



INSTITUTO
NACIONAL DE
INVESTIGACIÓN
AGROPECUARIA

URUGUAY



DESARROLLO Y EVALUACIÓN
DE EQUIPOS PARA MEDICIÓN
DE AGUA DE RIEGO Y
TRANSMISIÓN DE DATOS
EN SISTEMAS DE ARROZ
Y PASTURAS

JUNIO 2018

SERIE
FPTA-INIA

66

TECNOLOGÍAS DE MEDICIÓN Y TRANSMISIÓN DE DATOS EN SISTEMAS DE RIEGO POR GRAVEDAD

FPTA - 292

Responsable científico:

Ing. Agr. (MSc) Lisette Bentancor.

Equipo técnico:

Facultad de Agronomía Departamento de Suelos y Aguas
(DSyA): Ing. Agr. (MSc) Lisette Bentancor; Dr. Ing. Agr. Pablo Durán Levrero.

COMISACO S.A.: Ing. Agr. Alberto Ruiz

Empresa AgroTI: Víctor Castaño

¹ Facultad de Agronomía, Universidad de la República,

² Gerente COMISACO S.A.

³ Técnico AgroTi.

Título: Tecnologías de medición y transmisión de datos en sistemas de riego por gravedad.

Responsable científico:

Ing. Agr. (MSc) Lisette Bentancor.

Equipo técnico:

Ing. Agr. (MSc) Lisette Bentancor.
Dr. Ing. Agr. Pablo Durán Levrero.
Ing. Agr. Alberto Ruiz.
Víctor Castaño

Serie: FPTA N° 66

ISBN: 978-9974-38-401-9

© 2018, INIA

Editado por la Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología de INIA
Andes 1365, Piso 12. Montevideo, Uruguay
<http://www.inia.uy>

Quedan reservados todos los derechos de la presente edición. Este libro no se podrá reproducir total o parcialmente sin expreso consentimiento del INIA.

Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria

Integración de la Junta Directiva

D.M.T.V., Ph.D. José Luis Repetto - Presidente

Ing. Agr., M.Sc., Ph.D. Álvaro Roel - Vicepresidente



Ing. Agr., M.Sc. Diego Payssé Salgado

Ing. Agr. Jorge Peñaricano



Ing. Agr. Pablo Gorriti

Ing. Agr. Alberto Bozzo



FONDO DE PROMOCIÓN DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA

El Fondo de Promoción de Tecnología Agropecuaria (FPTA) fue instituido por el artículo 18° de la ley 16.065 (ley de creación del INIA), con el destino de financiar proyectos especiales de investigación tecnológica relativos al sector agropecuario del Uruguay, no previstos en los planes del Instituto.

El FPTA se integra con la afectación preceptiva del 10% de los recursos del INIA provenientes del financiamiento básico (adicional del 4o/oo del Impuesto a la Enajenación de Bienes Agropecuarios y contrapartida del Estado), con aportes voluntarios que efectúen los productores u otras instituciones, y con los fondos provenientes de financiamiento externo con tal fin.

EL FPTA es un instrumento para financiar la ejecución de proyectos de investigación en forma conjunta entre INIA y otras organizaciones nacionales o internacionales, y una herramienta para coordinar las políticas tecnológicas nacionales para el agro.

Los proyectos a ser financiados por el FPTA pueden surgir de propuestas presentadas por:

- a) los productores agropecuarios, beneficiarios finales de la investigación, o por sus instituciones.
- b) por instituciones nacionales o internacionales ejecutoras de la investigación, de acuerdo a temas definidos por sí o en acuerdo con INIA.
- c) por consultoras privadas, organizaciones no gubernamentales o cualquier otro organismo con capacidad para ejecutar la investigación propuesta.

En todos los casos, la Junta Directiva del INIA decide la aplicación de recursos del FPTA para financiar proyectos, de acuerdo a su potencial contribución al desarrollo del sector agropecuario nacional y del acervo científico y tecnológico relativo a la investigación agropecuaria.

El INIA a través de su Junta Directiva y de sus técnicos especializados en las diferentes áreas de investigación, asesora y facilita la presentación de proyectos a los potenciales interesados. Las políticas y procedimientos para la presentación de proyectos son fijados periódicamente y hechos públicos a través de una amplia gama de medios de comunicación.

El FPTA es un instrumento para profundizar las vinculaciones tecnológicas con instituciones públicas y privadas, a los efectos de llevar a cabo proyectos conjuntos.

De esta manera, se busca potenciar el uso de capacidades técnicas y de infraestructura instalada, lo que resulta en un mejor aprovechamiento de los recursos nacionales para resolver problemas tecnológicos del sector agropecuario.

El Fondo de Promoción de Tecnología Agropecuaria contribuye de esta manera a la consolidación de un sistema integrado de investigación agropecuaria para el Uruguay.

A través del Fondo de Promoción de Tecnología Agropecuaria (FPTA), INIA ha financiado numerosos proyectos de investigación agropecuaria a distintas instituciones nacionales e internacionales. Muchos de estos proyectos han producido resultados que se integran a las recomendaciones tecnológicas que realiza la institución por sus medios habituales.

En esta serie de publicaciones, se han seleccionado los proyectos cuyos resultados se considera contribuyen al desarrollo del sector agropecuario nacional. Su relevancia, el potencial impacto de sus conclusiones y recomendaciones, y su aporte al conocimiento científico y tecnológico nacional e internacional, hacen necesaria la amplia difusión de estos resultados, objetivo al cual se pretende contribuir con esta publicación.

Agradecimientos

Los autores agradecen al I.N.I.A. por el financiamiento del proyecto: FPTA N° 292 financiado en el marco de la convocatoria 2012, por el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria- INIA Uruguay.

A las empresas COMISACO, SAMAN, GLENCORE, CASARONE, COOPAR, TOBIR y SOFORUCE por la utilización de su infraestructura de riego y la colaboración de sus técnicos en la realización de medidas.

Agradecemos además al personal de campo de las empresas participantes y especialmente al personal de la empresa COMISACO por la constante colaboración y apoyo durante los tres años del proyecto.

Se agradece al metalúrgico Martín Rivero "Pichula" por sus aportes técnicos muy valiosos en la construcción y remodelación de las estructura metálicas que se realizaron durante todo el proyecto.

Se agradece a ANTEL por su colaboración proporcionando nueve tarjetas sim, para las comunicaciones de los correspondientes módems durante los tres años de duración del proyecto.

Índice general

Resumen	9
Abstract	9
1 INTRODUCCIÓN	10
2 ANTECEDENTES	10
3- OBJETIVOS	11
3.1 El objetivo general.....	11
3.2 Objetivos específicos	12
4 MATERIALES Y MÉTODOS	12
4.1 Ubicación geográfica.....	12
4.2 Situaciones de medición.....	13
4.3 Relevamiento de tecnología disponible de medición y transmisión de datos	13
4.3.2 Tipos de Sensores.....	14
4.3.3 Transmisión de datos	16
4.4 Estructuras y dispositivos estándar utilizados en el proyecto para el aforo de caudales	16
4.4.1 Aforador Sin Cuello	16
4.4.2 Aforador ACA	17
4.4.3 Vertedero triangular	18
4.4.4 Vertedero rectangular.....	18
4.4.5 Vertedero Cipolletti.....	19
4.4.6 Tubo Venturi (eQpipe).....	19
4.4.7 Placa de orificio.....	19
4.4.8 Aforador electromagnético de inserción	20
4.5 Fabricación local de estructuras de aforo	20
4.6 Estructuras no estándares calibradas.....	22
4.6.1 Tubos de derivación, obras de arte, etc.	22
4.6.2 Aforo con orificios sumergidos	23
4.7 Calibración y control de caudales	23
4.8 Monitoreo de niveles en la red de canales	24
4.9 Equipamiento electrónico de medición, registro y transmisión de datos	25
4.9.1 Sensores	25
4.9.2 Equipos de registro y transmisión de datos	25
4.10 Instalaciones de estaciones de aforo por temporada de riego	27
4.11 Plataforma Web y software de acceso remoto.....	31
4.11.1 Estrategia general de medición y transmisión de datos.....	31
4.11.2 Desarrollo de página Web.....	32
4.11.3 Programa de interfase para control remoto de equipos de Acequia Innova.....	32
4.11.4 Programación de una App para teléfonos móviles Android	32
4.11.5 Sistema de alarmas	32
4.12 Análisis económico de los equipos	32
5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
5.1 Estructuras de aforo	33
5.1.1 Aforadores ACA y Sin Cuello	33
5.1.2 Vertederos	35
5.1.3 Tubos Venturi, Placas de Orificio y orificios sumergidos	35
5.1.4 Caudalímetros electromagnéticos	37
5.1.5 Estructuras de aforo no estandarizadas existentes en los sistemas	38

5.1.6 Calibración de canales	41
5.2 Registradores y transmisores.....	42
5.3 Instalación en el campo de los equipos	43
5.4 Comparación de sensores	44
5.5 Registros de los equipos	45
5.5.1 Registros de caudales y volúmenes de riego	45
5.5.2 Consumo de agua.....	48
5.5.3 Productividad del agua	49
5.6 Desarrollo Web - Software de acceso y App para celulares	51
5.6.1 Desarrollo de página Web.....	51
5.6.2 Programa de Control Remoto de Equipos (ver. 1.8) de Acequia Innova.....	52
5.6.3 Sistema de Alarmas	56
5.6.4 Aplicación para celulares (App) Android).....	57
5.7 Evaluación económica	57
6.1 Estructuras de aforo	59
6.2 Equipos electrónicos de medición y transmisión.....	59
6.3 Mejora de la gestión y rentabilidad de la tecnología.....	60
6.4 Recomendaciones	60
7 BIBLIOGRAFÍA	61

Responsable científico:

Ing. Agr. (MSc) Lisette Bentancor

Equipo técnico:

Facultad de Agronomía Departamento de Suelos y Aguas (DSyA):

Ing. Agr. (MSc) Lisette Bentancor;

Dr. Ing. Agr. Pablo Durán Levrero.

COMISACO S.A.:

Ing. Agr. Alberto Ruiz

Empresa AgroTI: Víctor Castaño

DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE EQUIPOS PARA MEDICIÓN DE AGUA DE RIEGO Y TRANSMISIÓN DE DATOS EN SISTEMAS DE ARROZ Y PASTURAS

FPTA 292

Período de ejecución:

1° de Junio 2014 al 31 de Enero 2018

Resumen

El objetivo de este trabajo fue lograr una tecnología de medición y transmisión de datos que mejore la gestión del uso del agua. Con este fin, se desarrollaron equipos que combinaban estructuras de medición hidráulica con registradores electrónicos equipados con sensores y elementos de transmisión de datos. Esta información fue registrada de en una base de datos Web y lo que permite el acceso a esta por Internet. Los caudales registrados por los equipos fueron controlados mediante correntómetro de hélice y las cargas o alturas de agua mediante reglas de lectura directa. La eficiencia en el registro y transmisión de datos y la accesibilidad remota a través de Internet se evaluó a través una página Web y de un software para PC y una aplicación para teléfonos celulares con sistema operativo Android. El costo de depreciación y mantenimiento del equipo fue valuado. Se analizaron los caudales medios horarios y los volúmenes acumulados a lo largo de las temporadas de riego y se obtuvieron datos de consumo en arroz y caña de azúcar por hectárea. Se obtuvieron los coeficientes de descarga de algunas estructuras preexistentes mediante calibración. Los equipos evaluados en el presente proyecto han sido adecuados para controlar los flujos en bombas y canales y medir el consumo real de las parcelas. El costo de esta tecnología resulta proporcional al costo del servicio de riego, permitiendo un manejo más eficiente del recurso.

Palabras clave | telemetría; aforadores; riego; arroz; canales; bombeos.

Abstract

The objective of this work was to achieve a measurement and data transmission technology that improves the management of water use. To this end, equipments were developed that combined hydraulic gauging structures with electronic recorders equipped with sensors and data transmission elements. Data were registered in a web database to allow online access (Internet). The equipments flux was controlled by current meter and water head by direct reading rules. Efficiency in the registration and transmission of data and remote accessibility through the Internet was evaluated through a Web site, PC software and an App for smartphones (Android). The depreciation and maintenance cost of the equipment were valued. The record of hourly flows and accumulated volume throw the irrigation seasons in rice and sugar cane consume per hectare was obtained. The discharge coefficients of some pre-existing structures were calibrated. The equipments evaluated in the present project have been adequate to control the flows in pumps and channels and measure the real consumption of the plots.

The cost of this technology is proportional to the cost of the irrigation service, allowing a more efficient management of the resource.

1 INTRODUCCIÓN

En el Uruguay se ha dado un incremento en los precios de bienes y productos agropecuarios, que hacen rentable el riego en los sistemas de producción; sin embargo se observan bajas eficiencias de riego (García Petillo, 2012).

Es necesario el uso eficiente del recurso observándose un incremento en la presión sobre los recursos hídricos, los cuales comprometen seriamente la productividad del arroz y otros cultivos. La ineficiencia en el uso del agua aumenta los costos de producción y disminuye el área bajo riego en cuencas con caudales reducidos (Cantou *et al* 2010). Para mejorar su uso, el primer paso es medirla, permitiendo una mejor planificación y manejo, así como también diagnosticar problemas de distribución e identificar situaciones puntuales que hacen bajar la eficiencia de los sistemas.

En los sistemas de riego colectivos del Uruguay (comunidades de regantes), el servicio de riego se cobra en base a la superficie regada sin considerar el volumen real de agua entregado. Esta tarifa no estimula un uso cuidadoso del agua, en perjuicio de la eficiencia del riego, provocando pérdidas por infiltración profunda y escorrentías innecesarias que pueden impactar en los ecosistemas ubicados aguas abajo.

La medición y registro del caudal tanto a nivel de la red de canales como a la entrada de las parcelas ha estado relegada por la falta de dispositivos adecuados a las condiciones de la infraestructura de riego (canales en tierra) y al alto costo de los sistemas de medición disponibles en el mercado (Ruiz *et al* 2012). Las principales dificultades que presentaban la medición de caudales y el cómputo de volúmenes de riego eran las siguientes:

- a) Los altos caudales que son necesarios medir en los sistemas de riego superficial, en particular los de arroz.
- b) Los elementos en suspensión o flotación que contiene el agua son capaces de trabar las hélices o ruedas de paletas que muchos contadores utilizan, deteniendo o alterando el registro de los volúmenes entregados a los usuarios.
- c) El agua en estos sistemas de distribución, se mueve mediante pequeños desniveles (carga

o presión) requiriéndose dispositivos que provoquen mínimas “pérdidas de carga”.

- d) En la mayoría de los casos la ausencia de red eléctrica en los puntos de medición, hace imprescindible que los equipos sean eléctricamente autónomos.
- e) A diferencia de los sistemas presurizados en que toda la infraestructura se encuentra normalizada con diámetros y demás dimensiones (longitudes, presiones, etc.) estandarizadas, en los sistemas de distribución por gravedad encontramos una enorme disparidad en la conformación de las conducciones y obras de control del riego.

Con el objetivo de lograr una tecnología de medición y transmisión de datos que permita mejorar la gestión y eficiencia del uso del agua, desde 2014 se llevó adelante el proyecto FPTA-292 “Desarrollo y evaluación de equipos para medición de agua de riego y transmisión de datos en sistemas de arroz y pasturas”. En el mismo se combinaron estructuras hidráulicas de aforo con registradores electrónicos dotados de sensores y elementos de transmisión de datos para permitir automatizar la medición, la centralización de la información en una base de datos alojada en Internet que permitió el acceso remoto a la información.

Se estableció una modalidad múltiple de comunicación entre los equipos, los administradores de los sistemas de riego y los usuarios finales, implementándose una plataforma Web, un software de control para PC y una app para celulares Android. Las comunicaciones se realizaron utilizando la red gprs para la transmisión bidireccional de datos y la red gsm para el intercambio de sms con los equipos.

Asimismo, las capacidades de los elementos de transmisión permitieron la implementación de sistemas de alarma mediante sms y correo electrónico, para alertar a los operarios de problemas de operación (riesgo de desborde de canales, interrupciones de bombeo, etc.).

2 ANTECEDENTES

Desde los '80, INIA-33 en colaboración con empresas arroceras implementó la evaluación de dispositivos (hélice y rueda de paletas) para la medición del consumo del agua. En el sistema de riego India Muerta en las zafras 83/84 (Blanco

1986) y 84/85 y evaluación de equipos de bombeo en diferentes sistemas en año 83/84 (Blanco y Cota 1985). Desde esa época se investiga además el manejo del agua en el cultivo de arroz (García Ricci, 1982).

El INIA a mediados de la década del '90 comenzó a buscar tecnologías y practica de manejo con el objetivo de lograr un uso mas eficiente del recuso agua.

Se plantearon varios años de ensayos donde contabilizaban en forma objetiva en macroparcelas, los volúmenes de agua consumida por dos manejos contrastantes de la inundación, llegándose a obtener resultados satisfactorios (Blanco y Roel, 1994, 1995 y 1996; Roel y Blanco, 1997; Roel, 1998; Roel, 1999, a y b).

