero, con el fin de conseguir la mineralización hasta los meses de septiembre - octubre, fecha en la que se realiza la siembra de la quinua. Este factor es importante, ya que de alguna manera, la materia orgánica ayuda a la retención de la humedad del suelo


La humedad en la superficie es menor con respecto a la humedad a profundidad, en los meses de diciembre y enero. A partir de febrero la humedad es similar casi en todos los horizontes, con un valor de 7 a 9%. Sin embargo, solo en enero se observa una acumulación de

agua, debido a la precipitación de 60 mm para este mes, el resto de los meses se presenta un déficit hídrico.

El manejo del agua es esencial para el desarrollo de la quinua y se ha podido ver que los productores difícilmente realizarán un riego durante las fases fenológicas del cultivo, sin embargo, ellos aseguran la humedad en el suelo con un roturado y la incorporación de estiércol con bastante anticipación a la siembra.

Los contenidos de humedad en los primeros 40 cm fluctúan entre 2 a 4%, alcanzando a valores de 6 a 10% a una profundidad de 80 a 90 cm.

Bajo el manejo que realiza el agricultor, se podría pensar en realizar el riego antes de la siembra, para asegurar el desarrollo del cultivo, ya que el riego completo durante las fases fenológicas no es muy significativo.


**Palabras clave:** Riego deficitario, Manejo del agua, Manejo del cultivo de la quinua. 

## Water management for irrigation of quinua

### Summary

Bolivia is the main producer of quinua, with 46% of the world production, followed by Perú, with 42%, and USA with 6,3%. The producing areas are located south of Oruro and in the Department of Potosí, where yearly precipitation averages 200 mm, thus where a water deficit occurs. Thus, for cultivating quinua it is required to irrigate and using other sources of water. Growers prepare *tolares* (fields with *Parestrephya lepidophylla*)

for cropping quinua and then they kept the fields non-cropped for one year to improve water storage in the soil. To assess the dynamics of water in this cropping system the soil water content was observed at depths of 10, 30, 60 and 90 cm in 12 fields prepared for quinua. As expected, the water content has a greater variation near to the soil surface and soil moisture and storage increases with depth. In addition, there was a lateral movement of subsurface water favoured by the sloping conditions of the basin.

**Keywords:** Déficit irrigation, crop water management , quinua, cultivation practices. 

## O GERENCIAMENTO DE MICROBACIAS COM VOCAÇÃO AGRÍCOLA EM SANTA CATARINA: ESTUDOS AGROHIDROCLIMATOLÓGICOS INTEGRADOS

Flávio R.B. Victoria<sup>1</sup>, Hamilton J. Vieira<sup>2</sup>, Luis S. Pereira<sup>3</sup>, Sérgio Zampieri<sup>4</sup>

### Resumo

O gerenciamento de microbacias agrícolas envolve elementos de elevada complexidade, que necessitam de uma adequada representação e síntese, visando o entendimento das relações e a busca de soluções para os problemas associados ao desenvolvimento das atividades econômicas locais.

Nesse trabalho são mostradas as iniciativas de aplicação de conceitos e princípios de abordagem multi-escala, aliado à maior densidade de determinações de pluviometria (decorrente do desenvolvimento de equipamentos de baixo custo), em 7 micro-bacias piloto do projeto Microbacias 2, conduzido em Santa Catarina - Brasil, visando estudos de gestão integrada e sustentável de água e recursos hídricos.

A metodologia baseia-se na abordagem multi-escala: por um lado a análise do uso da água ao nível dos produtores agrícolas e por outro a alocação de água aos produtores por parte dos gerentes e decisores nas bacias. A análise multi-escala permite considerar os impactos das opções de gestão sobre o rendimento dos

produtores e a procura das soluções que servem ambas as escalas.

No contexto dos conhecimentos hídricos locais, salienta-se a importância das características das ocorrências de precipitação e das variáveis meteorológicas, que, em conjunto, serão determinantes na definição das disponibilidades de água nas sub-bacias componentes e na microbacia como um todo, bem como da necessidade de infra-estruturas adequadas às exigências das atividades presentes nas mesmas. A perspectiva de monitorar precipitação de forma mais precisa nas sub-bacias, permite detalhar parâmetros fundamentais ao conhecimento da dinâmica dos processos hidrológicos e do antropismo na microbacia, de modo a melhor representar as ocorrências espaciais das chuvas em condições diversas de altitude, exploração, fisiografia, entre outras, permitindo ajustes e calibração de modelos chuva-vazão em diversas escalas.

A aplicação da visão sistêmica ao complexo fisiografia-natureza-atividades humanas, proporciona a construção de conhecimentos que refletem a realidade local, com o aprendizado sobre a relação entre os sub-processos compo-

1 Eng. Agrícola, Dr. Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos. Pesquisador EPAGRI/Ciram. C.P. 502, Itacorubi, CEP 88034-901, Florianópolis. Santa Catarina, Brasil, fvictoria@epagri.sc.gov.br

2 Eng. Agrônomo, Dr. Agrometeorologia. Pesquisador EPAGRI/Ciram. Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

3 Eng. Agrônomo, Dr. Hidrologia. Professor Instituto Superior de Agronomia-ISA. Coordenador do Centro de Estudos de Engenharia Rural, ISA/UTL. Lisboa, Portugal.

4 Eng. Agrônomo, Dr. Gestão Ambiental. Pesquisador EPAGRI/Ciram. Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

mentos, a qualificação dos processos participativos e das decisões que envolvem alternativas de desenvolvimento regional.

Foram constituídas 7 micro-bacias piloto em regiões de diferentes condições sócio-econômicas e edafoclimáticas do estado de Santa Catarina-Brasil: microbacia Tarumanzinho (município de Águas Frias - região Oeste Catarinense), microbacia Doze Passos (município de Ouro - região do Meio Oeste Catarinense), microbacia Mato Escuro (município de Palmeira - região do Planalto Sul Catarinense), microbacia Rio Tigre (município de Canoinhas - região do Planalto Norte Catarinense), microbacia Concórdia (município de Lontras - região do Alto Vale do Itajaí), microbacia Alto Cubatão (município de Águas Mornas - região Litoral Centro Catarinense), e microbacia Maracanã (município de Sombrio - região do Litoral Sul Catarinense).

As microbacias foram instrumentalizadas com estações de monitoramento permanente de fluviometria, de precipitação, e de locais de monitoramento da qualidade da água e de análise de sedimentos, capazes de permitir a determinação da disponibilidade hídrica da bacia, em termos quali-quantitativos, e suas relações com as atividades humanas desenvolvidas nas superfícies.

Foi viabilizada a adoção de tecnologia catarinense de medição e registro permanente de precipitações (Pluviologger), com a instalação de 48 unidades nas 7 microbacias piloto, como complemento fundamental ao conhecimento local e aplicação dos modelos.

Foi estabelecida a metodologia para localização e instalação da rede de equipamentos “pluviologger” nas micro-bacias, com densidade de 5 a 7 km<sup>2</sup>/unidade, visando estudos de distribuição de precipitações e ciclo hidrológico nas microbacias, com uma estação telemétrica de transmissão horária (precipitação e nível do rio), na foz de cada microbacia.

Foi constituída a logística operacional de coleta, recepção e armazenamento de dados de

precipitação nos “pluviologgers”, nas estações telemétricas, e dos dados de qualidade de água e sedimentos, com disponibilização de dados on line.

São caracterizadas as condições de agricultura de sequeiro e as necessidades de águas das culturas, com a cenarização de restrições hídricas, quebras de produção, investimentos realizados, riscos associados, lucratividade, efeitos de práticas de cultivo, necessidades de tecnologia, tarifação de água, entre outros sub-processos importantes para a agricultura local.

Nos estudos, busca-se entender as relações entre o ciclo hidrológico e a interferência do homem ao implantar sistemas de cultivos. São caracterizadas as atividades desenvolvidas pelos agricultores, as ações de interferência do projeto, e tipificados os consumidores de água nas diferentes sub-bacias componentes.