También desde la Cátedra de Hidrología, se desarrollaron varios equipos de medición (Durán y García Petillo, 1991), destinados a la medición de caudales en el Sistema de Riego de la Colonia "España" del INC. Finalmente en 2002 (Durán, P.J. 2002), se desarrolla un contador volumétrico diseñado para el registro de volúmenes de riego en sistemas por gravedad tales como los arroceros del este del país.

En 2011 se firma un convenio de colaboración entre la Fac. Agr., el INIA y la empresa Acequia Innova SLL (España) con actividades de I+D, para el desarrollo y la evaluación de metodologías, instrumentos y equipos de medición de agua a escala comercial.

En el marco del convenio, dicha empresa donó 5 equipos para permitir la evaluación de una nueva tecnología desarrollada por la empresa. Estos equipos incorporan componentes electrónicos y sensores, abriendo las posibilidades para la digitalización de los registros y la transmisión de datos para su procesamiento remoto.

Estos equipos fueron instalados en varios puntos del Sistema de Riego de India Muerta y evaluados desde la temporada 2011/2012.

Durante la misma campaña se evaluaron además otros equipos (electromagnéticos, de hélice, reglas electrónicas) y se comenzó a experimentar un sistema de transmisión de datos online.

Los resultados fueron presentados en una reunión técnica en INIA Treinta y Tres el 19 de

setiembre/2012 (disponible en página WEB INIA) y los mismos permitieron ser optimistas en cuanto a la adecuación de los equipos a las condiciones de Uruguay y del Cono Sur.

A partir de dichos resultados se plantea el presente proyecto para impulsar una actividad que venía desarrollándose sin financiamiento y así acelerar la obtención de avances en el desarrollo de equipamientos con mejores prestaciones, en particular la transmisión de datos, y reducir costos para permitir su uso generalizado.

Si bien el proyecto se centra en el sector arrocero, por ser este el que utiliza el recurso agua con mayor intensidad, también se consideró oportuna la participación de sistemas de riego del sur (pasturas) y del norte del país, donde existen varios sistemas de riego colectivos.

Estos sistemas de riego plantean una gama de situaciones de aforo que agrega variabilidad a la evaluación permitiendo la obtención de conclusiones de carácter más universal.

El proyecto se presentó en el llamado FPTA 2012 siendo aprobado y comenzando su actividad en la temporada de riego 2014/15 y abarcando las zafra 2015/16 y 2016/17 y el inicio de la temporada 2017/18.

El conocimiento generado por el proyecto se transfirió al sector y en particular a técnicos relacionados con el diseño de obras y gestión de sistemas de riego y otros vinculados con el manejo del recurso natural mediante jornadas técnicas, presentación de resultados en jornadas (Bentancor *et al* 2015, 2016 y 2017), seminarios (Bentancor *et al* 2014), congresos nacionales y regionales (Bentancor *et al* 2016) e internacionales (Bentancor *et al* 2015, 2016 y 2017). Se inició además en el marco del proyecto una tesis doctoral.

3 OBJETIVOS

3.1 El objetivo general

El objetivo general del presente estudio consistió en desarrollar una tecnología de telemetría que permita la medición de niveles de agua, caudales y volúmenes de riego en sistemas de riego del país, como herramienta necesaria para mejorar la gestión de los sistemas colectivos y del recurso agua destinada al riego de cultivos.

3.2 Objetivos específicos

En dicho marco se presentan los siguientes objetivos específicos:

- Diseñar limnómetros, caudalímetros y contadores adecuados a las condiciones locales y energéticamente autónomos
- Lograr la transmisión de datos hasta un centro de control en un alojamiento Web que permita el acceso remoto a la información.
- Obtener equipos de medición cuya cuota anual de amortización sea asumible para el costo del servicio de riego del área que controla.
- Promover el conocimiento de esta tecnología mediante una adecuada difusión de los resultados

4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Ubicación geográfica

Las actividades se desarrollaron inicialmente en los sistemas de riego de arroz en la zona del Este en Comisaco S.A. (COMISACO, represa de India Muerta), Coopar S.A.

(COOPAR), Casarone Agroindustrial S.A. (CASARONE), Sociedad Anónima Molinos Arroceros Nacionales (SAMAN), Glencore S.A. (GLENCORE), en Salto, Tobir S.A.

(TOBIR) para cultivos de maíz y soja y en el Sur el CRS de Facultad de Agronomía, con ensayos de riego en pasturas. En 2016 se incorpora sistema de riego en la Colonia España en Bella Unión, Sociedad de Fomento Rural de la Colonia España (SOFORUCE), productores de caña de azúcar bajo riego. En la Figura 4.1 puede verse los sitios de emplazamiento de los equipos de medición

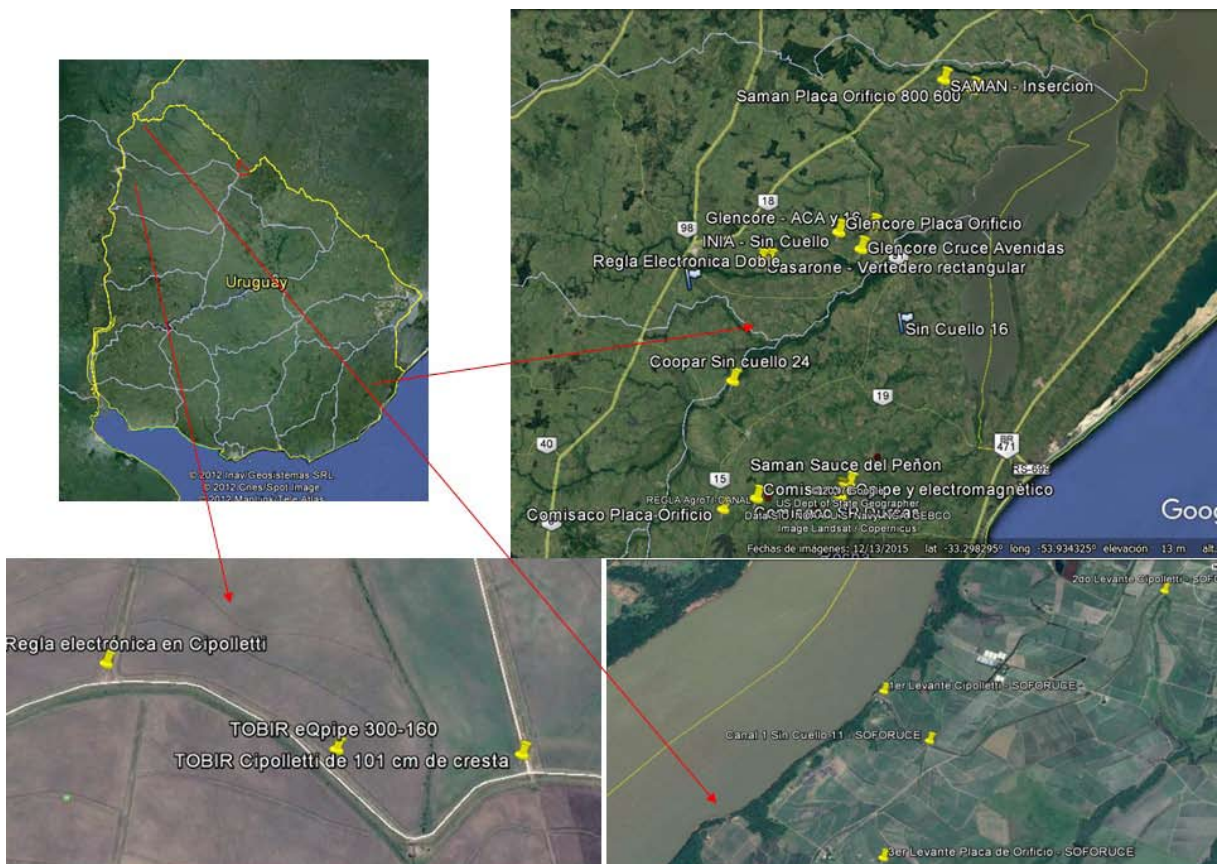


Figura 4-1 Ubicaciones geográficas de los sitios donde se desarrolló el proyecto

Los trabajos se realizaron en las temporadas de riego 2014-15, 2015-16, 2016-17 y parte de la temporada 2017-18. Se relevaron y caracterizaron puntos de medición de caudal y de control de nivel de agua, en sistemas de riego en empresas comerciales de producción de arroz, caña de azúcar y pasturas.

Se evaluaron diferentes combinaciones de estructuras de aforo y dispositivos para la medición de carga, caudal y volumen (según el caso), que resultan más adecuadas a las situaciones de los sistemas de riego. Estas combinaciones, denominadas “equipos”, fueron controlados mediante aforos con molinete (caudales) y reglas de lectura directa (niveles de agua).

De esta manera se buscó abarcar un amplio abanico de modalidades de riego y situaciones de aforo presentes en los sistemas de riego colectivos del país.

4.2 Situaciones de medición

Se intentó abarcar la más amplia gama de situaciones reales existentes en los sistemas de riego multiprediales del país, donde era de interés medir y registrar la evolución de los valores de altura de agua, caudal (y subsecuentemente el volumen transitado por el punto), las cuales incluían:

- 1) Altura de agua en canales.
- 2) Caudal y volumen transitado en régimen de lámina libre:
 - a) tramos de canales principales y secundarios.
 - b) vertederos existentes: triangular, rectangular, Cipolletti.
- 3) Caudal y volumen transitado en conducciones en carga:
 - a) tubos de hormigón de puentes.
 - b) compuertas con tubos de derivación a las chacras.
 - c) tubos de plantas de bombeo.

4.3 Relevamiento de tecnología disponible de medición y transmisión de datos

4.3.1 Estructuras de aforo

Entre los dispositivos o estructuras que pueden utilizarse para medir caudales en sistemas por gravedad, encontramos las siguientes que reseñamos, señalando el tipo de sensor apropiado para la digitalización de la lectura y posterior transmisión:

Flujo en lámina libre

1. Vertederos: triangular, rectangular, Cipolletti, provistos de regla electrónica (Re).
2. Aforador de Cresta Ancha (ACA), provistos de regla electrónica.
3. Aforador sin cuello en todos sus tamaños (24 modelos), pueden ser provistos de regla electrónica y/o Sensores de presión diferencial (hDif).
4. Aforador Parshall: Se ha descartado por su diseño más complicado que los dos anteriores y mayor dificultad para su construcción con las medidas estandarizadas, provistos de Re y hDif.

Los dos primeros tipos miden el caudal a partir de la altura de agua (carga) medida aguas arriba de la estructura.

El Sin Cuello instalado en condiciones de escurrimiento libre puede determinar el caudal a partir de una única lectura de carga aguas arriba, sin embargo puede trabajar en condiciones de sumergencia y calcular el caudal considerando la sumergencia medida con un segundo sensor hDif.

Flujo por tubos en carga

Existen numerosas circunstancias en que es necesario medir el caudal en tubos que trabajan totalmente llenos (en carga). Ejemplo de ello son los tubos de plantas de bombeo, los puentes hechos con tubos, los trasvases de un canal a otro y las compuertas de entrega de agua a las chacras.

Para ello disponemos de varios dispositivos:

1. Órganos deprimógenos
 - a. Tubos Venturi, con sensores hDif
 - b. Placas de Orificio, con sensores hDif
2. Orificios de fondo sumergidos, con sensores hDif
3. Tubos de puentes y pases de agua, con sensores hDif
4. Caudalímetros electromagnéticos
5. Caudalímetros ultrasónicos de efecto Doppler.

Solo se descartó el uso de la tecnología Doppler por tratarse de equipos sumamente costosos que no justificaba su uso en el sector.

4.3.2 Tipos de Sensores

Sensores piezo-resistivos (Re) con salida por variación de voltaje (0 a 5 V) o corriente (4 a 20 mA). Sumergidos son capaces de medir la altura estática de agua (carga) del aforador (ver Figura 4-2 y Figura 4-3)

Sensores electroacústicos (Eco), emisor/receptor de ultrasonido (Figura 4-4).

Al medir el tiempo que demora en recibirse el eco, calcula la distancia desde el sensor al agua y conociendo la distancia del sensor al fondo se obtiene por diferencia

Sensor de presión diferencial (hDif), son sensores piezo-resistivos con tomas de presión de entrada y salida (Figura 4-6 y Figura 4-5). Permiten medir directamente una diferencia de presión entre dos secciones de una conducción.



Figura 4-2 Sensor de carga Acequia Innova



Figura 4-3 Regla electrónica AgroTI



Figura 4-4 Sensor Eco Acequia Innova



Figura 4-5 Placa Orificio con sensor hDif de carga Acequia Innova



Figura 4-6 Sensor hDif Acequia Innova



Figura 4-7 Sensor electromagnético de inserción la velocidad del líquido.

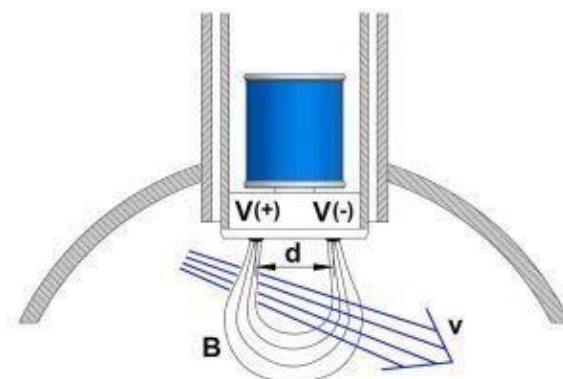


Figura 4-8 Caudalímetro electromagnético

Caudalímetro electromagnético de inserción

Los caudalímetros electromagnéticos (Figura 4-7 y Figura 4-8) están basados en la Ley de Inducción de Faraday y son óptimos para la medición de líquidos en aplicaciones en las que se requiere una baja pérdida de carga y bajo mantenimiento.

El paso de un líquido conductor eléctrico a través de un campo magnético perpendicular al sentido

de circulación del líquido induce una tensión eléctrica V , que es proporcional a

Dos electrodos en contacto con el líquido colocados perpendicularmente al campo magnético captan esta tensión V .

Puede resumirse las combinaciones posibles entre la estructura a medir y el tipo de sensor a utilizar en la Tabla 4-1

Tabla 4-1 Sensores utilizados de acuerdo a la situación de medición y estructura de aforo utilizada

Estructura	Tipo de Sensor
Nivel canal	Regla electrónica o Regla ultrasónica
Aforador de Cresta Ancha ACA	Regla electrónica o Regla ultrasónica
Sin Cuello escurrimiento libre	Regla electrónica o Regla ultrasónica
Sin Cuello sumergido	2 Reglas electrónicas 1 Regla electrónica + Sensor de Presión Diferencial
Venturi (canal y/o bombeo)	Sensor de Presión Diferencial
Placa de Orificio (canal y/o bombeo)	Sensor de Presión Diferencial
Estructura de tubos en carga (puentes, pase de agua)	2 Reglas electrónicas Sensor de Presión Diferencial
Tubo de salida de compuerta a chacra	Caudalímetro electromagnético de inserción
Vertederos	Regla electrónica

4.3.3 Transmisión de datos

La transmisión de datos puede hacerse mediante transmisores de radio o utilizando la red de telefonía móvil.

En caso de que los puntos de medición estuviesen suficientemente cerca (menos de 500 m) y “visibles” entre si, la tecnología Zigbee ofrece muchas ventajas tales como transmisores más baratos y que no requiere contratar líneas con un costo mensual.

No es el caso de los puntos de medición en los sistemas de riego nacionales, que se encuentran demasiado alejados unos de otros, lo que obligaría a potencias de emisión que requieren equipos más potentes y sobre todo un sistema de alimentación mas grande y caro.

Por consiguiente se ha optado por el uso de la red de telefonía móvil (celular) que cubre relativamente bien casi todo el país, aún a riesgo de encontrar algún punto sin suficiente cobertura.

4.4 Estructuras y dispositivos estándar utilizados en el proyecto para el aforo de caudales

Para cubrir esta amplia gama de situaciones, se incluyeron en el estudio las siguientes estructuras:

4.4.1 Aforador Sin Cuello

Ha resultado de una serie de trabajos de Skogerboe, y colaboradores (1973 y 1967). El aforador (Figura 4-9, Figura 4-10 y Figura 4-11), ofrece ventajas sobre el Parshall, tales como

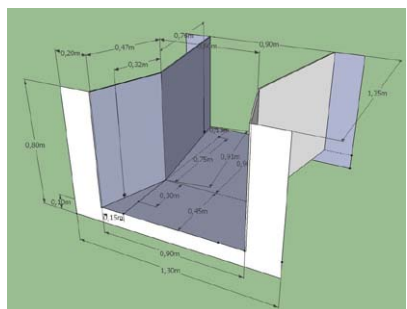


Figura 4-9 Dimensiones de aforador Sin Cuello



Figura 4-10 Sin Cuello 24



Figura 4-11 Sin Cuello 24 instalado

Tabla 4-2 Características de los Aforadores Sin Cuello usados en el proyecto

Tamaño	Formula para escurrimiento libre	Q min l/s	Q máx l/s	Ancho garganta m	Largo aforador m
11	$Q_{l/s} = 0,4873 h_{cm}^{1,6999}$	3.2	747	0.45	1.35
12	$Q_{l/s} = 0,6734 h_{cm}^{1,6923}$	4.3	893	0.6	1.35
16	$Q_{l/s} = 1,0672 h_{cm}^{1,6219}$	6.3	1.050	0.8	1.80
21	$Q_{l/s} = 0,4097 h_{cm}^{1,5885}$	2.4	350	0.3	2.70
24	$Q_{l/s} = 2,0031 h_{cm}^{1,5403}$	10.9	2.400	1.20	2.70

una fácil construcción e instalación con mayor economía. Permite su utilización en condiciones de sumergencia midiendo, además de la carga en la entrada, la diferencia de nivel aguas arriba/aguas abajo (Temeepattanapongsa, 2012).

En el proyecto se han utilizado los siguientes tamaños estandarizados: 11, 12, 16, 21 y 24 (Tabla 4-2)

4.4.2 Aforador ACA

De acuerdo a Bos, M.G. *et al* (1986), esta familia de aforadores tiene, sobre todos los demás aforadores y vertederos conocidos, las siguientes ventajas principales:

- a) Con la condición que el régimen crítico se produzca en la garganta, será posible calcular una tabla de valores de los caudales, con un error menor del 2%, para cualquier combinación de garganta prismática y un canal de aproximación de forma arbitraria.
- b) La sección de la garganta, normal a la dirección de la corriente, puede diseñarse de tal manera que sea capaz de medir con exactitud la gama completa de caudales previstos.
- c) La pérdida de carga (diferencia entre el nivel de agua, aguas arriba y aguas debajo de la estructura) que ocasiona el aforador, es mínima.
- d) Esta pérdida de carga necesaria puede estimarse con suficiente exactitud para cualquiera de estas obras, instalada sobre cualquier canal.
- e) Debido a su tramo de transición, gradualmente convergente, estos medidores tienen pocos problemas por causa de los arrastres de materiales flotantes.

f) Las observaciones de campo han demostrado que estas obras pueden diseñarse para que los sedimentos transportados pasen por canales en régimen subcrítico.

g) Dado que el fondo de la contracción es horizontal en la dirección de la corriente, se puede confeccionar un cuadro de valores basado en las dimensiones reales, posteriores a la construcción. Esto permite realizar una tabla exacta, que compense las desviaciones de la obra en relación con las dimensiones proyectadas. Igualmente permite, en caso necesario, variar la forma de la garganta.

h) En condiciones hidráulicas y del entorno similares estos vertederos y aforadores son, en general, el tipo más barato de construcción para medir caudales con exactitud

En el presente trabajo se diseñó un aforador en chapa trapezoidal con un ancho de fondo de 0.70 m y una inclinación de taludes de 1:1. (Figura 4-12)

La ecuación de caudal que resulta de este diseño es la siguiente:

$$Q_{l/s} = 1,3897 * H_{cm}^{1,6443}$$

donde:

Ha es la carga de agua sobre la cresta del aforador.

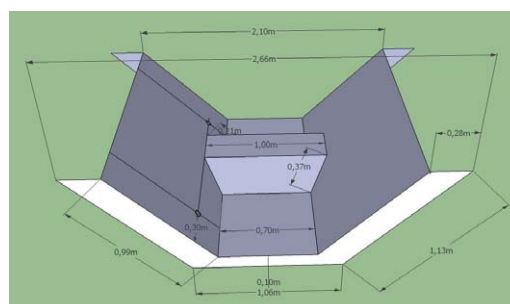


Figura 4-12 Dimensiones de aforador ACA



Figura 4-13 Izquierda, aforador ACA instrumentado con ESPAY-gprs con sensor piezo-resistivo. Derecha, aforador sin cuello N° 24 instrumentado con ESPAY-gprs con sensor electroacústico (Eco ultrasonido)

La ecuación se obtuvo por regresión a partir de los resultados arrojados por el programa informático desarrollados por los autores del diseño, Bos, M.G. *et al* (1986).

4.4.3 Vertedero triangular

Los vertederos son estructuras que se han utilizado ampliamente para la medición del caudal en conducciones de lámina libre por ser estructuras de muy fácil construcción y de bajo costo.

La fórmula general del Vertedero triangular de 90°, de pared delgada, escurrimiento libre y contracción completa, es:

$$Q \text{ l/s} = 0,0137h_{cm}^{2,5}$$

Tienen el inconveniente de provocar pérdidas de carga mayores que los aforadores de flujo crítico.

Sin embargo, la existencia de estas estructuras en los sistemas, propició su inclusión en el presente trabajo sin incurrir en los gastos de construcción.

4.4.4 Vertedero rectangular

Los vertederos evaluados han sido todos con escurrimiento libre y se instrumentaron con reglas electrónicas los tipos triangular (Figura 4-15), rectangular (Figura 4-15) y trapezoidal o Cipolletti (Figura 4-16).

En el caso del vertedero rectangular sin contracción lateral, la fórmula utilizada fue:

$$Q \text{ (l/s)} = \epsilon \times \frac{2}{3} \times (2g)^{0.5} \times b \times h^{3/2} \times 1000$$

donde:

- epsilon (coef. adimensional) = 0.75 +0.1 (e/h)
- g: 9,8 m/s²
- b: 3,85 m (ancho vertedero)
- h: altura de agua sobre cresta (m)
- e: espesor de vertedero (m)



Figura 4-14 Vertedero triangular



Figura 4-15 Vertedero rectangular



Figura 4-16 Vertedero Cipolletti.TOBIR



Figura 4-17 eQpipe 300-125 Acequia Innova

Tabla 4-3 TubosVenturi (eQ-pipe) del Proyecto

Diam. Tubo mm	Diam garganta mm	Formula de caudal	Caudal mínimo l/s	Caudal máximo l/s
500	350	$Q_{l/s} = 48.154 hDif^{0.5}$	83.5	264
300	160	$Q_{l/s} = 8.1402 hDif^{0.5}$	14.1	45
300	125	$Q_{l/s} = 5.4368 hDif^{0.5}$	7.7	30

4.4.5 Vertedero Cipolletti

En la Figura 4-16 se muestra el tipo de estructura de derivación y aforo existente en TOBIR.

La formula general del Cipolletti de pared delgada, escurrimiento libre y contracción completa, es:

$$Q \text{ m}^3/\text{s} = 0.42 * L_m * h_m (2*g*h_m)^{0.5}$$

4.4.6 Tubo Venturi (eQpipe)

Dentro de los dispositivos utilizados para tubos en carga, se incluyeron tubos venturi (Figura 4-17) de tres dimensiones (AENOR, 2003 y UNIT 1991). Los caudales máximos que se muestran en la Tabla 4-3 corresponden a una pérdida de carga máxima admisible que se ha fijado en 30 cm de columna de agua considerando la disponibilidad de carga en los sistemas de riego por gravedad.

4.4.7 Placa de orificio

Otro tipo de órgano deprimógeno utilizado fueron las placas de orificio (AENOR 2003, parte 1- 2 y UNIT 1991) (Figura 4-18 y Figura 4-19). En estos así como en los venturis se mide la depresión que provocan en el flujo al pasar por la sección reducida.



Figura 4-18 Placa orificio 110

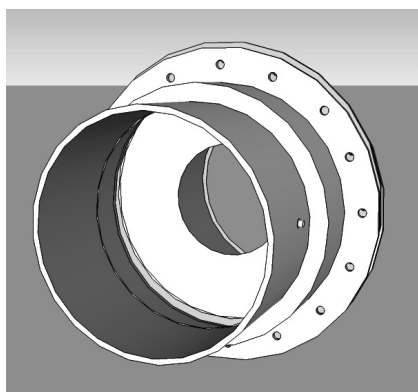


Figura 4-19 Placa orificio

Tabla 4-4 Placas de Orificio evaluadas en el proyecto. Los caudales mínimos corresponden a una presión diferencial de 3 cm que son capaces de leer los sensores utilizados. El caudal máximo se ajusta a la carga disponible en cada sitio

Diam. Tubo mm	Diam. Placa mm	Formula de caudal	Carga disponible cm	Caudal mínimo l/s	Caudal máximo l/s
800	600	$Q \text{ l/s} = 159,9 hDif_{cm}^{0.5}$	100	275	1.500
600	540	$Q \text{ l/s} = 147,43 hDif_{cm}^{0.5}$	70	250	770
400	280	$Q \text{ l/s} = 22,118 hDif_{cm}^{0.5}$	20	35	100
315	208	$Q \text{ l/s} = 15,068 hDif_{cm}^{0.5}$	37	26	92
315	208	$Q \text{ l/s} = 15,068 hDif_{cm}^{0.5}$	100	26	151
110	70	$Q \text{ l/s} = 1,63 hDif_{cm}^{0.5}$	70	2,8	13,6

Para medir esta depresión se han utilizado sensores de presión diferencial de tipo piezo-resistivo.

Tanto los venturi como las placas de orificio tienen la limitante del ajustado rango de caudales que son capaces de medir (provocando una pérdida de carga razonable). En tal sentido, se destaca la mayor eficiencia de los venturi frente a las placas de orificio.

En contraposición, las placas de orificio son mucho más baratas y fáciles de construir.

Las dimensiones de las placas de orificio utilizadas en el presente trabajo se presentan en la Tabla 4-4

Además de su uso en tuberías en carga tales como la salida de una presa o de una bomba, se han evaluado estos dispositivos directamente en canales de riego, dentro de un tabique transversal.

4.4.8 Aforador electromagnético de inserción

Este tipo de aforador (Figura 4-20) mide la inducción de una corriente eléctrica que provoca el flujo de agua al atravesar un campo magnético. Se han evaluado en tubos de entrega de agua a las parcelas.

Se ha utilizado este aforador en tubos de diámetro 500mm, 400 mm y 315 mm(PVC).

4.5 Fabricación local de estructuras de aforo

Para los fines del proyecto se diseñaron y fabricaron localmente algunas de las estructuras de aforo tales como los aforadores ACA, Sin cuello N° 11, 12, 16 y 24; De igual manera se fabricaron placas de orificio para tubos de 110 mm, 315 mm, 400 mm 600mm y 800 mm.

De esta manera se intenta reducir los costos y la dependencia de equipamiento importado, así como también adquirir experiencia y ajustar el diseño y los materiales considerando las condiciones ambientales locales y forma de instalación.

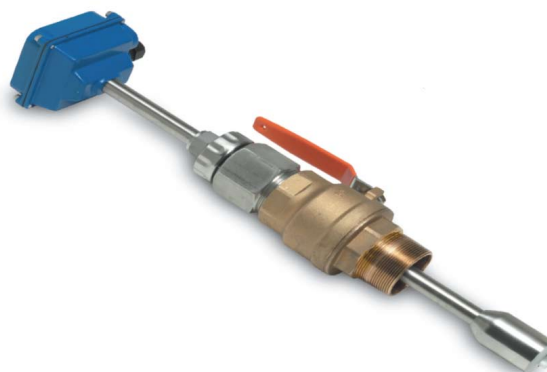


Figura 4-20 Sensor Electromagnético de inserción



Figura 4-26 Placa de Orificio 315 mm SOFORUCE



Figura 4-27 Fabricación de Placa de Orificio en chapa



Figura 4-28 Placa de Orificio bombeo Glencore



Figura 4-29 Placa Orificio, 3er Levante SOFORUCE

4.6 Estructuras no estándares calibradas

4.6.1 Tubos de derivación, obras de arte, etc.

En los sistemas de riego existen estructuras que, debidamente calibradas, pueden utilizarse para el aforo de caudales. Tal es el caso de tubos con los que se construyen puentes, sifones, derivación de agua entre canales, etc. Tiene la ventaja que ya forman parte de la infraestructura de conducción y su uso no implica ningún gasto adicional, sino la obtención de su coeficiente de descarga y la instrumentación para el registro electrónico. Asimismo, su uso con fines hidrométricos no genera una pérdida de carga adicional ya que su inclusión en el diseño de la obra de conducción ya la contempla.

Usualmente se trata de tubos que trabajan en carga (sumergidos) y que requieren la medición de la diferencia de nivel existente entre la sección aguas arriba y la aguas abajo. Para este caso, son especialmente útiles los sensores de presión diferencial. La calibración mediante aforos permitió obtener ecuaciones de descarga que responden usualmente a la siguiente fórmula general:

$$Q = K * hDif^n$$

donde:

Q = caudal
 K = coeficiente de descarga
 hDif: diferencia de carga o nivel del agua entre aguas arriba y aguas debajo de la estructura
 n: exponente (usualmente 0,5 para tubos)



Figura 4-29. Estructura del cruce en Ruta 14

Las estructuras calibradas corresponden a la existente en:

- Canal Este de COMISACO en su cruce bajo la Ruta 14 (escuela N° 105). Se trata de una estructura compleja compuesta por un vertedero rectangular afectado por un sifón invertido próximo (aguas abajo), con descarga libre.
- Doble tubo de hormigón de 1 m de diámetro de un puente de 13.7 m de longitud, situado próximo a un bombeo, en el sistema de riego de Glencore. Los tubos trabajan sumergidos.
- Canal maestro de la presa Corrales de la empresa CASARONE, 7 caños de 0.8m de diámetro trabajando sumergidos

4.6.2 Aforo con orificios sumergidos

En el sistema de riego de la empresa TOBIR, la progresiva implantación del riego por mangas provoca la sumergencia de los aforadores Cipolletti instalados, por lo que se incluyó el aforo mediante orificios sumergidos (Figura 4-30 y Figura 4-31), aprovechando la estructura de cámaras de derivación existentes en el sistema. En dichas cámaras se instala una compuerta fija que deja un orificio de dimensiones conocidas que trabaja siempre sumergido y con contracción incompleta (sin contracción lateral, ni de fondo).

Mediante sensores de presión diferencial se mide la diferencia de carga para utilizarla en el cálculo del caudal derivado.

TOBIR: orificio de 0,60 x 0,10

Formula general $Q = K h^{0.5}$

$$Q \text{ l/s} = 18,408 \text{ hcm}^{0.5}$$

La pérdida de carga es la diferencia de carga entre aguas arriba y aguas abajo.

Esto limita el rango de caudales (Tabla 4-5)

Tabla 4-5 Rango de caudales orificio de fondo TOBIR

Diferencia de carga cm	Caudal l/s
3	32
30	100

4.7 Calibración y control de caudales

Todas las estructuras fueron controladas mediante aforos realizados con correntómetros tipo hélice. Para estandarizar los aforos, los equipos de este tipo que poseían las empresas participantes en el proyecto fueron todos calibrados en 2014 (al inicio del proyecto) en el canal hidrométrico de flujo laminar del I.M.F.I.A. de la Facultad de Ingeniería (Figura 4-32).



Figura 4-30 Orificio de Fondo



Figura 4-31 Orificio de Fondo en TOBIR



Figura 4-32 IMFIA Calibración correntómetros en canal de flujo laminar

4.8 Monitoreo de niveles en la red de canales

Además de la medición del caudal y la contabilización del volumen transitado por los canales o entregados en chacra, resulta de interés conocer la variación de los niveles de agua en los canales para confirmar la efectividad de las maniobras y alertar en caso de anomalía.

La modelización de un ramal del sistema de India Muerta se realiza con el objetivo de analizar

escenarios de gestión del agua a partir de simulaciones del comportamiento del sistema frente a las diferentes maniobras de operación.

Con tal fin se cuentan con reglas o escalas limnimétricas en puntos destacados de la red de conducción Fig. 2-31. Estas reglas de lectura directa se controlan mediante recorrida del sistema y registro manual de las alturas de agua. En el presente proyecto se instalaron reglas electrónicas que permitan la lectura telemática de los niveles con alta frecuencia y el registro de los mismos

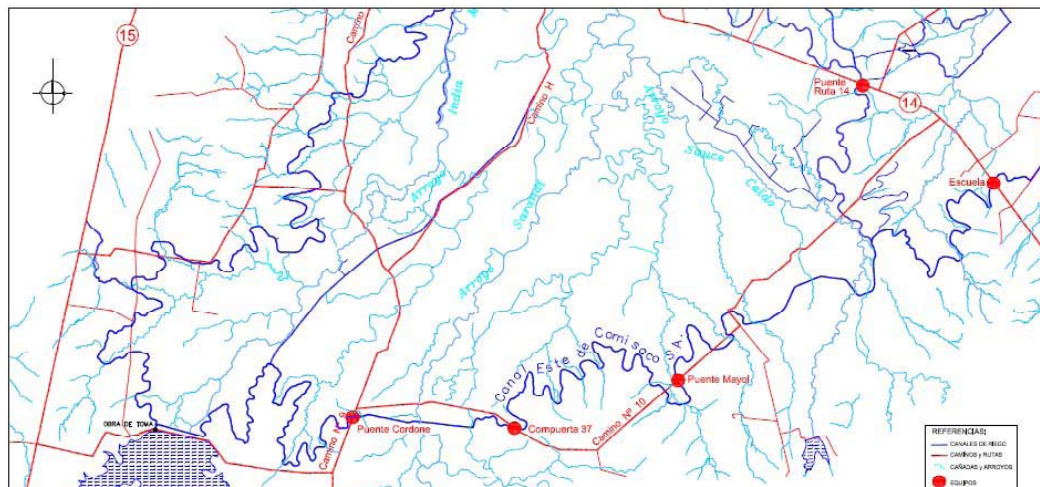


Figura 4-33 Plano de la ubicación de las reglas en el sistema India Muerta

(Figura 4-32). Asimismo se implementó un sistema de alarmas mediante mensajes sms para niveles máximos y mínimos, a fin de detectar en tiempo real cualquier anomalía en la red de conducción (y bombeos).