Serão analisadas as condições de manejo da água que possam proporcionar orientações para a melhoria de produtividade da água das chuvas, associando-se aos demais usos de água da bacia para aperfeiçoar o uso dos recursos hídricos, e a alocação da água disponível segundo critérios estratégicos de desenvolvimento.

As análises integradas do projeto permitirão analisar se as práticas e ações implementadas (tanto pelos agricultores, como filosóficas do próprio projeto) estão melhorando ou não o uso da água e dos recursos disponíveis, salientando problemas e potencialidades locais, e permitindo verificar critérios efetivos de sustentabilidade.

**Palavras chave:** usos da água; produção e rendimento, demanda de água para irrigação, alocação da água, análise multi-escala, bacias experimentais e piloto.




## Management of small agricultural basins in Santa Catarina: agro-hydro-climatic studies

---

### Summary

This study focus 7 pilot micro-basins in Santa Catarina State – Brazil to analyze issues for integrated and sustainable management of water resources. The methodology bases upon a multi-scale approach: at one level the farm water use system, and at the other level the water allocation at the basin. The multi-

scale approach allows to assess the impacts on yield and economic return due to water management decisions and thus to make compatibles the interests of water managers and farmers. This paper focuses agro-hydro-climatic studies to support that assessment and describes the weather and hydrologic equipment used for monitoring as well as the related monitoring approaches. In addition, the paper refers how the multi-scale approach will be used.

**Keywords:** water uses; yield and return, irrigation demand, water allocation, experimental and pilot basins. 





# 4

## GESTÃO E MODERNIZAÇÃO DAS REDES DE DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO



## GESTÃO E MODERNIZAÇÃO DAS REDES DE DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO

Luís S. Pereira<sup>1</sup>

As redes de distribuição de água aos regantes têm sido objecto de vasta investigação no que se refere à sua concepção, aos seus desempenhos e respectivos indicadores, à avaliação do seu funcionamento e, claro, à sua gestão. A diversidade de aproximações é a regra e, pode afirmar-se, é quase impossível a transferência integral de métodos e modelos devido a tal diversidade: a adaptação às condições locais, tanto físicas e hidráulicas como sociais e culturais é absolutamente necessária.

De facto, usualmente distinguem-se: as redes de gravidade das redes em pressão; os sistemas de grandes dimensões, com vários milhares de hectares, dos pequenos, de algumas centenas apenas; os modos de distribuição da água, variando entre a rotação fixa e a distribuição a pedido; os sistemas de gestão, que vão desde a centralizada e estatal até à gestão pelos usuários; finalmente, os sistemas em que o serviço é pago apenas em função da área servida até àqueles em que o uso da água é registado e contabilizado em tempo real. Perante esta diversidade, o intercâmbio de informação visa essencialmente mostrar resultados de casos de sucesso, ou de casos de falha, que se aprende também com o insucesso, tal como mostrar exemplos de modelos e da sua aplicação de forma a criar novas ideias que se desenvolvam em outros lugares e condições. Embora poucos, os casos apresentados neste workshop são

ricos e portadores de ideias inovadoras que podem servir a outros.

José M. Tarjuelo e colaboradores apresentaram um estudo sobre ferramentas informáticas para a gestão: *Herramientas para la gestión integral del regadío (SIG-REG). Aplicación a Castilla-La Mancha*. Trata-se de um estudo visando a adopção de modelos de apoio à decisão visando o uso eficiente da água e da energia no regadio. Baseia-se nas capacidades dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para o tratamento de dados variáveis no espaço e no tempo relativos ao funcionamento dos sistemas de irrigação geridos por Comunidades de Regantes.

Um exemplo apresentado com detalhe é o do sistema SIGA para a gestão de regadios com redes em pressão e abastecidos a partir de águas subterrâneas, o qual permite um registo em tempo real de usuários e de usos da água, inclusive de consumidores não agrícolas, bem como dos respectivos direitos de água condicionados pelas disponibilidades do aquífero. Esta informação permite o funcionamento de modelos de apoio à decisão, os quais utilizam por sua vez modelos específicos de simulação visando encontrar as melhores soluções para o uso da água disponível nas zonas irrigadas. A capacidade de visualização gráfica dos resultados própria dos sistemas SIG facilita a

<sup>1</sup> Centro de Estudos de Engenharia Rural, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Tapada da Ajuda, 1349 Lisboa, Portugal ([lspereira@isa.utl.pt](mailto:lspereira@isa.utl.pt)).

compreensão das decisões por parte dos utilizadores.

Daniel Prieto e Gabriel Angella apresentam um estudo sobre desempenhos dos sistemas de irrigação: *La evaluación de desempeño en la modernización de la gestión de los sistemas de riego*. Estes autores mostram a necessidade de reconhecer os desempenhos dos sistemas no sentido de identificar os pontos fortes e fracos dos mesmos e, assim, os melhores objectivos em termos de modernização. O estudo refere-se a um estudo realizado no Sistema de Irrigação do Río Dulce, em Santiago del Estero, Argentina, neste caso um sistema de irrigação de superfície. Para o efeito, os autores desenvolveram indicadores caracterizando a capacidade dos canais para a distribuição dos volumes requeridos em devido tempo, indicadores esses que permitem julgar da iniquidade da distribuição ao comparar vários canais secundários. Tal deverá permitir ajustamentos na operação dos canais e, conseqüentemente, modernizar a gestão da rede. O estudo corroborou trabalhos de outros autores mostrando a utilidade da avaliação de desempenhos para diagnosticar problemas de funcionamento de grandes sistemas de irrigação e para encontrar novas soluções operativas.

O estudo apresentado por Ricardo Apacla visa a aplicação de SIGs para a gestão de sistemas de irrigação de gravidade: *Registro y asesoramiento de usuarios de riego en la costa peruana mediante Sistema de Informacion Geográfica*. O problema determinante desta aplicação é o registo dos direitos da água relativos a cada usuário e, conseqüentemente, a outorga de licenças de uso. Para o efeito foi criado o Registro Administrativo de Derechos de Uso de Agua (SISCON - RADA). O sistema descrito visa resolver os problemas devidos nomeadamente a falta de uma base de dados nacional, uniforme, referente a esses direitos, falta de interconecção entre instituições, inadequação do processamento da informação, carência de referencial legal.

O trabalho apresentado por Reimar Carlesso e colaboradores trata regadios privados: *Caracterización de sistemas de cultivo em áreas irrigadas por aspersão no sul do Brasil*. Na perspectiva da sustentabilidade da irrigação, este trabalho teve como objectivo caracterizar os sistemas de cultivo utilizados em solos irrigados por aspersão entre os anos agrícolas de 1998/99 e 2002/03, no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, quanto ao manejo da área irrigada e número de equipamentos, manejos conservacionistas, cultivos predominantes e tratamentos fitossanitários. O trabalho foi desenvolvido a partir de informações coletadas em áreas irrigadas por pivô central, em cinco regiões agroecológicas do Rio Grande do Sul. Foi amostrada uma área irrigada total de 5.044 ha, e observou-se nas áreas irrigadas uma frequência média de 92% na utilização do sistema de plantio directo. A partir do ano de 2000/01, aumentou de 410% a adopção de um sistema de apoio ao manejo da irrigação (quando e quanto irrigar). Os autores referem os cultivos principais, os factores que condicionaram a sua evolução, a adopção de práticas de protecção das culturas e de cultivo, os rendimentos e sua evolução, as práticas conservacionistas. Conclusão importante é a de que nas áreas irrigadas do Rio Grande do Sul o sistema de manejo do solo plantio directo é predominante com um tempo implantação superior a cinco anos. Em aproximadamente metade das áreas irrigadas do Rio Grande do Sul é utilizada alguma técnica conservacionista do solo.