4.9 Equipamiento electrónico de medición, registro y transmisión de datos

4.9.1 Sensores

Los equipamientos electrónicos para la instrumentación de los diferentes dispositivos de aforo fueron suministrados por la firma Acequia Innova (fabricante Español) y la firma AgroTI (proveedor de plaza).

Esta tecnología incluyó elementos sensibles (sensores) conectados a equipos de medición y registro que incorporan módems con tecnología celular para la transmisión de datos y envío de mensajes de texto (sms).

Se utilizaron sensores piezo-resistivos capaces de detectar presiones estáticas (reglas electrónicas) o diferencias de presión (sensores de presión diferencial hDif), distanciómetros por eco de ultrasonido (electroacústicos o Eco) que permiten medir la altura de agua y medidores de velocidad de flujo de agua basados en la inducción de corriente eléctrica al circular el agua por un de un campo magnético que generan (caudalímetros electromagnéticos).

De acuerdo al tipo de sensor se distinguen los siguientes equipamientos:

- Regla electrónica: sensor de profundidad de agua de tipo piezo-resistivo
- Regla doble: utiliza dos sensores de profundidad de agua piezo-resistivos
- Regla Duo: un sensor de profundidad y otro de presión diferencial
- Regla ultrasónica: sensor de altura de agua electro-acústico (eco ultrasónico)
- Sensor de presión diferencial: sensor piezo-resistivo de dos entradas
- Caudalímetro electromagnético de inserción.

Se presenta en la siguiente tabla la denominación o modelo de equipo que controlan los sensores reseñados, de cada empresa suministradora

4.9.2 Equipos de registro y transmisión de datos

Todos los equipamientos eran eléctricamente autónomos, contando con un sistema de alimentación basado en paneles solares y baterías, salvo el instalado en INIA-33 Paso de la Laguna donde se contaba con red eléctrica.

Las dimensiones y potencias de los sistemas de alimentación se adecuaron a los consumos de los equipos, siendo el electromagnético el de mayor demanda.

Tabla 4-6 Denominación de equipos utilizados en el proyecto

Fabricante/Proveedor	Sensores	Modelo de registrador/transmisor	Abreviatura
AgroTI	Regla electrónica	Regla electrónica	RE
Agroti	Regla doble	Regla doble	R2
Darhor/AgroTI	Electromagnético	Darhor	Darhor
Seametric/Alton	Electromagnético	Seametric	Seametric
Acequia Innova	Regla electrónica	ESPAY-gprs Ha	ESPAY Ha
Acequia Innova	Sensor presión diferencial	ESPAY-gprs hDif	ESPAY hDif
Acequia Innova	Regla duo (Ha y hDif)	ESPAY-gprs Duo	ESPAY Duo
Acequia Innova	Regla ultrasónica	ESPAY-gprs Eco	ESPAY Eco

RE regla electrónica simple.

Este equipo posee un módem mediante el que se mantiene conectado permanentemente a una red privada virtual propiedad de AgroTi. Lee un sensor piezo-resistivo cuando se le requiere desde la central, transmitiendo la lectura la cual se registra en una base de datos en el alojamiento Web. Los cálculos de caudal y acumulación de volumen se realizan en el servidor. No posee display para la visualización de los datos leídos en el terreno. Es necesario conectarse a Internet para obtener la lectura de carga y caudal.

R2 regla electrónica doble

Este equipo está compuesto por dos RE pero que aprovechan el mismo sistema de alimentación y gabinete para instalación. Manejan en forma independiente cada una su sensor y envían la información por cada módem.

Caudalímetro de inserción Darhor

Este equipo se importó de China a la empresa Darhor Technology Co Limited y fue instrumentado para que transmitiera por la empresa AgroTi. Se destaca que está encendido permanentemente y tiene un display donde realizar los ajustes necesarios y consultar la lectura instantánea. El sensor se inserta en el tubo de conducción de agua de forma que los electrodos queden en dirección perpendicular al flujo. La profundidad a la que debe insertarse el tubo es el 10% del diámetro interior de la tubería donde se instala y el diámetro mínimo de la tubería debe ser 200 mm. Posee un display donde puede leerse el valor de caudal circulante y el volumen acumulado. Se aconseja instalarlo a 45° o 90° de la vertical desaconsejándose su colocación en la vertical sobre el tubo (por burbujas) o en el fondo por posible acumulación de sedimentos. Este tipo de caudalímetro tiene la ventaja de que es capaz de medir velocidades muy bajas (caudales muy bajos) por lo que el rango de aplicaciones es muy amplio. También está conectado en línea por medio de la red privada virtual y a su solicitud envía el valor de caudal leído.

Caudalímetro de inserción Seametric

Este caudalímetro fue comprado a la empresa Alton importador de plaza y la empresa AgroTi intentó instrumentarlo para que transmitiera

los datos y no fue posible. Aunque en teoría es posible conectarlo mediante un módem a la red privada virtual, la empresa fabricante no ha accedido a suministrar la información técnica necesaria como para realizar esta conexión. En consecuencia, se ha comportado como un equipo de lectura directa. Las características son que mide permanentemente la velocidad de flujo dentro del tubo y calcula el caudal circulante.

ESPAY-gprs

Este equipamiento de la firma Acequia Innova puede controlar hasta dos sensores piezoresistivos o bien un sensor electroacústico (eco de Ultrasonido).

De acuerdo a la programación utilizada puede comportarse como una regla electrónica simple, medidor de presión diferencial, simultáneamente controlar un sensor piezoresistivo de cada tipo o bien un sensor Eco.

Como regla simple se aplica a la medición de carga de aforadores y vertederos y el control de nivel de depósitos y canales).

Como regla Eco también se aplica a las mismas situaciones, siendo de mayor precisión que los piezo-resistivos (ver Resultados y Discusión).

Como medidor de presión diferencial o diferencia de nivel se aplica a la medición de placas de orificio, tubos venturi, orificios sumergidos y estructuras de caños calibrados.

La regla dual controla un sensor de carga y otro de presión diferencial, siendo especialmente aplicables a los aforadores Sin Cuello donde ocurren situaciones de sumergencia y debe ajustarse el cálculo de caudal.

El ESPAY-gprs lee el/los sensores cada 10 segundos, calcula el caudal, acumula el volumen y registra a intervalos configurables (usualmente una hora) el valor en un datalogger que lleva incorporado. Este datalogger tiene memoria circular con capacidad para 3120 registros, que a la frecuencia antedicha alcanza para almacenar 4 meses de datos.

Posee un módem que admite tarjetas sim estándar que le permite conectarse mediante la red gprs a la bases de datos donde se almacenan en duplicado los registros de las lecturas. Dicha

información también es almacenada como un archivo de texto plano en la memoria flash del módem y simultáneamente enviada por email a la firma proveedora.

El módem también usa la red gsm para la recepción y envío de sms con información bidireccional (ver detalles de capacidades en Resultados y Discusión).

4.10 Instalaciones de estaciones de aforo por temporada de riego

En las diferentes zafras se instalaron las siguientes combinaciones de estructuras de aforo y equipos de medición con sus correspondientes sensores (Tabla 4-7, Tabla 4-8, Tabla 4-9 y Tabla 4-10)

Tabla 4-7 Situaciones de instalación y equipos 2014-15

EMPRESAS	SITUACION DE AFORO	ESTRUCTURAS/ AFORADORES	EQUIPO/ SENSORES
INIA 33	Canal salida de bombeo	Sin Cuello 21	ESPAY Duo
	Canal chacra (140-160ha)	Sin Cuello 16	RE
COOPAR	Canal derivador salida de bombeo	Sin Cuello 24	ESPAY Duo
	Caño	Tubo de aforo	Darhor
SAMAN	Canal secundario	ACA Trapezoidal 70 cm	RE
	3º levante trasvase canales caño 800 mm	Placa Orificio 800/600	ESPAY hDif
	Canal chacra (240ha)	Tubo de aforo	Darhor
CASARONE	Conexión 700l caño lleno	Tubo de aforo	Seametric
	Vertedero rectangular	Vertedero Rectangular	RE
	Canal	Tubos calibrados	R2
GLENCORE	Canal chacra (105 ha; max 400l/s)	Sin Cuello 16	ESPAY Duo
	Canal max. 720l/s	ACA Trapezoidal 70 cm	RE
	Cruce de calle 2 caños hormigón	Tubos calibrados	ESPAY hDif
COMISACO	Chacra 86ha	Tubo de aforo	Seametric
	Chacra 50ha	Venturi eQpipe 500/350	ESPAY hDif
	Canal de riego control de nivel	Estructura	ESPAY Ha
	Entrada a chacra (38 ha)	Placa Orificio 400/280	ESPAY hDif
	Canal de riego control de nivel	Canal	RE
	Canal de riego control de nivel	Canal	RE
	Canal de riego control de nivel	Canal	RE
TOBIR	Salida compuerta Chacra sorgo	Orificio de Fondo	ESPAY hDif
	Salida a Chacra	Vertedero Cipolletti	RE
	Salida ahogada a Chacra sorgo	Venturi eQpipe 300/160	ESPAY hDif
F.Agro-CRS	Salida represa Aforador triangular (Cultivos)	Vertedero Triangular	ESPAY Ha
	Sifon represa Riego superficial pasturas	Venturi eQpipe 300/125	ESPAY hDif

Tabla 4-8 Situaciones de instalación y equipos 2015-16

EMPRESAS	SITUACION DE AFORO	ESTRUCTURAS/ AFORADORES	EQUIPO/ SENSORES
INIA 33	Canal salida de bombeo (33 ha)	Sin Cuello 21	ESPAY Duo
	Canal chacra (140-160ha)	Sin Cuello 16	RE
COOPAR	Canal derivador salida de bombeo	Sin Cuello 24	ESPAY Duo
	Caño	Tubo de aforo	Darhor
SAMAN	Canal secundario	ACA Trapezoidal 70 cm	RE
	3° levante trasvase canales caño 800 mm	Placa Orificio 800/600	ESPAY hDif
	Canal chacra (240ha)	Tubo de aforo	Darhor
CASARONE	Conexión 700 caño lleno	Tubo de aforo	Seametric
	Canal	Vertedero Rectangular	RE
	Puente de tubos en canal	Tubos calibrados	R2
GLENCORE	Canal max 720 l/s Sin	Cuello 16	ESPAY Ha
	Canal max. 720l/s	ACA Trapezoidal 70 cm	RE
	Chacra (128 ha)	Placa Orificio 600/540	ESPAY hDif
	Cruce avenida 2 caños hormigón	Tubos calibrados	ESPAY hDif
COMISACO	Chacra (86ha)	Tubo de aforo	Seametric
	Chacra (50ha)	Venturi eQpipe 500/350	ESPAY hDif
	Canal de riego control de nivel	Estructura	ESPAY Ha
	Entrada a chacra 40ha	Placa Orificio 400/280	ESPAY hDif
	Canal de riego control de nivel	Canal	RE
	Canal de riego control de nivel	Canal	RE
	Canal de riego control de nivel	Canal	RE
TOBIR	Salida a Chacra sorgo (22 ha)	Vertedero Cipolletti	ESPAY Ha
	Swalida a Chacra ertedero	Cipolletti	RE
	Salida a Chacra soja (8 ha)	Venturi eQpipe 300/160	ESPAY hDif
F.Agro-CRS	Salida represa (Cultivos)	Vertedero Triangular	ESPAY Ha
	Sifon represa riego pasturas	Venturi eQpipe 300/125	ESPAY hDif

Tabla 4-9 Situaciones de instalación y equipos 2016-17

EMPRESAS	SITUACION DE AFORO	ESTRUCTURAS/ AFORADORES	EQUIPO/ SENSORES
INIA 33	Canal salida de bombeo (33 ha)	Sin Cuello 21	ESPAY Duo
	Canal (33 ha)	Sin Cuello 16	RE
COOPAR	Canal salida de bombeo (750 ha)	Sin Cuello 24	ESPAY Eco
	Caño en carga	Tubo de aforo	Darhor
SAMAN	Canal auxiliar del 3er Levante	ACA Trapezoidal 70 cm	ESPAY Ha
	Caño en carga derivacion de canales	Placa Orificio 800/600	ESPAY hDif
	Caño en carga (310 ha)	Tubo de aforo	Darhor
CASARONE	Caño en carga	Tubo de aforo	Seametric
	Canal	Vertedero Rectangular	RE
	Caño puente	Tubos calibrados	R2
GLENCORE	Bombeo (132,5 ha)	Placa Orificio 600/540	ESPAY hDif
	Caños en puente cruce avenida	Tubos calibrados	ESPAY hDif
COMISACO	Chacra 210ha	Tubo de aforo	Seametric
		Venturi eQpipe 500/350	ESPAY hDif
	Estructura cruce de R 14	Estructura	ESPAY Ha
		Estructura	ESPAY Eco
	Tubo derivación a canal chacra (23ha)	Placa Orificio 400/280	ESPAY hDif
	Canal de riego- control de nivel		RE
	Canal de riego- control de nivel		RE
TOBIR	Salida a chacra (22 ha)	Vertedero Cipolletti	ESPAY Ha
	Salida a chacra	Vertedero Cipolletti	RE
	Salida a chacra (8 ha)	Venturi eQpipe 300/160	ESPAY hDif
F.Agro-CRS	Canal salida de represa	Vertedero Triangular	ESPAY Ha
	Tubo sifon de represa	Venturi eQpipe 300/125	ESPAY hDif
SOFORUCE	Canal principal 1er Levante	Vertedero Cipolletti	ESPAY Ha
	Cámara salida 2do Levante	Vertedero Cipolletti	ESPAY Ha
	Tubo de bombeo 3er Levante	Placa Orificio 315/208	ESPAY hDif
	Canal secundario	Sin Cuello 11	ESPAY Ha
	Tubo salida de depósito a mangas	Placa Orificio 315/208	ESPAY hDif

Tabla 4-10 Situaciones de instalación y equipos 2017-18

EMPRESAS	SITUACION DE AFORO	ESTRUCTURAS/ AFORADORES	EQUIPO/ SENSORES
INIA 33	Canal salida de bombeo	Sin Cuello 21	ESPAY Ha
	Chacra 140-160ha	ACA Trapezoidal 70cm	ESPAY Ha
COOPAR	Canal derivador 756ha	Sin Cuello 24	ESPAY Eco
	Caño salida de chacra	Tubo de aforo	Darhor
SAMAN	Canal auxiliar del 3er levante	ACA Trapezoidal 70cm	ESPAY Ha
	3° levante caño 800 mm	Placa Orificio 800/600	ESPAY hDif
	Canal chacra 310ha	Tubo de aforo	Darhor
CASARONE	Conexión caño lleno	Tubo de aforo	Seametric
	Vertedero rectangular	Vertedero Rectangular	RE
	Canal	Tubos calibrados	R2
GLENCORE	Chacra 128 ha	Placa Orificio 600/540	ESPAY hDif
	Chacra	Sin Cuello 16	RE
	2 caños llenos 1600/2000l/s	Estructura	ESPAY hDif
COMISACO	Chacra 210ha	Tubo de aforo	Seametric
	Venturi eQpipe 500/350	ESPAY hDif	
	Canal de riego control de nivel (Pu.Cor)	Canal	ESPAY Ha
	Canal de riego control de nivel (Escuela)	Estructura	ESPAY Eco
	Entrada a chacra 23ha	Placa Orificio 400/280	ESPAY hDif
	Canal de riego control de nivel (ruta 14)	Canal	ESPAY Ha
	Canal control de nivel(compuer. 37)	Canal	ESPAY Ha
	Canal de riego control de nivel (Mayol)	Canal	ESPAY Ha
	Canal de riego control de nivel	Canal	RE
	Canal de riego control de nivel	Canal	ESPAY hDif
Canal de riego control de nivel	Canal	ESPAY Ha	
SOFORUCE	Primer levante, Cipolletti	Vertedero Cipolletti	ESPAY Ha
	2° levante, Cipolletti	Vertedero Cipolletti	ESPAY Ha
	3° levante	Placa Orificio 315/208	ESPAY hDif
	Canal 1	Sin Cuello 11	ESPAY Duo
	Placa Orificio, riego p/mangas	Placa Orificio 315/208	ESPAY hDif

4.11 Plataforma Web y software de acceso remoto

Para centralizar la información de las medidas de los equipos y permitir el acceso remoto a la misma y otras interacciones con el equipamiento de campo se entendió que lo más adecuado era la implementación de una base de datos instalada en un alojamiento Web.

4.11.1 Estrategia general de medición y transmisión de datos

Cabe reseñar que ambas empresas proveedoras de equipamientos tenían estrategias de transmisión de datos y alojamiento adaptadas a las características de los respectivos equipamientos electrónicos.