Mario Salomón e colaboradores analisaram problemas e possíveis soluções na distribuição de água num grande sistema de irrigação: *Estimacion del balance hídrico mediante aplicación del modelo ISAREG en el Canal Segundo Vistalba, Lujan de Cuyo, Mendoza (Argentina)*. O objectivo deste trabalho consiste em avaliar o desempenho do sistema de distribuição na área irrigada do Canal 2º Vistalba mediante uma aplicação metodológica de cálculo das necessidades de irrigação de algumas culturas principais utilizando o modelo ISAREG, o que permitiu comparar estas

demandas com a oferta hídrica existente. A aplicação refere-se a 957 usuarios servidos por 17882 m de rede de canais secundários e terciários. As culturas consideradas são alho, tomate, batata e cebola. Para estimar a demanda processaram-se dados climáticos correspondentes à série 1997-2006. A oferta hídrica primaria foi calculada com base em dados observados nos canais de distribuição aos regantes. Constatou-se que a oferta hídrica não acompanha a demanda, com excessos e défices hídricos. Resulta necessário melhorar o manejo da água e mitigar as perdas detectadas nos canais. Em particular, deverá alterar-se a operação dos canais de forma a realizar a distribuição de acordo com as necessidades dos cultivos; para o efeito o uso de um modelo como o ISAREG revela-se necessário a planificação e gestão da operação dos canais.

## HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL REGADÍO (SIG-REG). APLICACIÓN A CASTILLA-LA MANCHA

José M. Tarjuelo <sup>1</sup>, Carlos Neumeister, Angel Martinez, Juan I. Corcoles, Miguel A. Moreno

### Resumen

La gestión adecuada de los recursos hídricos establece la necesidad del desarrollo de modelos de toma de decisiones que ayuden al uso eficiente del agua y la energía en el regadío, al ser este el mayor consumidor de agua. Las posibilidades de gestión de datos, de cálculo y las salidas gráficas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) hacen de estas herramientas una forma eficiente de gestión de los recursos hídricos y energéticos. Así, el objetivo de este trabajo es desarrollar un Sistema Integral de Gestión del REGadío (SIG-REG) que permita a la administración responsable y a las comunidades de regantes disponer de una herramienta para llevar a cabo la gestión eficiente de unos recursos hídricos cada vez más escasos.

Uno de los modelos de gestión del agua más completos es el que contempla de forma integrada a los usuarios y las administraciones, con ayuda de las Universidades y Centros de Investigación para el desarrollo y la implantación de las herramientas necesarias, como la teledetección y los Sistemas de Información Geográfica. Un ejemplo de este tipo de modelos, adaptado para la gestión de aguas subterráneas es el que se recoge en la **Figura 1**. La parte más importante de este modelo de gestión es el hecho de llevar implícito un

amplio consenso entre las administraciones públicas responsables y los usuarios (regantes y usuarios urbanos e industriales), de manera que estos últimos se convierten en una pieza clave de la gestión al ser los que realizan de forma directa la mayor parte de las labores de control y vigilancia del uso de agua, manteniendo actualizada permanente la base de datos que identifica a cada uno de los usuarios y los consumos realizados. La participación conjunta de todos los actores implicados en el proceso de gestión hace que esta sea transparente y unánimemente aceptada, una vez consensuadas las bases de partida como son la identificación de los usuarios y sus derechos de uso de agua en función de la disponibilidad de recursos renovables de la parte del sistema hidrológico implicado (dunaza hidrográfica o acuífero).

El sistema planteado contempla dos partes bien diferenciadas, pero interconectadas (**Figura 2**), que son la parte de inventario de regadíos, en el que toda la información relativa a cada parcela es almacenada, y la parte de ayuda a la toma de decisiones que permite, a través de módulos de cálculo y conexiones con otros programas, analizar y gestionar las zonas regables.

Cada vez más, resulta necesario poder disponer de herramientas que, partiendo de un in-

<sup>1</sup> Centro Regional de Estudios del Agua (CREA). Universidad de Castilla-La Mancha. Campus universitario s/n. 02071, Albacete. [Jose.tarjuelo@uclm.es](mailto:Jose.tarjuelo@uclm.es).



# Sistema Integral de Gestión de Acuíferos (SIGA)

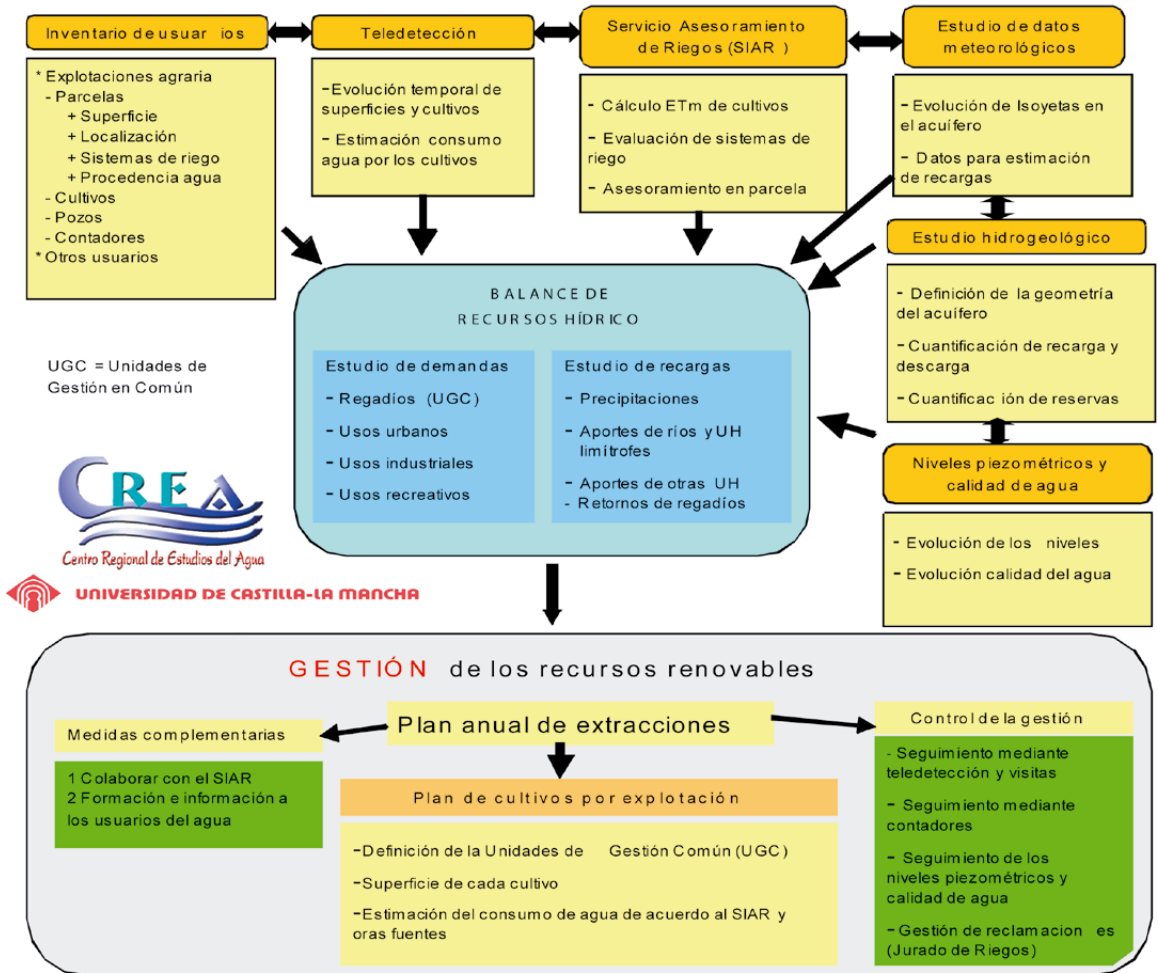


Figura 1. Esquema del sistema integral de gestión de acuíferos.