Es así que la firma AgroTi realiza la medición mediante módems conectados a una Red Privada Virtual. Los módems están permanentemente online para recibir la orden de lectura y transmisión de datos con una periodicidad ajustable de acuerdo a las necesidades. En el caso de las reglas electrónicas, estas miden una altura de agua y ese es el dato que se transmite en cada petición.



Figura 4-34 Panel solar de regla electrónica de AgroTi

Posteriormente, a partir de esa carga instantánea de agua se calcula el caudal instantáneo del aforador o estructura de que se trate, a partir de su ecuación de descarga. Este caudal puede ser luego acumulado obteniéndose el volumen transitado a partir del tiempo transcurrido entre lecturas. Estas operaciones se realizan en el servidor.

Los registros son enviados cada vez que se leen y se graban en una base de datos para desde allí ser accedidos por Internet.

El sistema cuenta con un sistema de alimentación basado en un panel fotovoltaico de 20 watts montado en un mástil y una batería 12 Voltios y 12 Ah, con capacidad como para mantener los modems online (Figura 4-34).

La firma Acequia innova utiliza equipos medidores inteligentes que miden la carga de agua cada 10 segundos, calculan el caudal en base a la fórmula de descarga con que se han configurado, el volumen parcial transitado en esos 10 segundos, el cual se va acumulando y es grabado (a una frecuencia configurable, usualmente una hora) en un datalogger que lleva incorporado con capacidad para 3200 registros. Estos dispositivos poseen una pantalla y una botonera para visualizar directamente los valores leídos de carga, caudal instantáneo calculado y volumen acumulado hasta el momento. Asimismo permiten, en forma directa, modificar la frecuencia de grabación, ajustar la hora del reloj interno, y realizar la descarga de datos del datalogger mediante un cable serie a un PC portátil.

Los registros, además de guardarse localmente en el datalogger, se guardan como archivo de texto plano en la memoria flash del módem. Este archivo es subido Figura 4-34 Panel solar de regla electrónica de AgroTi periódicamente (cada 1-2 horas) a Internet para cargar la base de datos de Acequia Innova y además es enviado vía email en cada oportunidad, lo que proporciona cuatro áreas de almacenamiento de la información ubicadas en equipos independientes, asegurando la conservación de los datos.

Es posible configurar la frecuencia a la que el equipo transmite los registros a la base de datos propia.

Para unificar ambas bases de datos, en el marco del proyecto se ha realizado una programación para la transferencia de los datos de la base de datos de Acequia Innova a la implementada en el marco del proyecto en el alojamiento Web de AgroTi.



Figura 4-35 Gabinete con Panel solar integrado de Acequia Innova

Dado que los equipos de Acequia Innova permiten recibir ordenes mediante sms o bien mediante códigos introducidos en el registro de configuración de cada equipo, a base de datos, encienden el módem a intervalos regulares para atender esas demandas y responder a las mismas.

Esta estrategia de encendido intermitente de los módems se ha adoptado para lograr una reducción muy importante del consumo eléctrico en aras de mantener un sistema eléctrico de mínimas dimensiones. La pequeña placa solar de 10 x 15 cm (6.5-8.5 V, 300 mA) queda montada en el interior del gabinete metálico que posee una ventana superior, y abastece una batería sin mantenimiento de 6 voltios y 4 Ah. Todo el equipamiento queda unificado y protegido dentro de una caja metálica con cerradura.

Con esto se reduce también la incidencia de robo y vandalismo al no quedar expuestos elementos atractivos como un panel solar de dimensiones.

4.11.2 Desarrollo de página Web

El proyecto financió la confección de una página web para acceder y visualizar la información de todos los equipos del proyecto.

Las empresas acceden al servicio a través de un usuario y una contraseña.

4.11.3 Programa de interfase para control remoto de equipos de Acequia Innova

Los equipos de esta empresa cuentan con un software propio (software libre) que permite no solo acceder a los datos históricos sino

también modificar todos los parámetros de su configuración, los más importantes de los cuales citamos a continuación:

- Calibración del/de los sensor/es.
- Ajuste del cero de medición por si el sensor queda instalado desplazado.
- Fórmula de caudal.
- Frecuencia de grabación de registros y de subida de datos a la Web.
- Horario y frecuencia de encendido del módem.
- Niveles de alarma mínima y máxima.

Asimismo, permite el envío de órdenes al módem tales como:

- Forzar la subida de registros a la base de datos Web.
- Envío un email con los archivos de actividad (Log de errores), archivo de configuración y de variables activas.
- Descargar archivos de configuración desde la Web.
- Actualizar la configuración del registrador en forma remota.
- Actualizar el firmware del módem en forma remota.

4.11.4 Programación de una App para teléfonos móviles Android

Los equipos de Acequia Innova, además del los registros horarios de carga, caudal y volumen, cada vez que encienden el módem (cada 5 a 20 minutos) registran en una tabla independiente de la base de datos los valores instantáneos de caudal y carga y el voltaje de la batería. Se tiene entonces una serie histórica de valores instantáneos, la cual puede accederse mediante una App (software libre) desarrollada para teléfonos móviles con sistema operativo Android. Esto permite en todo momento conocer el estado de los equipos dentro del periodo de actividad de los módem (usualmente de 7 a 20 horas) más los registros que se realizan de control (automáticos cada 6 horas) durante la noche.

4.11.5 Sistema de alarmas

Ambas empresas proveedoras implementaron tecnologías que permiten el establecimiento de alarmas por niveles máximos y mínimos, con envío de mensajes sms a los celulares de los encargados del mantenimiento o supervisión de los sistemas. Esto es especialmente útil para el control de bombeos y en general la detección de anomalías en la red de conducción.

4.12 Análisis económico de los equipos

Las mayoría de las estructuras aforadoras (menos los eQpipe donados por Acequia Innova) se construyeron localmente y el costo de las mismas incluye el costo del material utilizado (hierro), mano de obra y accesorios y soportes (para los paneles solares y baterías de los equipos de la empresa AgroTi y soportes de sensores y equipos de Acequia Innova).

Con respecto al costo de instalación se diferencia el de la instalación de la estructura aforadora de la instalación anual de los equipos registradores y/o los sensores. La instalación de la estructura aforadora es anual en el caso de entradas de chacras, que por el manejo del cultivo se rota de sitio. Con respecto a la instalación, conexión y puesta en funcionamiento de los equipos registradores se estimó en U\$S 150 por equipo por año.

Se destaca que en el caso de estructuras ya existentes como puentes, vertederos en mampostería, sifones, etc., en éste proyecto su costo se consideró cero, ya que no implicó ningún gasto, simplemente se uso la estructura.

El costo de los equipos registradores está compuesto por el costo del equipo puesto en el país con sus paneles solares y baterías.

El costo de transmisión y mantenimiento de la página Web es variable para las dos empresas suministradoras de equipamiento y servicio de transmisión de datos del proyecto. La empresa AgroTI cobra por concepto de uso de su red privada virtual de telefonía celular, el mantenimiento de su base de datos y alojamiento Web, U\$S 52 por equipo y por mes. En cambio la empresa Acequia Innova no cobra la utilización de su base de datos, programación y alojamiento Web, por lo que el costo

por equipo se reduce al pago de la línea de pre-pago ANCEL que asciende a U\$S 5,2 por mes. La duración de la temporada de riego es de 5 meses.

Para el calculo de la amortización de los equipos se considera una vida útil de 5 años en el caso de las estructuras aforadoras (de chapa) y 4 años para la electrónica.

Por otra parte, el mantenimiento anual incluye las reparaciones necesarias para mantener la operatividad tanto de la electrónica y el costo de los servicios de telemetría (telefonía y en su caso mantenimiento Web).

5 Resultados y discusión

5.1 Estructuras de aforo

5.1.1 Aforadores ACA y Sin Cuello

En el presente proyecto se ha utilizado un ACA con sección trapezoidal con inclinación de taludes de 45°, elevación de la cresta 0,15 m y 0.7m de ancho de base, que ha resultado muy adecuado por su amplio rango de caudales desde 8 l/s hasta 725 l/s (0,45 m de carga sobre la cresta).

La carga de entrada puede ser medida con sensores piezo-resistivos o electroacústicos.

Con los primeros, ubicados en un tubo adosado a una de las paredes de la sección de entrada, se han encontrado problemas de vórtices en la zona del sensor que falseaban la medida (Figura 5-1).

El mismo problema fue detectado en los aforadores Sin Cuello (Figura 5-2).

Para subsanar tal inconveniente fue necesario instalar pantallas laterales para encauzar el agua y eliminar este efecto.



Figura 5-1 Vórtice generado en la zona del sensor.
SC 16



Figura 5-2 ACA con pantallas para eliminar los vórtices



Figura 5-3 Sin Cuello 24 con sensor electroacústico (ESPAY-gprs Eco)

Por tal motivo, cuando la instalación asegura que el aforador trabaja siempre por debajo de la sumergencia máxima admisible, a partir de la zafra 2016/17 se comenzó a instalar sensores ultrasónicos de eco (electroacústicos) que se colocan en el centro del cauce, evitando el error de medición por vórtices (Figura 5-3).

Un aspecto a tener muy en consideración es la geometría y especialmente la operativa del canal donde se instalan este tipo de aforadores ya que puede ocurrir que el aforador quede sumergido y se pierda la condición de flujo crítico siendo imposible medir (Figura 5-4). Esto ocurrió en ambos tipos de aforadores cuando fueron instalados en tramos de canal entre dos bombes. En este caso, el canal funciona por momentos más como un depósito intermedio que como un canal de conducción. El sensor detecta carga (y calcula un caudal) aunque no exista flujo sino que simplemente el canal ha quedado lleno.

En el caso del aforador Sin Cuello N° 11 instalado canal 1 del sistema de riego de Colonia España, durante la primera temporada (2016/17) se detectaron valores anormales de caudales debido al régimen de uso de este canal. En este sistema cañero, el bombeo se realiza durante las horas



Figura 5-4 Sin Cuello 16 sumergido

valle y llano mientras que el riego se realiza de 7 a 15 lo que provoca un desfase respecto al riego.

Por momentos el canal opera sin extracción de agua lo que provoca la elevación del pelo de agua sin que exista un aumento de caudal.

Los aforadores Sin Cuello permiten corregir la fórmula de caudal cuando la sumergencia supera el umbral de escurrimiento libre. Esto requiere la utilización de un segundo sensor que mida la sumergencia que es el parámetro que afecta el caudal. Para ello se instaló un sensor de presión diferencial que mide la diferencia de nivel entre aguas arriba y aguas abajo y a partir de ese dato y de la medida del nivel aguas arriba obtiene el valor de sumergencia. Los equipos de Acequia Innova pueden medir dos sensores piezo-resistivos y en su programación se ha incluido el ajuste del caudal por sumergencia.

Durante la temporada 2017/18 se instaló el segundo sensor (Figura 5-5) no contándose aún con los datos finales de la evaluación.

En el sentido de lo expuesto anteriormente, cabe considerar que si bien el aforador ACA tiene innumerables ventajas sobre otros aforadores, el tipo Sin Cuello con doble sensor es más flexible y adaptable a diversas condiciones de operación del canal.



Figura 5-5 Sin Cuello 11 con doble sensor

Otro defecto de diseño observado en ambos tipos de aforadores fabricados en chapa, ha sido el anclaje y las pantallas laterales demasiado cortas. En varias oportunidades el agua ha filtrado por debajo o los laterales del aforador falseando la medida. Esto no ocurre con las estructuras fijas hechas en mampostería y sería fácilmente subsanable en las estructuras móviles de chapa ampliando las pantallas. Asimismo, en la instalación

debe asegurarse el buen contacto de la tierra con la chapa eliminando mediante apisonado los huecos que pudieran quedar en los taludes.

5.1.2 Vertederos

Los vertederos son estructuras usadas desde hace muchas décadas en sistemas de riego por gravedad (Figura 5-6), aunque en la actualidad vienen siendo reemplazadas por aforadores de flujo crítico que provocan una pérdida de carga mucho menor y no tienen problemas con sedimentos.

Con frecuencia se encuentran en los sistemas por lo que hemos incluido su evaluación en el presente trabajo.

Las fórmulas de caudal son bien conocidas y sus coeficientes de descargas contemplan diferentes correcciones por espesor de pared, velocidad de aproximación, contracción incompleta, inclinación de pared, etc.

Su instrumentación con sensores y registradores es sumamente sencilla así como la forma de cálculo de caudales, por lo que no han presentado mayores inconvenientes para su utilización en telemetría.



Figura 5-6 Vertedero triangular de 90°

5.1.3 Tubos Venturi, Placas de Orificio y orificios sumergidos

Los tubos Venturi y las placas de orificio se asemejan en cuanto a que ambos utilizan el principio del teorema de Bernoulli provocando una depresión localizada en una tubería en carga, sirviéndose de una reducción de la sección.

Ambos dispositivos recuperan parcialmente la presión original al volver a la sección normal del tubo. La diferencia entre la presión antes y después del dispositivo es la pérdida de carga que provoca.

El Venturi causa una pérdida de carga sensiblemente menor que la placa de orificio en virtud de sus secciones convergentes de entrada y divergentes de salida.

La fórmula general de caudal es

$$Q = K hDif^{0.5}$$

donde

K es un coeficiente que engloba las dimensiones de la conducción y de la reducción, la relación de diámetros y un coeficiente de descarga propiamente dicho

hDif es la diferencia de presión estática provocada por la contracción como consecuencia del aumento de la velocidad.

Los tubos venturis (eQpipe) y las placas de orificio siguen las pautas de la Norma ISO 5167 (AENOR 2003) en cuanto a sus dimensiones y forma de cálculo, a partir de la cual se elaboraron series



Figura 5-7 Placa de orificio en tubo de PVC DN 110



Figura 5-8 Detalle chimenea en Placa de Orificio bombeo GLENCORE

de caudales correspondientes a diferenciales de presión, a partir de las cuales se obtuvieron los coeficientes K mediante regresión.

En el caso de la placa de orificio instalada en el bombeo de GLENCORE (Figura 5-8), donde la tubería tenía una chimenea de 1 m, fue necesario ampliar la sección de la placa de orificio más allá de las recomendaciones de la norma ISO, para evitar el desbordamiento de la chimenea. Así, cuando el límite de la relación de diámetros establecido en la norma es de 70%, la relación de diámetros 540/600 adoptada es del 90%. En este caso, se ajustó el coeficiente de descarga mediante aforos.

Las medidas, rangos de operación y formulas de descarga de los tubos Venturi donados por la firma Acequia Innova (eQpipe) fueron presentados en la Tabla 2-3 de Materiales y Métodos

En la Tabla 4-4 del capítulo Materiales y Métodos se indican las dimensiones, fórmula de caudal y rango de caudales de operación de cada uno de los dispositivos de placa de orificio utilizados en el proyecto.

El orificio sumergido evaluado en este trabajo es el que resulta de instalar una compuerta fija en un canal o cámara, con cierta apertura contra el fondo. Este orificio abarca todo el ancho del canal o cámara por lo que no existe contracción de la vena líquida lateral ni de fondo.

Su fórmula de caudal es:

$$Q = K * I * h * (2 * g * hDif)^{0.5}$$

donde

K es un coeficiente de descarga que considera pared delgada y una corrección por la contracción incompleta

g: aceleración de la gravedad
hDif: diferencia de nivel del agua a ambos lados de la compuerta que conforma el orificio.

En el caso concreto de la estructura de TOBIR de 60 cm de ancho y 10 cm de apertura de la compuerta, la formula de caudal es: $Ql/s = 18,408 * hDif^{0,5}$

Se pueden ver los detalles de la instalación en las Figura 4-31 y Figura 4-32 de Materiales y Métodos.

Tal como se puede apreciar, los caudales erogados por los tres dispositivos (Venturi, placas de orificio y orificios de fondo) son función de la raíz cuadrada de la carga (hDif) lo que causa que sea necesaria una mayor variación de la presión para una variación dada del caudal.

Considerando la reducida carga disponible en los sistemas de riego por gravedad y la sensibilidad de los sensores disponibles, el rango de caudales de trabajo se encuentra muy acotado y su aplicación limitada a ciertas situaciones concretas.

Por lo expuesto, la relación entre el caudal máximo y mínimo no supera 4:1 para Placas de Orificio y Orificios de fondo y 6:1 en Venturis. Los tubos Venturi se han usado en canales con buena pendiente construyendo tabiques de tierra para forzar una cierta sobre elevación del agua que permita la medición.

También se han usado con éxito placas de orificio en estas situaciones aunque han resultado con ventajas frente a otros métodos cuando se instalan para controlar bombeos o trasvases entre canales con suficiente diferencia en los niveles de agua.

Cabe comentar que durante la primera zafra de riego, una estimación errónea de las necesidades de caudal de una chacra impidió el uso de la placa de orificio 400/280 ya que el caudal requerido no podía circular por el dispositivo con el desnivel existente en el canal. Fue necesario agregar un tubo lateral para aumentar el caudal.