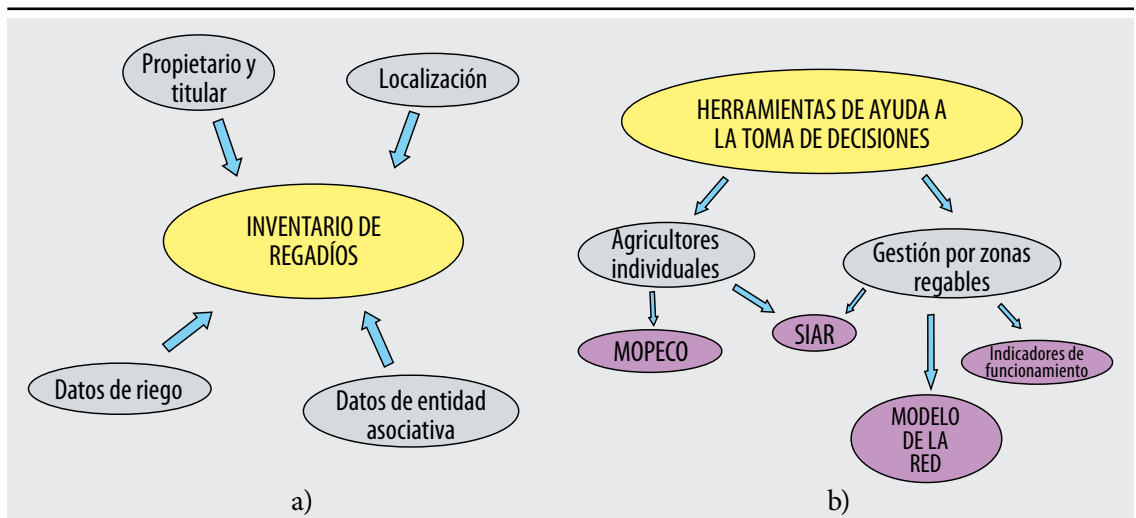


Figura 2. Esquema de: a) datos del inventario de regadíos y b) módulos de cálculo para ayuda a la gestión.

ventario georeferenciado de caracterización de los regadíos, permitan ayudar a la toma de decisiones sobre el manejo y la gestión de la demanda de agua y de las infraestructuras de riego.

Es fundamental plantear sistemas de gestión que contemplen, de forma integrada, a los usuarios y las administraciones, lo que lleva implícito una gestión transparente y unáni-

mente aceptada, de manera que los usuarios se convierten en una pieza clave de la gestión al ser los que realizan de forma directa la mayor parte de las labores de control y vigilancia del uso de agua, manteniendo actualizada permanente la base de datos que identifica a cada uno de los usuarios y los consumos realizados.

**Palabras clave:** Gestión, agua, riego.



## **Tools for irrigation management (SIG-REG). Application to Castilla-La Mancha (Spain).**

### **Summary**

The proper management of water resources requires the use of Decision Support Systems (DSS) tools that help to improve the efficient use of water and energy, mainly for irrigation, because it is the most important water consumer. The main goal of this work is to develop an Integral System of Management of Irrigable Areas (SIG-REG) that allows the in-

charge Government and the irrigation societies to effectively manage the water and energy resources. SIG-REG is composed of two modules: irrigable areas inventory module, which allow the evaluation characteristics of the irrigable areas and their evolution; and irrigable areas management module, which allow managing the water and energy resources in irrigable areas. Results show the importance for the Regional Government, for the irrigable societies, and for the farmers of having this tool available.

**Keywords:** Management, Water, Irrigation.



## LA EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO EN LA MODERNIZACIÓN DE LA GESTIÓN DE LOS SISTEMAS DE RIEGO

Daniel Prieto<sup>1</sup>, Gabriel Angella<sup>1</sup>

### Resumen

La mejora del desempeño de los sistemas de riego es el objetivo principal de la comunidad de riego en los últimos 30 años. Las intervenciones “modernizadoras” fueron inicialmente ingenieriles, luego priorizaron los aspectos organizativos, más tarde la participación de los usuarios y más recientemente la incorporación simultánea de todos los aspectos, incluido la revalorización de la importancia operación y su redefinición.

La Evaluación de Desempeño (ED) de los sistemas de riego toma fuerza en la década del 90, evolucionando desde propuestas de indicadores construidos sin un marco estructural y con visiones y objetivos diferentes, a propuestas con un marco teórico claro, integradoras de diferentes objetivos. Entre los varios usos de la ED están: la obtención de la línea de base preproyecto, la justificación de intervenciones; investigar relaciones causa-efecto, comparar sistemas y subsistemas, resaltar aspectos estratégicos u operativos que requieren correcciones; como etapa inicial en la propuesta metodológica para modernizar la gestión y como una actividad necesariamente rutinaria de la gestión moderna.

El presente trabajo, parte de un estudio integral del desempeño del Sistema de Riego del

Río Dulce (PRD) en Santiago del Estero, Argentina tuvo como objetivo general mostrar los beneficios de integrar la ED como una etapa rutinaria de la gestión de los sistemas de riego colectivos y como objetivos específicos caracterizar el entorno operativo y evaluar el uso de indicadores externos a nivel anual y mensual para identificar diferencias e inequidades en la distribución del agua a nivel secundario.

La precipitación media anual en el área es de 550 mm/año y la Evapotranspiración de Referencia ( $ET_0$ ) de 1400 mm/año.

La caracterización del entorno operativo se realizó utilizando dos indicadores internos, la Capacidad de Derivación Relativa (CDR) y la Derivación Operativa Relativa (DOR).

La CDR, relación entre la capacidad máxima de los canales en cabecera ( $CD_{Máxima}$ ) y los requerimientos brutos máximos de riego ( $RI_{Máximo}$ ) del área servida expresa la capacidad del canal de cubrir los requerimientos de riego en el período, de mayor demanda.

La DOR, expresa la relación entre el caudal real derivado ( $D_{Real}$ ) y la capacidad de Derivación máxima del canal ( $CD_{Máxima}$ ) y muestra el grado de utilización o subutilización de la capacidad de conducción instalada.

<sup>1</sup> INTA-Estación Experimental Agropecuaria Santiago del Estero Jujuy 850 – 4200 Santiago del Estero, Argentina, Tel.: +54(0)385 4224430; Fax: +54(0)385 4224596; [dprieto@intasgo.gov.ar](mailto:dprieto@intasgo.gov.ar)

Para la determinación del desempeño de los canales secundarios se utilizaron 3 indicadores externos: Lámina de Riego Derivada (LRD) (mm/año); Suministro Relativo de Agua (SRA) y Suministro Relativo de Riego (SRR).

La LRD se calculó a partir de los registros diarios de caudales derivados en cabecera de canal de la Unidad Ejecutora de Riego y la superficie total de riego efectiva. Este indicador nos da una indicación rápida de eficiencias de uso.

El SRA es un indicador de la oferta total de agua superficial para los cultivos en un período determinado, sumando los aportes de riego y lluvia y comparándolos con las necesidades de agua de los cultivos en igual período.

El SRR es un indicador del desempeño del sistema específicamente en relación al suministro de agua de riego.

El cálculo de las Necesidades de Agua de los Cultivos (NAC) y requerimientos de riego (RI) se realizó con el software CROPWAT 7.2. Se utilizó la información agrometeorológica del Campo Experimental La María del INTA-Sgo. del Estero para la determinación de la evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ) por el método de Penman-Monthieith y la precipitación se obtuvo del puesto de observación más próximo al área bajo estudio. La Precipitación efectiva ( $P_e$ ) se calculó con el método del Soil Conservation Service del USDA y se utilizó en todos los casos las áreas y tipo de cultivos (patrón de cultivos) registrados por la Unidad Ejecutora de Riego del Río Dulce.


En relación a la caracterización, los resultados mostraron que coexisten en el PRD canales, estructuras de división del agua, de diferentes características y que la mayoría de los canales con excepción del San Martín presentan una alta CDR. Aspecto corroborado por bajísimos valores de la DOR ante la reducción de la superficie bajo riego y las muy diferentes estrategias de riego de los productores respecto a las asumidas durante el diseño.

La ED a nivel del PRD permitió caracterizar a este como un sistema de riego con una alta disponibilidad u oferta de agua con valores medios anuales del SAR de 1,9 y excesivo uso anual de agua de riego con valores medios anuales del SRR de 2,3 equivalentes a una eficiencia global para el proyecto del 38%.

La utilidad de la ED para diagnosticar situaciones internas de grandes sistemas de riego y servir al rediseño de aspectos operativos concretos se puso evidencia. El uso de los indicadores externos a los 8 canales secundarios mostró importantes inequidades en su desempeño con valores medios del SRA entre 1,2 y 2,8. Se identificó también la necesidad de futuros estudios y/o cambios operativos particulares en el Canal La Cuarteada, que con una infraestructura mayoritariamente modernizada y ubicado cerca de la cabecera del canal matriz muestra bajos valores de desempeño.

El análisis en paso mensual utilizando tanto el SRA como el SRR enriqueció el diagnóstico, mostrando otros rasgos relevantes del uso del agua en el PRD, una altísima desuniformidad en el uso del agua a lo largo del año. El patrón observado, que se repite en todos los canales, tiene picos de consumo de julio a octubre y marzo-abril, el primero con valores de SRR de hasta 20 (eficiencias menores a 10%) y valores cercanos y aún inferiores a 1 de ambos indicadores en los meses lluviosos denotando subirrigación en estos meses en buena parte de los cultivos.

En base al conjunto de resultados es posible sostener la utilidad de incluir la ED como parte del proceso de operación.

**Palabras clave:** desempeño de sistemas de riego, eficiencia de riego. 

## Performance assessment in modern management of irrigation systems

---

### Summary


Improvement of irrigation systems performance has been the main objective of the irrigation community in the last 30 years. During the 90's Irrigation Performance Assessment (IPA) was developed with changing intervention paradigms and has been used for different propose.

The main objective of the study in the Rio Dulce Irrigation Project in Santiago del Estero, Argentina, was to show the usefulness of including IPA as a routine task in modern irrigation system management. Specific objectives were to characterize the operational environment and to assess the usefulness of external performance indicators at annual

and monthly time steps for identifying differences and inequities in irrigation water distributions.

The Relative Delivery Capacity and Relative Operative Delivery were used for characterization of the operational environment and the Delivery Irrigation Depth and the external indicators Relative Water Supply and Relative Irrigation Supply for comparison of secondary sub-systems.

Results were conclusive about the utility of the IPA for highlighting differences between sub-systems and the need of including IPA as part of systems operation. Outputs also revealed large inequities among the eight main secondary canals and highlighted that external indicators at monthly time step highly complement annual results.

**Keywords:** Irrigation Performance, irrigation efficiency. 

## REGISTRO Y ASESORAMIENTO DE USUARIOS DE RIEGO EN LA COSTA PERUANA MEDIANTE SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Ricardo Apaclla N.<sup>1</sup>

### Resumen

En los últimos 15 años los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han tomado un papel predominante en los procesos de análisis de la información.

La formalización del uso agrícola de las aguas en el Perú, que se ha iniciado en los valles de la costa, permitirá, mediante el diseño de un SIG, ordenar el uso de agua en la agricultura mediante el Registro Administrativo de Derechos de Agua (RADA) con el fin de otorgar seguridad jurídica a los usuarios de riego.

El presente trabajo es una presentación del avance que viene llevando a cabo la Intendencia de Recursos Hídricos del Perú, para contar con el RADA.

El objetivo principal del RADA, es proporcionar una adecuada administración (inscripción), actualización, mantenimiento y despliegue local y nacional de los derechos de agua en formato papel y digital: (licencias, permisos y autorizaciones) otorgados, para brindar seguridad jurídica a los usuarios de agua en el Perú.

La Intendencia de Recursos Hídricos (IRH) ha planteado la implementación de un sistema para el registro administrativo de dere-

cho de uso de agua, que sirva de soporte para el almacenamiento, procesamiento y la seguridad de la información de las Licencias de uso de agua que deberán ser inscritas en un registro. Se ha considerado que este sistema deberá ser dotado de la estabilidad e interoperatividad que en el transcurso del tiempo se requiera, a fin de contribuir a afianzar la seguridad jurídica de los derechos mencionados. En este sentido, se iniciaron las acciones a fin de adquirir equipos informáticos, software especializado y contratación de personal especializado.

El registro de derechos de agua a nivel nacional, se ha programado que será realizado en tres fases como se detalla en la **Tabla 1**.

Con la finalidad de poder realizar consultas al registro administrativo de derechos de uso de agua, se implementará un sistema de consulta para el registro administrativo de derechos de uso de agua (SISCON - RADA) de la IRH del INRENA en 30 administraciones técnicas de distritos de riego de la costa, en varias etapas.

En la actualidad, a pesar de haber seguido una metodología uniforme para el otorgamiento de derechos de agua (licencias), existen problemas comunes en las administraciones técnicas respecto a los procedimientos adminis-


<sup>1</sup> Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima Perú; [rapaclla@lamolina.edu.pe](mailto:rapaclla@lamolina.edu.pe); [rapaclla@speedy.com.pe](mailto:rapaclla@speedy.com.pe)

**Tabla 1.** Registro y sistema de consulta en registros administrativos de derechos de agua a nivel nacional

FASE	ATDR involucradas	Vertiente / Ámbito
RADA I (2007)	30	Del Pacífico / Costa y Sierra
RADA II (2008)	02	Del Pacífico/Costa y Sierra
RADA III (2009)	24	Atlántico y Titicaca/ Sierra y Selva
TOTAL	56	

trativos para la actualización y mantenimiento de los derechos de agua otorgados (licencias, permisos y autorizaciones), falta de una base de datos nacional uniforme con información referente a dichos derechos e información vinculante (estudios hidrológicos, información hidrométrica), falta de interconexión entre las ATDR y la IRH, sistema inadecuado de procesamiento de la información, carencia de

información referencial legal (actuados debidamente ordenados y clasificados en medio digital), manipulación, deterioro y extravío de materiales, inseguridad de la información proporcionada y falta de capacitación del personal.

**Palabras clave:** SIG, RADA, usuario, ATDR, licencia, derecho, agua. 

## Registration and irrigation water users' advising in the Peruvian Coast with Geographical Information Systems tools.

### Summary

The formalization of the agricultural use of water in Peru has begun in the valleys of the Coast, It will allow, by means of a GIS database system, to order the use of water in agriculture in agreement with the Water Rights Administrative Registration with the purpose of granting legal security to the irrigation wa-

ter users. The present work presents the advances resulting from carrying out the Intendency of Water Resources of Peru and relative to the Water Rights Administrative Registration. The main objective of the Water Rights Administrative Registration is to provide an appropriate administration (inscription), upgrade, maintenance and local and national unfolding of the rights of water in paper and digital format (license, permission and authorization) granted, to offer legal security to the users of water in Peru.

**Keywords:** GIS, user, ATDR, licenses, right, water. 



## CARACTERIZAÇÃO DE SISTEMAS DE CULTIVO EM ÁREAS IRRIGADAS POR ASPERSÃO NO SUL DO BRASIL

Reimar Carlesso<sup>1</sup>, Giane Lavarda Melo<sup>2</sup>, Cleudson José Michelin<sup>3</sup>, Renato Beppler Spohr<sup>4</sup> e Genésio Mario da Rosa<sup>5</sup>

### Resumo

Um sistema de produção sustentável é fundamentado por aspectos de conservação e preservação ambiental, mas também em aspectos econômicos e comerciais, sendo que o domínio deste processo pelo produtor é o que determina o sucesso da atividade. As lavouras irrigadas caracterizam-se pela intensificação dos cultivos e, por consequência, uma intensa utilização do solo. Devido a isso, atenção especial deve ser dada ao manejo do solo, às culturas utilizadas e à água da irrigação, para evitar que ocorram alterações nas características do solo, causando a degradação das propriedades físicas, químicas e biológicas, afetando a produtividade das culturas.

Este trabalho teve como objetivo caracterizar os sistemas de cultivo utilizados em solos irrigados por aspersão entre os anos agrícolas de 1998/99 e 2002/03, no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, quanto ao manejo da área irrigada e número de equipamentos, manejos conservacionistas, cultivos predominantes e tratamentos fitossanitários.