Algo similar ocurrió en la segunda zafra con el eQpipe 500/350 donde el reducido caudal derivado a la chacra quedó por debajo del caudal mínimo que el dispositivo podía medir.

En cuanto al costo y facilidad de construcción, las placas de orificio resultan más simples de construir y más baratas que los tubos Venturi.

Los 3 tipos de dispositivo resultan adecuados para la medición en derivaciones hacia mangas de riego por gravedad, tal como las utilizadas en forma cada vez más frecuente tanto en caña de azúcar como en arroz. En esta situación no es posible la utilización de aforadores en régimen de lámina libre por la fuerte retención que provocan las mangas.

Los tubos Venturi son precisos y causan menores pérdidas de carga, pero deben utilizarse dentro de un rango rígido de caudales, siendo difícil su rotación para medir en chacras de diferente tamaño. Su costo de fabricación es mayor.

Las placas de orificio admiten una cierta posibilidad de adaptación cambiando la placa dentro de los límites de las normas técnicas. Su fabricación es muy sencilla y de bajo costo.

El más flexible es sin duda el orificio de fondo que puede adaptarse a diferentes demandas ajustando la apertura de la compuerta. Sin embargo, no tiene ningún mecanismo de recuperación de la carga, por lo que la diferencia de nivel utilizada para la medición es carga perdida. En general requiere obra de mampostería para su implementación.

5.1.4 Caudalímetros electromagnéticos

En el presente trabajo se han utilizado caudalímetros electromagnéticos de inserción, es decir aquellos que se insertan parcialmente hacia el interior del tubo en el que se quiere medir.

Los caudalímetros electromagnéticos están basados en la Ley de Inducción de Faraday y son óptimos para la medición de líquidos en

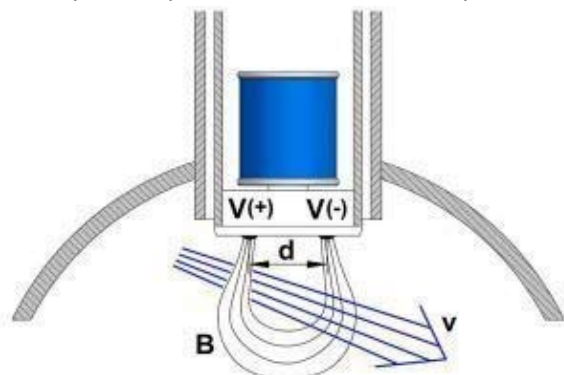


Figura 5-9 Principio de funcionamiento de caudalímetro electromagnético

aplicaciones en las que se requiere una baja pérdida de carga y bajo mantenimiento.

El paso de un líquido conductor eléctrico a través de un campo magnético perpendicular al sentido de circulación del líquido induce una tensión eléctrica V , que es proporcional a la velocidad del líquido.

Dos electrodos en contacto con el líquido colocados perpendicularmente al campo magnético captan esta tensión V .

$$V = B \cdot v \cdot d$$

Donde:

V = Tensión medida en los electrodos

v = Velocidad del líquido

B = Densidad de campo magnético

d = Distancia entre electrodos

Al no presentar prácticamente ningún obstáculo al flujo del agua, salvo la pequeña superficie del sensor insertado, es el dispositivo que provoca una menor pérdida de carga, siendo ideal para medición en tubos en carga (p.ej.: derivación a las chacras) de sistemas de riego por gravedad.

Sin embargo, su funcionamiento tiene un mayor consumo de energía lo que obliga a sistemas de alimentación con grandes paneles solares y baterías de mayor capacidad (más costosos).

En el caso del equipo Darhor de procedencia china, Este requiere cuatro paneles solares y cuatro baterías de 12V, dispuestos en dos conjuntos dobles de 24 V, que trabajan en paralelo (Figura 5-10).

Tiene un controlador que conecta el equipo directamente al módem y la adquisición de datos se realiza cuando se ordena desde la Web a intervalos configurables. El equipo tiene un mayor costo en comparación con el resto del equipamiento utilizado en este trabajo. No obstante, su instalación no requiere la fabricación de una estructura de aforo sino que se utiliza el propio tubo de derivación (ver análisis económico).

En el caso de los equipos Seametric, el fabricante no proporcionó la información técnica necesaria como para conectar el equipo al módem para lograr la transmisión de datos, por lo que se ha desestimado su uso con fines de telemetría. Solo se utiliza para mediciones "in situ".



Figura 5-10 Doble panel solar

5.1.5 Estructuras de aforo no estandarizadas existentes en los sistemas

En el presente trabajo se ha considerado el uso de algunas estructuras construidas en la red de distribución tales como puentes o pases de agua, en general construidas con tubos.

Todas las estructuras interpuestas en el flujo de una red de canales provocan variaciones en los niveles de agua que pueden relacionarse con el caudal circulante.

En el caso de tubos, estos deben trabajar en carga para facilitar el ajuste de un coeficiente de descarga.

Este coeficiente se obtiene mediante aforos midiendo simultáneamente el caudal y la variación de los niveles de agua.



Figura 5-12 Sensor de presión diferencial



Figura 5-11 Caudalímetro electromagnético con batería

En el caso de los tubos, la función de descarga tiene la siguiente forma:

$$Q = C * S * (2 * g * hDif)^{0.5}$$

donde:

Q: caudal circulante

C: coeficiente de descarga

S: sección interior del tubo

g: aceleración de la gravedad

o agrupando las dimensiones en un factor

$$Q = K * (hDif)^{0.5}$$

$$K = C * S * (2 * g)^{0.5}$$

Así, conociendo el caudal mediante aforos y la diferencia de carga es posible obtener el coeficiente global de la estructura "K" o el coeficiente de descarga del tubo "C"

$$K = Q / (hDif)^{0.5}$$

GLENCORE Cruce de avenida

Se trata de un puente formado por dos tubos de hormigón de 1,0 m de diámetro de una longitud de 11 m.

Se pasó un tubo de PVC de DN 25mm de un lado al otro del puente, por uno de los tubos de



Figura 5-13 Tubo de conexión de sensor de presión diferencial en cruce de avenida. GLENCORE

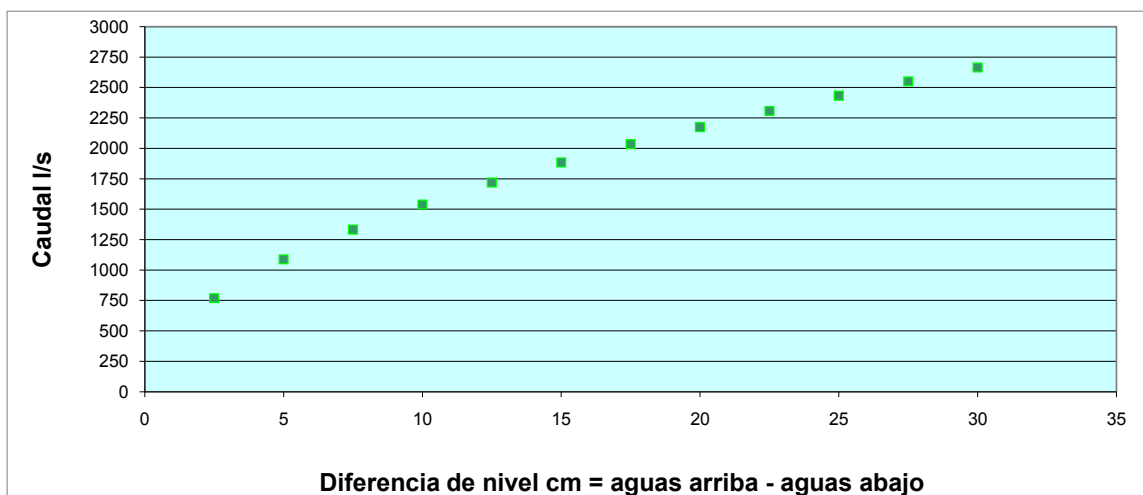


Figura 5-14 GLENCORE Cruce de Avenida Calibración de tubos.

hormigón (Figura 5-13). Este tubo de PVC contaba con un sensor de presión diferencial en uno de sus extremos de forma que pudiese medirse la columna de agua antes y después del tubo para relacionar esta medida con los datos de aforo (Figura 5-12).

La calibración mediante aforos permitió el ajuste de la función de descarga que se muestra en el gráfico de la Figura 5-14

Saman Puento de 7 tubos

Este es un caso similar al anterior solo que la estructura cuenta con 7 tubos de hormigón de 800 mm de diámetro. En este caso se utilizaron dos reglas electrónicas independientes para medir los niveles aguas arriba y aguas abajo, en lugar de un único equipo con sensor de presión diferencial.

Tabla 5-1 Calibración de 7 tubos SAMAN

Fecha	Caño	Diametro (m)	Velocidad media aforada (m/s)	Velocidad media en compuerta (m/s)	Desnivel Medido (m)	Area de pasaje en la seccion de aforo (m²)	Area de pasaje en la compuerta (m²)	K resultante	Q (l/s)	OBS
24-nov	1	0,8	0,615	0,615	0,03	0,503	0,503	0,80	309,13	
24-nov	2	0,8	0,577	0,577	0,03	0,503	0,503	0,75	290,03	
24-nov	3	0,8	0,548	0,548	0,03	0,503	0,503	0,71	275,45	
24-nov	4	0,8	0,566	0,566	0,03	0,503	0,503	0,74	284,50	
24-nov	5	0,8	0,554	0,554	0,03	0,503	0,503	0,72	278,47	
24-nov	6	0,8	0,252	0,252	0,03	0,503	0,503	0,33	126,67	Se evidencia obstruccion
24-nov	7	0,8	0,332	0,332	0,03	0,503	0,503	0,43	166,88	Se evidencia obstruccion
0,746									1731,14	
09-ene	1	0,8	1,43	1,430	0,2	0,503	0,503	0,72	718,80	
09-ene	2	0,8	1,54	1,540	0,2	0,503	0,503	0,78	774,09	
09-ene	3	0,8	1,55	1,550	0,2	0,503	0,503	0,78	779,11	
09-ene	4	0,8	1,62	1,620	0,2	0,503	0,503	0,82	814,30	
09-ene	5	0,8	1,59	1,590	0,2	0,503	0,503	0,80	799,22	
09-ene	6	0,8	1,64	1,640	0,2	0,503	0,503	0,83	824,35	
09-ene	7	0,8	1,65	1,650	0,2	0,503	0,503	0,83	829,38	
0,795									5539,26	
15-feb	1	0,8	1,4	1,400	0,155	0,503	0,503	0,80	703,72	
15-feb	2	0,8	1,165	1,165	0,155	0,503	0,503	0,67	585,59	Estaba obstruido con vegetacion, se limpio luego de la medida
15-feb	3	0,8	1,15	1,150	0,155	0,503	0,503	0,66	578,05	Estaba obstruido con vegetacion, se limpio luego de la medida
15-feb	4	0,8	1,339	1,339	0,155	0,503	0,503	0,77	673,05	
15-feb	5	0,8	1,3	1,300	0,155	0,503	0,503	0,75	653,45	
15-feb	6	0,8	1,28	1,280	0,155	0,503	0,503	0,73	643,40	
15-feb	7	0,8	1,259	1,259	0,155	0,503	0,503	0,72	632,84	
0,755									4470,11	
02-mar	1	0,8	0,888	0,888	0,055	0,503	0,503	0,86	446,36	
02-mar	2	0,8	0,8575	0,858	0,055	0,503	0,503	0,83	431,03	
02-mar	3	0,8	0,7955	0,796	0,055	0,503	0,503	0,77	399,86	
02-mar	4	0,8	0,7025	0,703	0,055	0,503	0,503	0,68	353,12	Estaba un poco obstruido, se limpio luego de la medida.
02-mar	5	0,8	0,542	0,542	0,055	0,503	0,503	0,52	272,44	Estaba obstruido con vegetacion, se limpio luego de la medida
02-mar	6	0,8	0,769	0,769	0,055	0,503	0,503	0,74	386,54	
02-mar	7	0,8	0,7075	0,708	0,055	0,503	0,503	0,68	355,63	Estaba un poco obstruido, se limpio luego de la medida.
0,797									2644,97	

Tabla 5-2 Coeficiente de descarga 7 tubos SAMAN

K promedio	0,773
valor máximo	0,797
valor mínimo	0,746
rango	0,051
error	0,0255
error %	3,3%

En resumen, recorriendo la obra con mayor frecuencia para evitar obstrucciones de vegetación en los caños, se puede estimar el caudal como:

$$Q=0.773 * S * (2*g*H)^{0.5}$$

con un error del orden del 3.3%

Donde:

Q: Caudal m³/s

S: Sección del/los tubo/s en m²
o también

$$Q_{l/s} = 5544,95 hDif_{cm}^{0.5}$$

Donde el caudal en litros por segundo corresponde al total de la estructura (7 caños)

COMISACO Escuela - estructura puente Ruta 14

Esta es una estructura compleja compuesta por un vertedero rectangular muy cercano a un tubo de

hormigón que provoca que al aumentar el caudal el vertedero trabaje ahogado.

Por sus características no era asimilable ni a un vertedero ni a un tubo, por lo que se procedió a realizar una serie de aforos con correntómetros (Tabla 5-3) en un rango de caudales representativos del régimen de trabajo del canal.

Tabla 5-3 Aforos y lecturas de escala COMISACO Escuela R14

Lectura de regla cm	Caudal aforado l/s
82	2099
112	2096
45	1278
90	1772
82	1776

A partir de estos aforos se ajustó por regresión una curva de descarga que se presenta en el gráfico adjunto (Figura 5-15).

El ajuste mejora al aumentar el número de aforos realizados en la más amplia gama de caudales.

Durante las zafas 2014/15 y 2015-16 se midió con una regla electrónica ESPAY-gprs Ha. En la zafra 2016/17 se incorporó una regla electroacústica ESPAY-gprs Eco realizándose una comparación entre las lecturas de ambos equipos, constatando

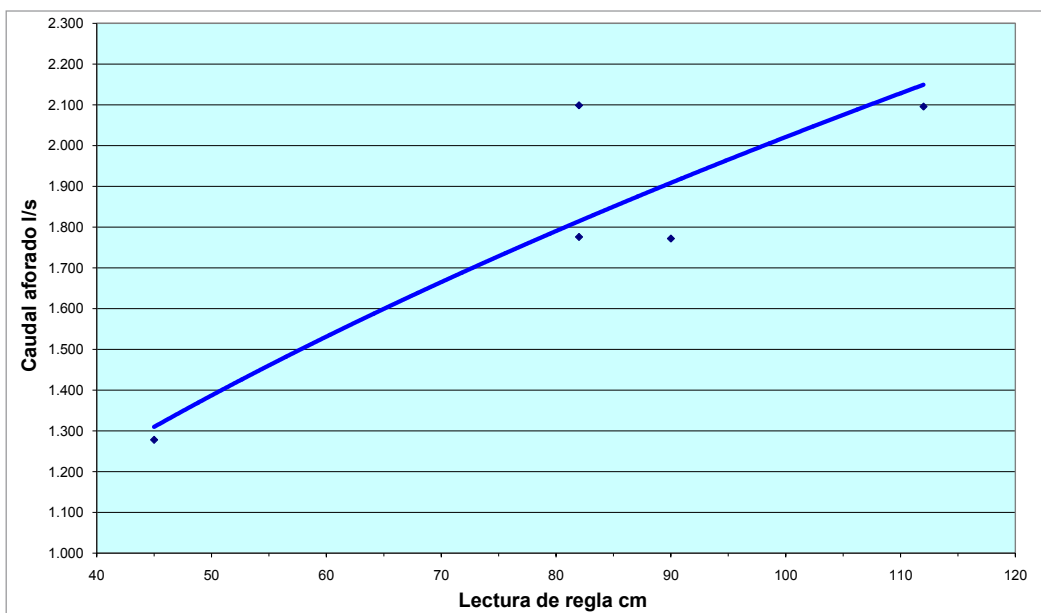


Figura 5-15 Calibración de estructura de Escuela R 14 - COMISACO

una mejor precisión y estabilidad de la regla Eco, por lo que en la siguiente zafra se mantuvo este equipamiento.

5.1.6 Calibración de canales

Aunque la estimación del caudal que circula por los canales a partir del tirante, tiene un margen de error importante, en general superior al 10%, se realizaron aforos en puntos relevantes de la red y se relacionaron con niveles de agua medidos en reglas fijas.

Esta medida solo tiene cierta validez para canales en régimen estacionario y siempre que no existen estructuras que afecten la profundidad de agua tales como compuertas de regulación, etc.