O trabalho foi desenvolvido a partir de informações coletadas em áreas irrigadas por

pivô central, em cinco regiões agroecológicas do Rio Grande do Sul: Planalto Médio, Alto Vale do Uruguai, Missionária, Campanha e São Borja – Itaqui (**Figura 1**). Realizou-se uma entrevista, com o proprietário e/ou responsável da área, obtendo-se informações sobre o processo produtivo da propriedade, através de perguntas contidas em um questionário aberto. A partir do teste da dependência do qui-quadrado (teste não paramétrico) analisou-se o nível mínimo de significância para as frequências obtidas através do questionário fechado, em nível de 5% de probabilidade de erro.

Foi amostrada uma área irrigada total de 5044 ha. Em todos os anos agrícolas avaliados, observou-se nas áreas irrigadas uma frequência média de 92% na utilização do sistema de plantio direto. Entre os anos agrícolas 1998/99 e 2001/02, o tempo de implantação do sistema de plantio direto em 41% das áreas encontrava-se entre o 5º e o 10º ano.

Observou-se que 66% dos pivôs centrais instalados apresentaram área irrigada de 60 a 130 ha. A partir do ano de 2000/01, a adoção de um adequado sistema de manejo da irrigação (tomada da decisão de quando e quanto irrigar) aumentou 410%. Somente em 4% das

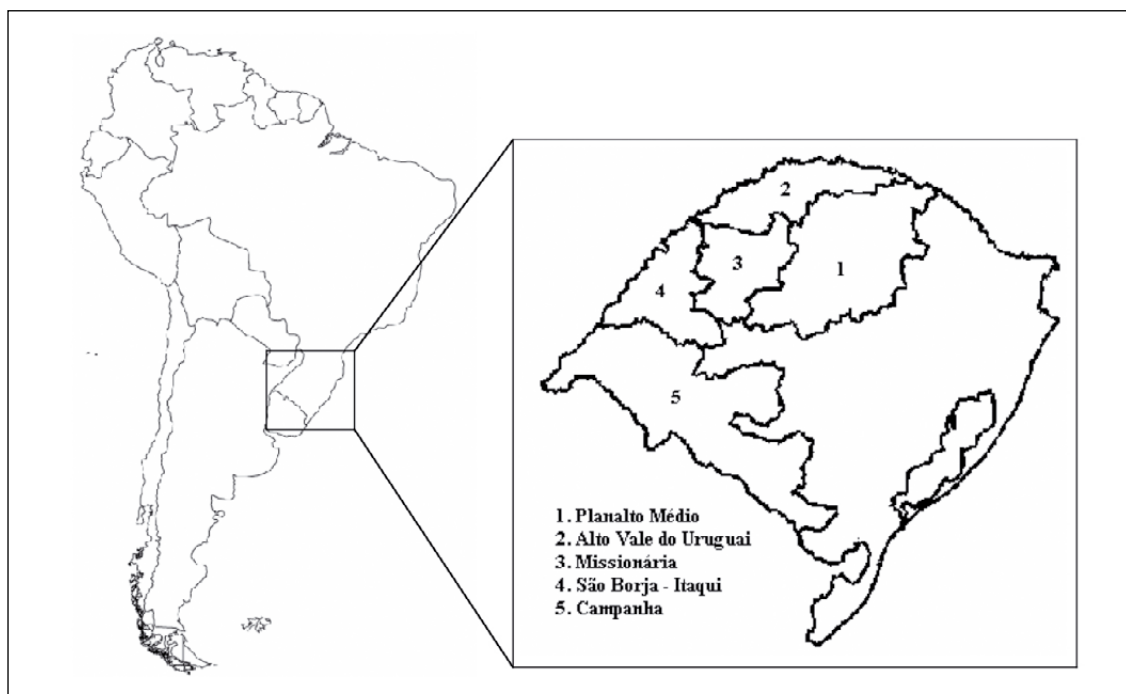
1 Professor Titular do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM. E-mail: [carlesso@ccr.ufsm.br](mailto:carlesso@ccr.ufsm.br)

2 Mestre em Engenharia Agrícola - UFSM. E-mail: [gianelm@yahoo.com.br](mailto:gianelm@yahoo.com.br)

3 Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, UFSM. E-mail: [cleudsonjose@gmail.com](mailto:cleudsonjose@gmail.com)

4 Doutor em Engenharia Agrícola - UFSM, E-mail: [renatospohr@gmail.com](mailto:renatospohr@gmail.com)

5 Professor do Centro de Educação Superior Norte, CESNORS/UFSM. E-mail: [genesio@ct.ufsm.br](mailto:genesio@ct.ufsm.br)



**Figura 1.** Regiões agroecológicas amostrada no Rio Grande do Sul.

áreas irrigadas foram utilizadas práticas de descompactação do solo e em 51% das áreas foram utilizadas técnicas conservacionistas.


Os cultivos de milho e feijão foram predominantes durante o primeiro cultivo de verão. No segundo cultivo de verão as culturas predominantes foram o feijão e a soja. Em geral, ao longo dos anos agrícolas avaliados, houve um incremento na frequência das áreas com um segundo cultivo no verão. Isso ocorreu, provavelmente, pela possibilidade do uso racional dos fatores de produção (terra, máquinas, implementos, equipamentos e mão-de-obra) no período ocioso do ano, melhores preços de comercialização dos grãos e menor custo operacional. A cultura da aveia preta foi a mais utilizada durante o inverno, principalmente como planta de cobertura.

Para a cultura do milho, entre os anos agrícolas 1998/99 e 2002/03, as produtividades obtidas mais frequentemente situaram-se entre 6.000 e 7.200 kg ha<sup>-1</sup> e entre 7.200 e 9.000 kg ha<sup>-1</sup>, e que apresentaram crescimento de 403 e 197%, respectivamente. Para a cultura da soja, verificou-se redução de 91% em áreas

de produtividade inferior a 2100 kg ha<sup>-1</sup> e, em contrapartida, verificou-se crescimento de 678% em áreas de produtividade superior 2.700 kg ha<sup>-1</sup>.

Entre os anos agrícolas de 1998/99 e 2002/03 a frequência média de aplicação de produtos fitossanitários foi entre seis e 10 vezes por ciclo, especialmente na cultura do feijão (cultivo de verão). Para o cultivo do milho, nesse mesmo período, o tráfego de máquinas agrícolas foi realizado predominantemente no mesmo caminho das aplicações anteriores.

Nas áreas irrigadas do Rio Grande do Sul o sistema de manejo do solo plantio direto é predominante com um tempo implantação superior a cinco anos. Em aproximadamente metade das áreas irrigadas do Rio Grande do Sul é utilizada alguma técnica conservacionista do solo.

**Palavras chave:** Sistemas de cultivo, plantio direto, irrigação por aspersão. 

## Characterization of the tillage systems adopted in sprinkler irrigated areas in Southern Brazil

---

### Summary

The objective of this work was to characterize the tillage systems used in soils irrigated by center pivot irrigation systems, relative to the agricultural years of 1998/99 to 2002/03, in the State of Rio Grande do Sul, Brazil. The management of irrigated area, crops and mechanization used are considered. This study was conducted in five agroecological regions: Planalto Médio, Alto Vale do Uruguai, Missionária, Campanha and São Borja - Itaqui. An interview with the owner and/or responsible for the area was carried out through an open questionnaire relative to the productive process of the property. The qui-square test of dependence (free distribution test) was used to analyze the minimum level of significance for the frequencies obtained from the closed questionnaire; the level of 5% of error probability was adopted. The sampled irrigated

area was 5.044 ha. No tillage system was predominant in 92% of areas in all agricultural years. Between 1998/99 and 2001/02 agricultural years, the no tillage system was kept in 41% of areas during five to ten years. In 66% of the center pivots the surface area ranged from 60 to 130 ha. Based on the agricultural year of 2000/01, the adoption of a suitable irrigation management (irrigation timings and how much water was applied in each irrigation) increased 410% in the surveyed irrigated areas. In 4% of the irrigated areas were used some soil decompaction techniques and in 51% of the areas soil conservation practices were used. The maize and black beans crops were predominant as the first Summer crops. Black beans and soybean were cultivated predominantly as second Summer crop. Oats was the most cultivated cover crop during the Winter. No tillage system is predominant in the irrigated areas in Southern of Brazil. In about half of the irrigated area some soil conservation practices are used.