No obstante las limitaciones antedichas, en la zafra 2014-15 se realizaron aforos en dos puntos del sistema de India Muerta, con los siguientes resultados:

Canal Ache

Tabla 5-4 Aforos y lecturas de escala en Canal Ache

Lectura de Regla cm	Q l/s
55	151
68	238
77	338
80	361
103	459

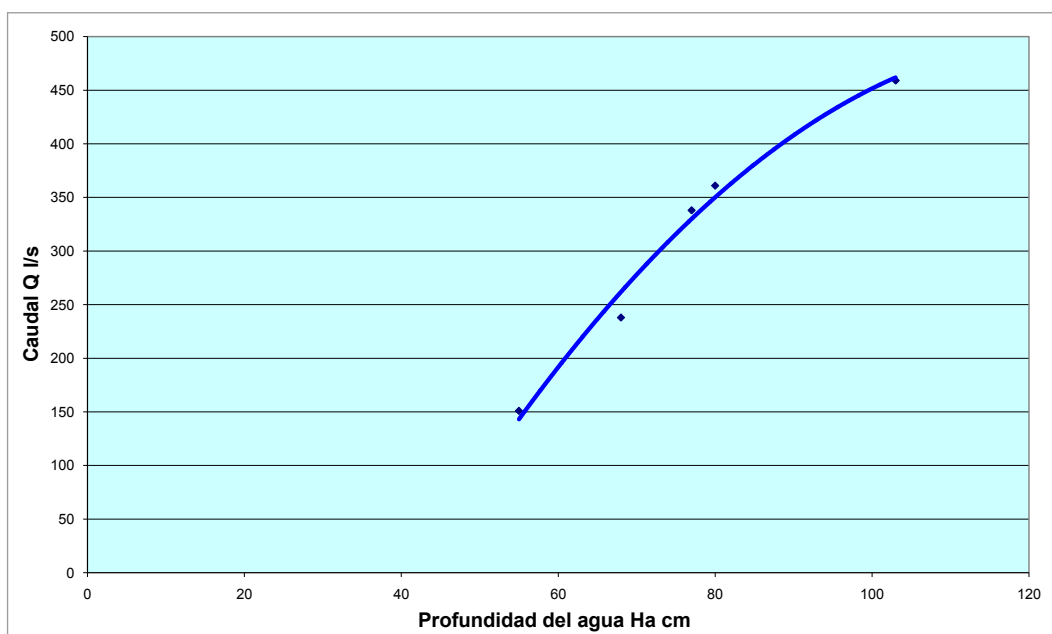


Figura 5-16 Calibración Canal Ache
 $Q \text{ l/s} = -0.0712h^2 + 17.887h - 625.29$ $R^2 = 0.9853$

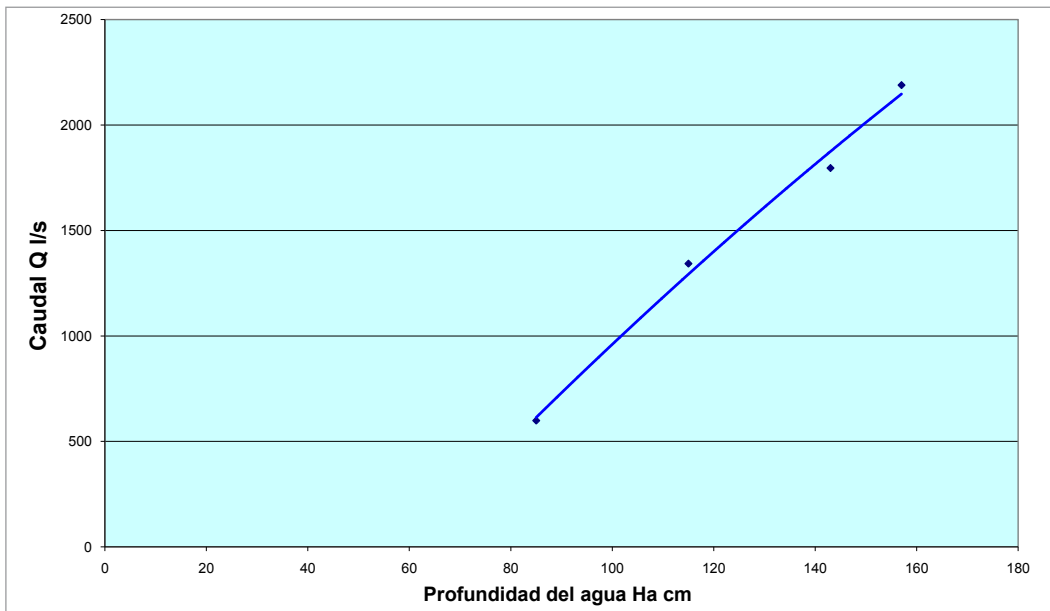


Figura 5-17 Calibración Canal de la Sierra
 $Q \text{ l/s} = -0.0319 \text{ Hcm}^2 + 29.01 \text{ Hcm} - 1622.6$. $R^2 = 0.9923$

Canal de la Sierra

Tabla 5-5 Aforos y lecturas de escala en Canal de la Sierra

Lectura de Regla cm	Caudal aforado l/s
85	599
115	1343
143	1796
157	2189

5.2 Registradores y transmisores

Los equipamientos electrónicos que controlan los sensores y realizan las lecturas y sensores, han cumplido adecuadamente su función, detectándose algunas mejoras que podrían incorporarse a su diseño o programación y que han sido puestas en conocimiento de los proveedores.

Se destacan las siguientes recomendaciones:

Los sensores de carga “Ha” de Acequia Innova deberían mejorar su encapsulado para permitir una fijación más segura en el sitio de medición. En alguna ocasión, se ha movido el sensor falseando los valores medidos al cambiar su punto cero. Debería incorporarse en el diseño la posibilidad de fijarlo mediante tornillos a la base.

Debería también mejorarse la conexión de los cables de los ESPAY-gprs tanto de los sensores como de la alimentación eléctrica para evitar la oxidación o sulfatado de las regletas (dados). Existen en el mercado pequeñas cajas con silicona-gel que permiten encapsular de forma estanca este tipo de conexión.

El cristal de protección y sellado de la placa solar en los ESPAY-gprs ha sufrido roturas en los traslados de los equipos, que si bien podrían haberse evitado con un transporte más cuidadoso, podrían mejorarse utilizando vidrio templado o bien láminas de policarbonato u otro material transparente más resistente.

Las reglas electrónicas de AgroTI si bien poseen capacidades de datalogger este no se utiliza para el almacenamiento de los registros sino que la adquisición de datos se comanda desde la Web. La conectividad mediante la Red Privada Virtual ha resultado muy segura por lo que no se ha implementado una adquisición de datos autónoma con grabación de registros en el datalogger. Solo se interrumpen las lecturas en caso de descarga de la batería o avería en el sistema de alimentación. La periodicidad en la adquisición de datos se controla con facilidad desde la Web.

A lo largo del proyecto, se corrigieron problemas de alimentación eléctrica tanto en los registradores de AgroTI como en los de Acequia Innova, aumentando

la capacidad de las baterías y/o reduciendo el consumo. Esto ha asegurado la autonomía eléctrica de los equipamientos en base a energía solar, que era otro de los objetivos planteados.

La transmisión de datos de los equipos de Acequia Innova fue implementada por primera vez para este proyecto, lo que implicó importantes modificaciones tanto en el hardware como muy especialmente en el software. Es así que fueron experimentando una evolución a lo largo del proyecto permitió ajustes para mejorar la eficiencia de la transmisión, con modificaciones en la programación y configuración de los módems para adecuarlos a las bandas de transmisión de las operadoras de telefonía celular del país.

Existen aún algunos aspectos que deben ser mejorados en la programación de los equipos de Acequia Innova que, si bien permiten la reconfiguración remota de los medidores y la actualización remota del firmware del módem, en algunas ocasiones estas operaciones han fallado, seguramente por un defecto en las comunicaciones de la red de telefonía.

No obstante las mejoras propuestas, los equipos se han ido ajustando a lo largo del proyecto cumpliendo con los objetivos propuestos de implementar la telemetría en los sistemas de riego por gravedad del país.

5.3 Instalación en el campo de los equipos

Ya fueron mencionados algunos problemas encontrados en la instalación de afloradores



Figura 5-18 Arqueta con ventana para ESPAY

Sin Cuello y ACA en relación a un deficiente relevamiento de la geometría del sitio y del régimen de trabajo del canal. Asimismo se han mencionado previamente los problemas detectados con los tubos Venturi y Placas de Orificio en cuanto a que el sitio escogido para su instalación requería un caudal fuera del rango de caudales de los aparatos.

También ha ocurrido en algún sitio que, debido a crecidas de los niveles algún registrador ha quedado sumergido, arruinándose la electrónica.

Asimismo, diversos accidentes tales como golpes recibidos por el pasaje de maquinaria, quema de pastizales en la zona de instalación, daños producidos por animales e incluso vandalismo (robo de componentes) han concluido con roturas de diversa índole, alguna de las cuales han dejado los equipos inservibles.

La instalación de los equipos (sensores y medidores) podría mejorarse construyendo en el sitio de medición anclajes y protecciones (Figura 5-18, Figura 5-19 y Figura 5-20).

Así, los sensores deben asegurarse en estructuras suficientemente sólidas e inamovibles que aseguren mantener su posición invariable. Por ejemplo, podrían anclarse postes de hormigón o pequeños muretes de mampostería o bien construirse pocetas de aquietamiento conectadas con el cauce a medir adecuadamente la carga sin efecto de viento u oleaje. Estas podrían tener una tapa metálica asegurada con candado para prevenir vandalismo o robo.

Los cables de los sensores deben ser conducidos dentro de una tubería de protección debidamente enterrada hasta el registrador evitando la exposición, previniendo enganches, tirones, daño por roedores, etc.



Figura 5-19 Arqueta en caño de hormigón con ventana para ESPAY



Figura 5-20 Arqueta de caño con ESPAY abierta

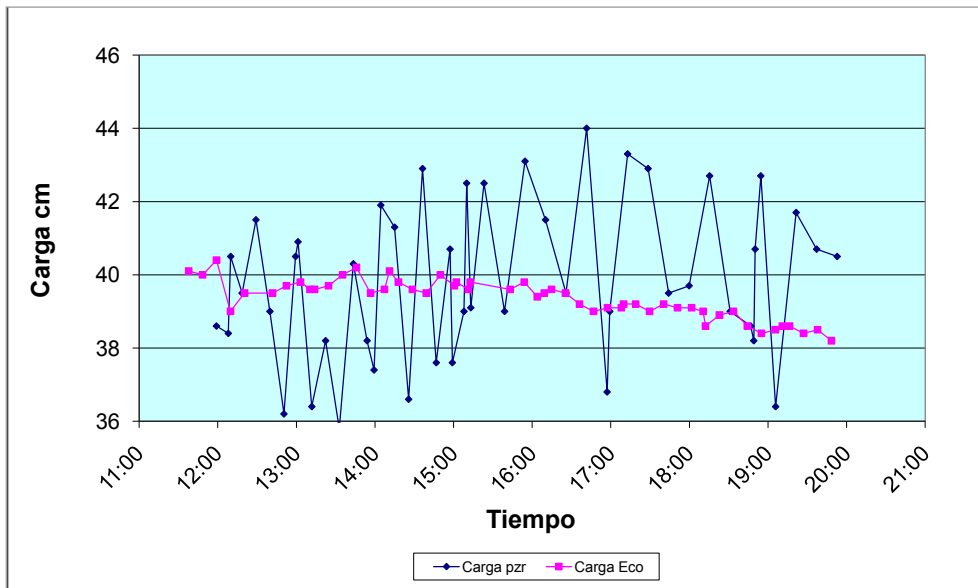


Figura 5-21 Comparación sensor Piezo-resistivo y Eco ultrasonido. 24/11/2016 COMISACO

Los registradores, deberían quedar protegidos dentro de una arqueta cerrada que puede ser construida fácilmente con un tubo de hormigón con una tapa metálica. En el caso de los equipos de Acequia Innova, con placa solar incorporada, la tapa debe llevar una ventana para permitir la entrada de luz solar. Se muestran en las figuras, algunas de estas alternativas implementadas. En el caso de los tubos de hormigón, se entiende suficiente con el uso de tubos de 500 mm. En la foto se ve la tapa de chapa con unos soportes sujetos al hormigón para pasarles un tubo con candado

5.4 Comparación de sensores

En la búsqueda de equipamientos cada vez más precisos durante la zafra 2016/17 se realizó la comparación de las lecturas de carga realizados por dos equipos de la firma Acequia Innova, uno de los cuales estaba provisto de un sensor piezo-resistivo y el otro un sensor electroacústico (eco de ultrasonido) Se presenta en Fig. 7-15, la comparación de ambos sensores, donde se aprecia la gran estabilidad de las lecturas del electroacústico.

5.5 Registros de los equipos

5.5.1 Registros de caudales y volúmenes de riego

En esta investigación se obtuvo el registro de caudales horarios y volumen acumulado a lo largo de la temporada de riego, de las diferentes estructuras de aforo, en la amplia variedad de situaciones donde fueron instrumentadas.

En la siguiente figura se muestra la evolución del caudal y volumen total acumulado que ha transitado por un vertedero rectangular. Puede apreciarse la elevación del caudal en este canal de ladera debido a una lluvia de más de 80 mm.

En el caso de mediciones en bombeos, la serie de registros de la temporada adquiere la siguiente forma:

Se trata de un Vertedero Cipolletti instalado a la salida de la planta de bombeo principal, que cuenta con tres bombas. Las constantes subidas y bajadas del caudal se explican por el bombeo eléctrico que se efectúa en las horas con tarifa más económica. En enero se inicia el bombeo luego de las 22 horas con las tres bombas y se mantiene hasta las 13 horas cuando se apaga una de las bombas. El bombeo finaliza sobre las 15:30.

En la siguiente figura se muestra el detalle de la variación de caudal con los bombeos.

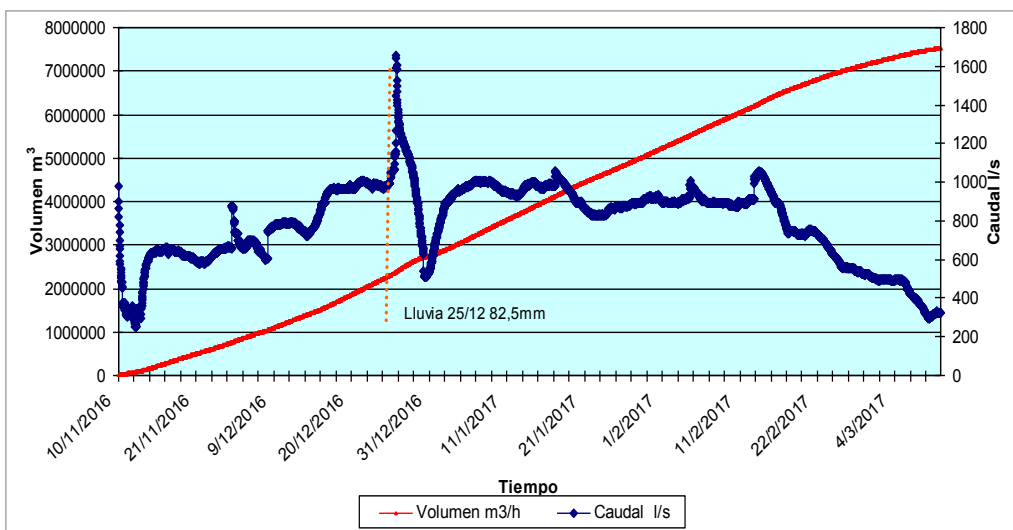


Figura 5-22 Vertedero Rectangular CASARONE, con lluvia de 82.5 mm. Temporada 2016-17

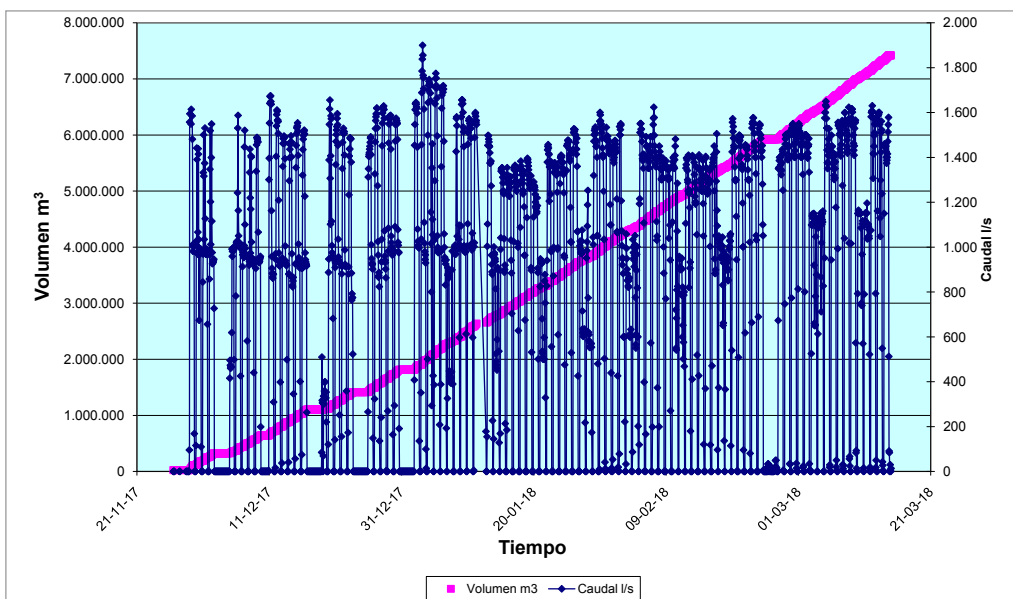


Figura 5-23 Vertedero Cipolletti. Levante Principal de SOFORUCE. Temporada 2018-18

En el caso de bombeos medidos con placas de orificio, también se observan una evolución similar del caudal. Se muestra a continuación un bombeo de la firma GLENCORE medido con una placa de orificio instrumentada con un equipo ESPAYgprs hDif de Acequia Innova.

por corte del bombeo sino que los caudales se adecuan a las necesidades del sistema. La placa de orificio fue instrumentada con un ESPAYgprs hDif con un sensor de 250 cm de presión diferencial.