**Keywords:** Tillage systems, no tillage, sprinkler irrigation.



## ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO MEDIANTE APLICACIÓN DEL MODELO ISAREG EN EL CANAL SEGUNDO VISTALBA, LUJAN DE CUYO, MENDOZA (ARGENTINA)

Mario A. Salomón<sup>1</sup>, Carlos M. Sánchez<sup>1</sup>, Luis S. Pereira<sup>2</sup>

### Resumen

El objeto del presente trabajo consiste en evaluar el desempeño de la distribución hídrica en el área irrigada del Canal 2° Vistalba de Lujan de Cuyo, Mendoza (Argentina) mediante una aplicación metodológica del cálculo de necesidades de riego y desarrollo del software ISAREG (Pereira, 2004), a fin de comparar esta información con la oferta hídrica existente. Este cauce abastece 618 ha empadronadas con uso agrícola, recreativo y arbolado público; cuenta con 17.882 m de red de canales secundarios y terciarios y 957 usuarios. A la fecha existen 466 ha con uso agrícola y se detecta un creciente uso recreativo generado por avance de la urbanización y loteos privados sobre un área netamente agrícola con especulación inmobiliaria (Sánchez *et al.*, 2000). Los cultivos predominantes en el espectro productivo de la zona son la vid, hortícolas de ciclo anual (ajo, tomate, papa, cebolla) y frutales.

Para la estimación de la demanda se procesaron datos climáticos de la Estación Agrometeorológica Chacras de Coria, dependiente de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo. Los datos disponibles corresponden a la serie 1997-2006, que se publican en el Boletín Agrometeorológico

de la Facultad de Ciencias Agrarias. La información referente a cultivos, se obtuvo por medio de bases de datos especializadas y relevamientos de la Subgerencia de Gestión Hídrica y Área Catastro-SIG de la Asociación de Inspecciones de Cauces Primera Zona del Río Mendoza (ASIC) del período 2005-2006. En este caso se seleccionó un área representativa de la Higuera 2° Vistalba, irrigada con agua superficial y compuesta por distintas parcelas cultivadas con ajo chino, ajo colorado, tomate, papa y cebolla. Para la estimación de los requerimientos de irrigación de los cultivos, se tuvo en cuenta valores referenciales obtenidos a través de Allen *et al.* (2006), Pereira (2004), Grassi (1990), Chambouleyron (1995) y Vargas (1995). El conocimiento de los factores externos e internos de los suelos se realizó a través de estudios de campo (calicatas) y de laboratorio; determinándose los principales parámetros edáficos requeridos para el estudio. La oferta hídrica primaria se obtuvo de balances hídricos del área irrigada para el período 2005-2007, cuadro de turnados y programa de erogaciones de la Subdelegación Río Mendoza.

Para estimar la necesidad de riego de los cultivos hortícolas seleccionados, se aplicó el modelo ISAREG, (WinISAREG, versión 1.1,

1 Asociación Primera Zona Río Mendoza (ASIC), Ricardo Videla 8325 Luján de Cuyo Mendoza Argentina: [asicprimerazona@asicprimerazona.com.ar](mailto:asicprimerazona@asicprimerazona.com.ar)


2 Centro de Estudos de Engenharia Rural, Instituto Superior de Agronomia Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa, Portugal: [lpereira@isa.utl.pt](mailto:lpereira@isa.utl.pt)

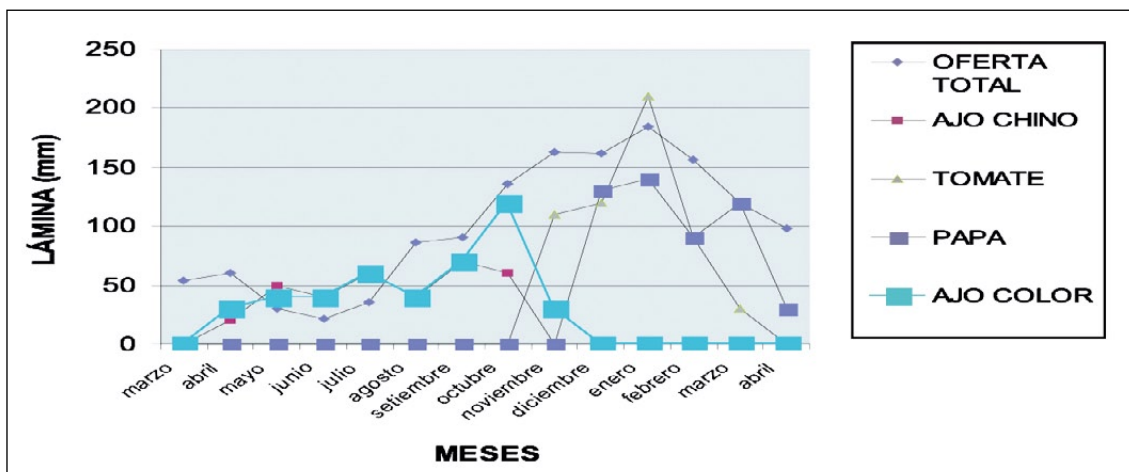
Pereira *et al.*, 2003). La cuantificación de la oferta hídrica se realizó a través de mediciones y cálculos de las entregas de caudales, y volúmenes desde la presa Potrerillos y el dique derivador Cipolletti hasta los cauces derivados en cabecera, correspondiente a los años hidrológicos 2004-2005 y 2005-2006, todos basados en el balance global de la Subdelegación del Río Mendoza. El agua disponible de Hijueta 2° Vistalba a nivel secundario y terciario se midió mediante campañas de aforos con calibración y validación de curvas de gastos.

Se obtuvieron datos de las necesidades de riego del ajo chino, ajo colorado, tomate y papa, durante los ciclos 2005 y 2006, con detalle de las láminas de riego requeridas mensualmente por dichos cultivos. Una vez determinada la demanda o necesidades de riego y calculada la oferta hídrica superficial a lo largo del calendario agrícola, se confrontaron ambas y se obtuvieron los déficits o excesos hídricos que permiten conocer el desempeño de la gestión hídrica. De los cultivos hortícolas seleccionados y su modalidad local de implantación, surge que en las condiciones actuales el ajo chino es la especie que mayor déficit hídrico presenta; en cambio la papa prácticamente tiene cubiertas sus necesidades de riego a lo largo de todo su ciclo. En la mayoría de los cultivos hortícolas de referencia, la oferta hídrica no acompaña a la demanda durante su desarrollo

vegetativo, existiendo un fuerte desfase con los requerimientos e importantes excesos hídricos (**Figura 1**).

La irregularidad temporal entre oferta hídrica y demanda de cultivos produce efectos sobre el rendimiento y calidad de los productos. También se requiere la necesidad de suplementar la oferta hídrica superficial a “turno” o con “cortas” con agua proveniente de bombeo subterráneo, para lograr mayor garantía y evitar el estrés hídrico. La gran variedad registrada entre excesos y déficit hídricos superficiales para los cultivos ensayados, es un importante indicador de gestión hídrica al encontrarse condicionada la oferta hídrica a la conducción y distribución realizada, por lo que resulta imprescindible mejorar la productividad en el manejo del agua para evitar las variaciones extremas registradas. Para contar con mayor garantía en la disponibilidad del recurso hídrico, deben mitigarse las pérdidas detectadas en la conducción y el agua debe ser distribuida en función de las necesidades de los cultivos y no por equivalencia a superficie empadronada al día. La aplicación del modelo ISAREG, se convierte en un método de evaluación eficiente para la región, siendo un instrumento imprescindible para la planificación y gestión hídrica.

**Palabras clave:** Oferta hídrica, necesidad de riego, ISAREG, distribución agua, gestión hídrica. 



**Figura 1.** Relación oferta hídrica y demanda requerida por cultivos anuales.


## Water balance simulation with the ISAREG model applied to the Second Vistalba Canal, Lujan de Cuyo, Mendoza (Argentina)

---

### Summary

The goal of this study is to assess the water distribution performance of the Second Vistalba Canal, Mendoza (Argentina), by comparing water supply and agricultural water demand. This watercourse supplies an area of 618 ha used for agriculture and recreation purposes, including public tree growing. It has 957 users and the network extends through 17882 m. Predominant crops are grape vines, fruit

tree orchards, and vegetables. The irrigation demands of crops were estimated with the WinISAREG model, version 1.1. Water supply was quantified using measurements and calculations of flow rates delivered from the river to the canal system throughout the 2004-2006 period. Irrigation requirements were estimated for Chinese garlic, red garlic, tomato and potato. Monthly irrigation water deficits or surplus were estimated. The values obtained considering the agricultural calendar allowed assessing water management and productivity.

**Keywords:** Water supply, irrigation demand, ISAREG, canal water distribution, water management. 





# 5

## SITUACIÓN DEL REGADÍO EN LOS PAÍSES DE LA RED DE RIEGO DEL PROCISUR, CONO SUR DE AMÉRICA



## SITUACIÓN DEL REGADÍO EN LOS PAÍSES DE LA RED DE RIEGO DEL PROCISUR, CONO SUR DE AMÉRICA

Alfonso Osorio (Chile)<sup>1</sup>, Daniel Prieto (Argentina)<sup>2</sup>,  
René Chipana (Bolivia)<sup>3</sup>, Claudio García (Uruguay)<sup>4</sup>,  
Miguel Blanco (Paraguay)<sup>5</sup>, Henoque Ribeiro da Silva (Brasil)<sup>6</sup>

### Resumen

La Red de Riego del PROCISUR está constituida por los profesionales que desarrollan actividades de investigación y transferencia de tecnología en riego y drenaje, en los Institutos de Investigaciones Agropecuarias, y los Ministerios de Agricultura de Argentina, Brasil, Bolivia, Chile, Paraguay y Uruguay. Esta Red se crea en noviembre de 2005, en La Serena, Chile; con el apoyo de PROCISUR, planteándose el objetivo de generar instancias de colaboración a través del intercambio de experiencias de investigación y transferencia de tecnología en el ámbito del riego y drenaje.

En este trabajo se da cuenta de las temáticas relacionadas con el riego y el drenaje en cada país y que han sido expuestas por sus representantes en las reuniones de La Serena, Chile, 2005 y Montevideo, Uruguay, 2006.

En relación a características agroclimáticas, si

bien es cierto existen diferencias notables entre los países integrantes; en todos ellos hay zonas deficitarias de precipitaciones que requieren de riego; estimándose en 6 millones las hectáreas que están bajo riego, y donde predominan los riegos superficiales. En **Tabla 1** se entregan antecedentes estimativos de la superficie regada en cada país.

Destaca el caso de Brasil, donde la cifra señalada corresponde a menos del 10% de la superficie potencialmente regable. Como se señalaba, en la mayoría de los países los métodos de riego son de tipo superficial, generándose buenas oportunidades para la investigación, transferencia de tecnología y adopción de tecnologías más eficientes. En este aspecto sería muy relevante la acción que pueda desarrollar la Red de Riego, en términos de propiciar la transferencia de tecnologías y experiencias entre los países, dado el diferente nivel de desarrollo relativo, en el tema de riego y drenaje, existente entre ellos.

**Tabla 1.** Superficie regada en países de la Red de Riego PROCISUR.

País	Argentina	Bolivia	Brasil	Chile	Paraguay	Uruguay
Superficie (ha)	1.437.275	128.239	3.440.000	1.900.000	67.000	181.200

1 Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA, Chile, Casilla 3-B, La Serena, Chile. [aosorio@inia.cl](mailto:aosorio@inia.cl)

2 Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, [dprieto@intasgo.gov.ar](mailto:dprieto@intasgo.gov.ar)

3 Universidad Mayor de San Andrés, [renechipana@yahoo.com](mailto:renechipana@yahoo.com)

4 Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, INIA Uruguay, EE Las Brujas, [cgarcia@lb.inia.or.uy](mailto:cgarcia@lb.inia.or.uy)

5 [miguelblanco540@hotmail.com](mailto:miguelblanco540@hotmail.com)

6 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria, [henoque@cnph.embrapa.br](mailto:henoque@cnph.embrapa.br)

En relación a organización de la investigación, en la mayoría de los países la investigación en riego y drenaje, asociada a los usuarios, se realiza en institutos o empresas de investigación como INIA, INTA o EMBRAPA o en dependencias de Ministerios de Agricultura. Destaca la creación reciente en Bolivia del Ministerio del Agua, y del Viceministerio de Riego, el cual tendrá una importancia relevante en todo el tema de investigación y de desarrollo del riego. Los institutos mencionados cuentan, en cada caso, con una amplia red de Estaciones o Centros Experimentales, donde se ejecutan proyectos de índole nacional y regional.

En la publicación in extenso se indican los títulos de una cantidad significativa de proyectos que se está ejecutando en la actualidad. Sobre el particular la Red de Riego plantea la necesidad de trabajar más coordinadamente; ejecutando proyectos de tipo colaborativo,

donde se aprovechen las capacidades de los países de la red. Uno de los temas que aparece destacado por la mayoría de los países dice relación con la determinación de los requerimientos hídricos de los cultivos, aspecto que podría constituirse en un proyecto regional.

En relación a capacidades humanas especializadas, la información indica que existe un alto número de profesionales, cercano a 100, altamente calificados que están trabajando en temas de investigación y transferencia de tecnología en riego y drenaje.

De lo expuesto anteriormente se puede señalar que la Red de Riego del PROCISUR puede constituirse en un referente técnico para lograr un trabajo conjunto de los 6 países que la integran, en temas de investigación y transferencia de tecnología en riego y drenaje.

**Palabras clave:** Red de Riego, área regada, Cono Sur, investigaciones en riego y drenaje.



## Update of the irrigation in countries of PROCISUR irrigation network, South America

### Summary

The PROCISUR Irrigation Network is constituted by professionals dealing with research and development, and technology transfer in irrigation and drainage, in Institutes of Farming Investigations, Ministries of Agriculture and/or Rural Development of Argentina, Brazil, Bolivia, Chile, Paraguay and Uruguay.

This work considers subjects related to irrigation and drainage in each country and that has been exposed by their representatives during the meetings of La Serena, Chile (2005) and Montevideo, Uruguay (2006). In relation to agro-climates characteristics, besides remarkable differences, there are precipitation deficit zones in all country members that require irrigation practices, being considered in 6 mil-

lion hectares under irrigation, in which surface irrigation predominates.

In relation to research organization, in most of the countries, irrigation and drainage research associated to the users is made in technological institutes, like INIA, INTA or EMBRAPA, personnel or related to Ministries of Agriculture or Rural Development departments, developing activities under various projects modality, that in a significant amount it is being executed at the present time.

In particular, the Irrigation Network raises the requirement to work more coordinately. In relation to specialized human capacities, the information indicates that a high number of professionals exist, nearly 100, highly qualified that are working in irrigation and drainage research subjects and technology transfer.

**Keywords:** Network of irrigation, watered area, South America Cone, irrigation and drainage research.





Esta publicación  
se termino de imprimir en  
Imprenta Boscana S.R.L.  
en mayo de 2008.

Dep. Legal: 344.654





**Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico  
Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur**

Argentina  
Bolivia  
Brasil

Chile  
Paraguay  
Uruguay



Edificio MERCOSUR  
Luis P. Piera 1992 Piso 3  
Tel.: (598 2) 410 1676  
Fax: (598 2) 410 1780  
Montevideo - Uruguay  
E-mail: [sejecutiva@procisur.org.uy](mailto:sejecutiva@procisur.org.uy)  
[www.procisur.org.uy](http://www.procisur.org.uy)