En la siguiente figura se observa una placa de orificio que mide el caudal y el volumen de una mezcla de agua donde se trasvasa de un canal a otro. En este caso, no hay caídas de caudal

Se destaca el día 28/febrero/2018, con línea punteada, se alcanzó el volumen máximo que puede almacenar el equipo (9.504.168 m³), automáticamente se pone a cero y continúa la acumulación de volumen.

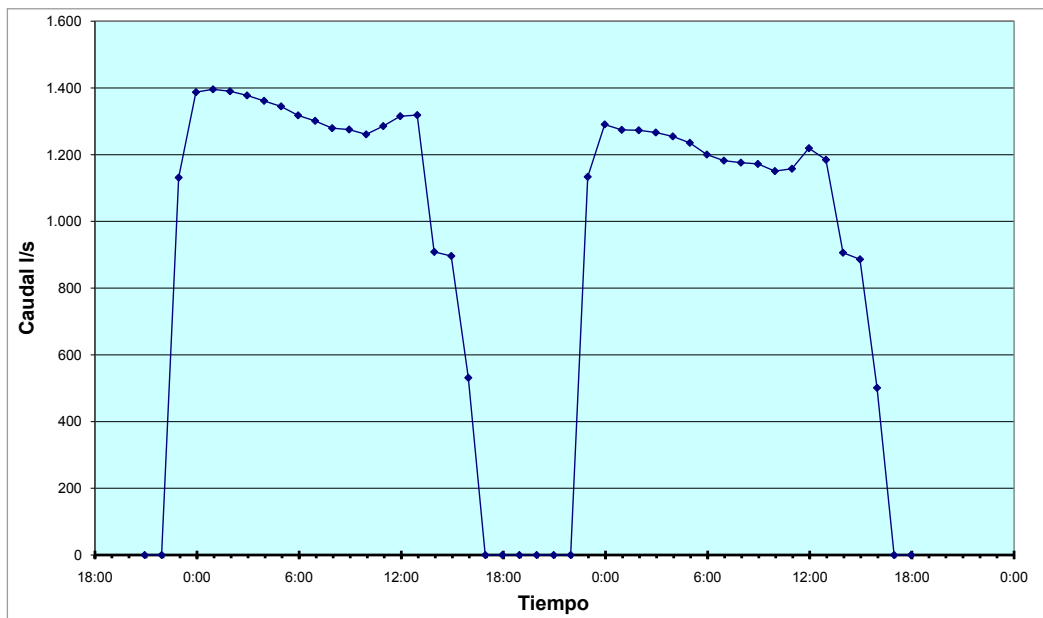


Figura 5-24 Cipolletti 1er Levante SOFORUCE 18-20/01/2018. Detalle de bombeos diarios. Inicio 23:00 3 bombas; 14:00 2 bombas; final bombeo 15:30

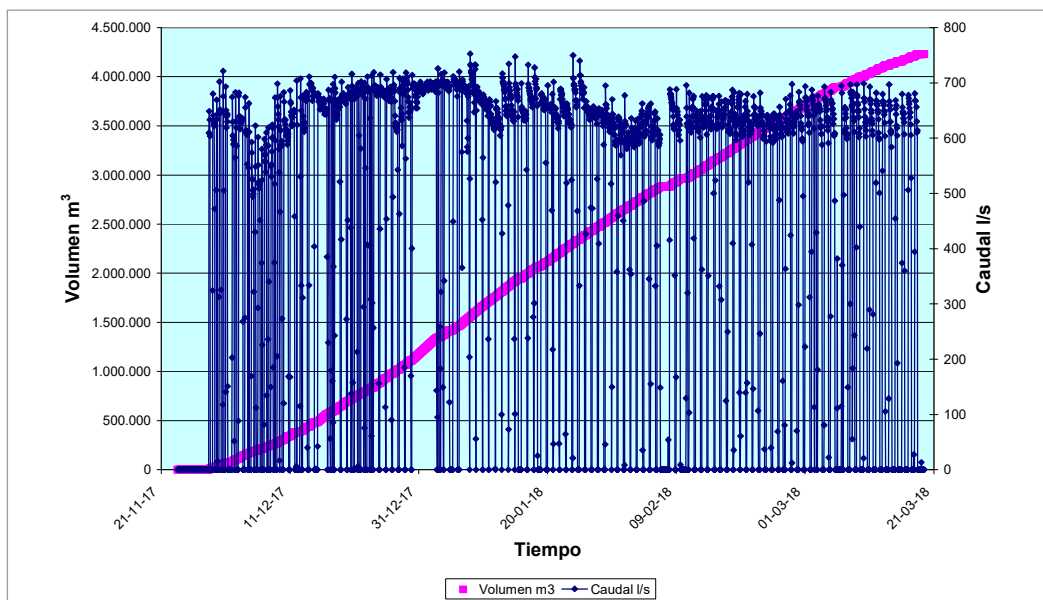


Figura 5-25 Placa de Orificio con ESPAY de Acequia Innova en Bombeo GLENCORE. Temporada 2017/18

A diferencia de los aforadores ACA, los Sin Cuello permiten medir en condiciones de sumergencia (nivel aguas abajo/nivel aguas arriba) por encima del máximo admitido para escurrimiento libre. Durante la zafra 2016/17 se instaló un Sin Cuello N° 11 en el Canal 1 de SOFORUCE, bajo el supuesto de escurrimiento libre. Esto se apoyaba en que el canal no tenía aguas abajo compuertas de regulación de nivel que pudieran provocar sumergencia y para mayor seguridad, en la instalación, se sobrelevó el fondo de aforador para favorecer el escurrimiento libre aguas abajo. No obstante, en dicha temporada se observó que el

equipo sobrevaloraba el caudal cuando se aplicaba la fórmula de escurrimiento libre.

Esto llevó a analizar en detalle el régimen de funcionamiento del canal. Éste reproducía ciclos diarios de llenado y vaciado en virtud del régimen de bombeo en horas llano y valle, pero a su vez se superpone con el régimen de riego de las chacras que se efectúa desde las 7:00 a las 15:00 (Figura 5-28).

Esto generaba que durante gran parte del tiempo el aforador trabajase con una sumergencia superior

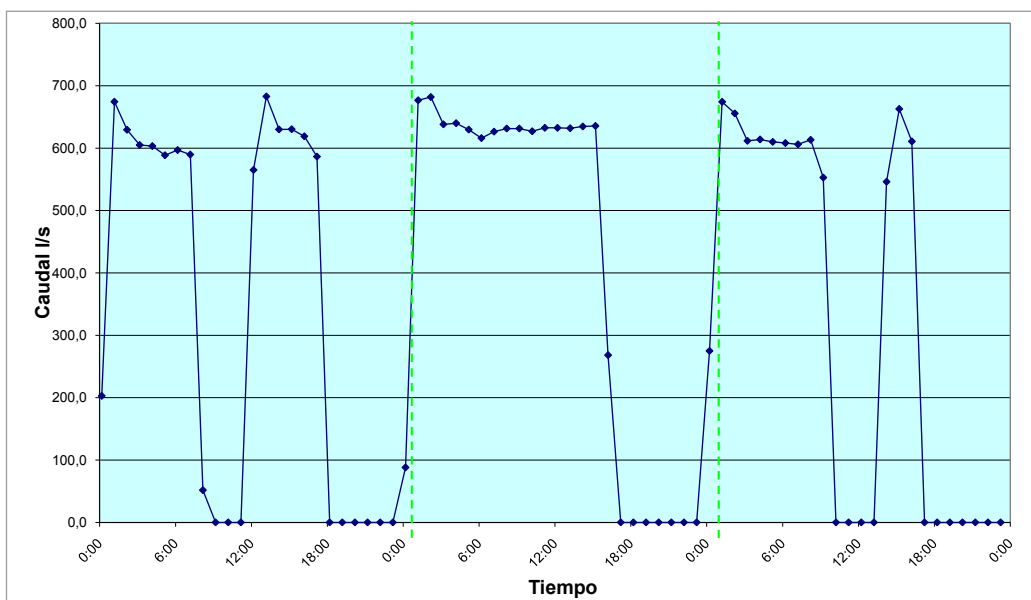


Figura 5-26 Placa de Orificio en Bombeo GLENCORE. Detalle de Bombeos de los días 2, 3 y 4 de Dic/2017 (las líneas verticales indican el comienzo del siguiente día)

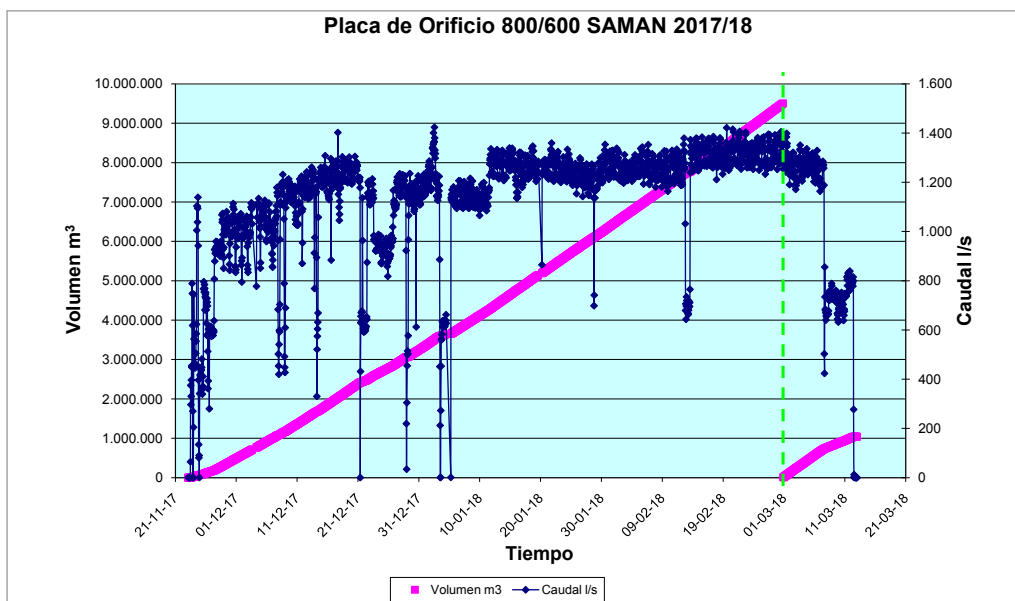


Figura 5-27 Placa de Orificio en Mezcla de Aguas (trasvase de canales) SAMAN 2017-18

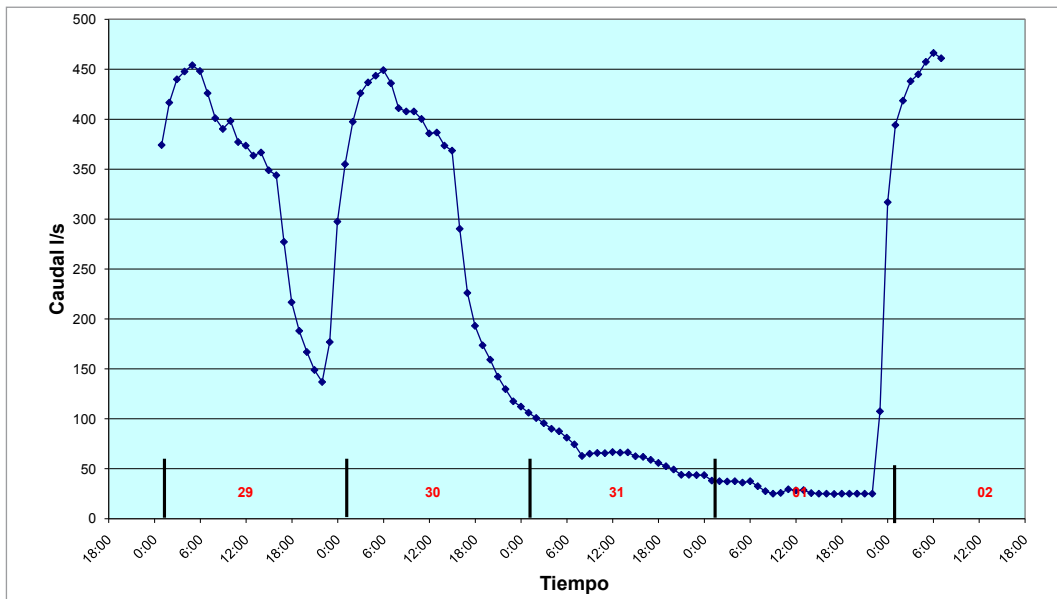


Figura 5-28 Sin Cuello N°11 SOFORUCE 2017-18. Ciclos de llenado y vaciado del Canal 1. 29/12/17 al 02/01/18 (las marcas verticales en el eje “Tiempo” separan los días)

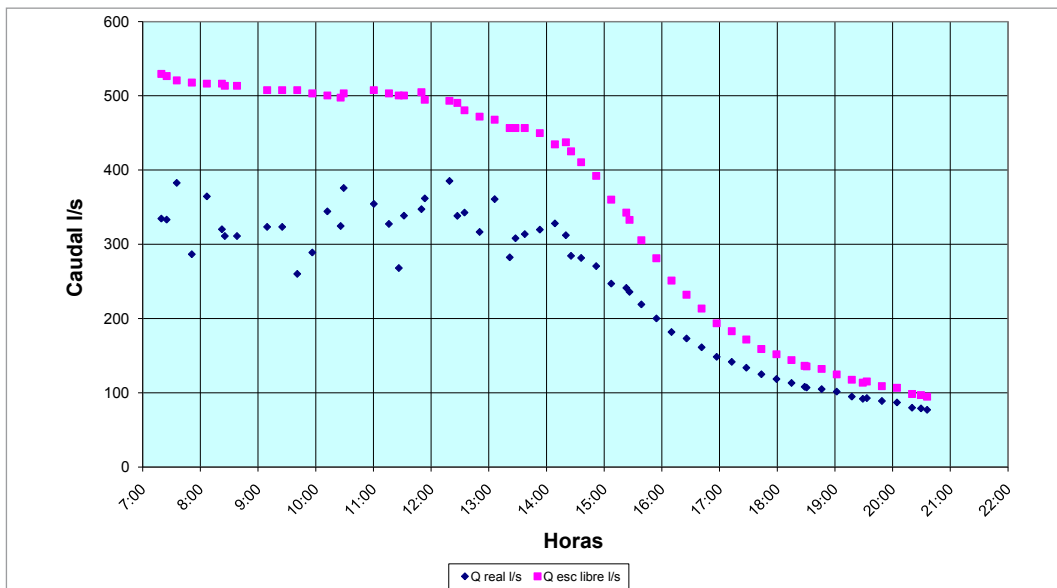


Figura 5-29 Sin Cuello N°11 SOFORUCE 2017-18. Corrección del caudal por sumergencia

a la máxima siendo que el cálculo de caudal corresponde a escurrimiento libre. Para intentar subsanar este inconveniente, en la temporada 2017/18 se agregó un sensor de presión diferencial para medir la sumergencia. El software calcula la sumergencia y automáticamente opta por aplicar la fórmula de escurrimiento libre o bien la corrección por escurrimiento sumergido.

En la Figura 5-29 se observa el caudal real (ajustado por sumergencia) en contraste con el caudal para escurrimiento libre.

También se obtuvieron los niveles del agua en diferentes puntos de la red de canales donde era de interés tener un conocimiento pormenorizado de la dinámica del flujo (Figura 9-9).

5.5.2 Consumo de agua

A partir de los volúmenes registrados con diferentes equipamientos en los puntos de aforo, fue posible obtener datos de consumo de agua de riego por hectárea de parcelas de arroz medidos (Tabla 5-6).

Los consumos de agua para el arroz obtenidos en el presente proyecto, se encuentran en concordancia con los consumos planteados por el manual de la FAO 66, Steduto *et al* (2012), donde plantea que varía entre 4,000 a 20,000 m³/ha. Por otro lado en el país se han medido consumos en un rango entre 8.400 a 13.700 m³/ha, en tres años consecutivos, con manejos diferentes del agua (Roel, 1999) en estudios a escala semi comercial, a escala comercial los consumos registrados se encuentran entre 8.300 y 20.600 m³/ha (Blanco, 1986).

En el caso del canal de riego donde se mide con un vertedero rectangular, al tratarse de un canal de ladera que capta el escurrimiento de una cuenca de 2.500 ha, al volumen acumulado registrado se

le ha restado el escurrimiento de precipitaciones ocurridas en la temporada. El caso del alto consumo de la parcela de 132,7 ha, la topografía totalmente plana de algunos cuadros y tramos de canal obligaron a utilizar un caudal mayor para cumplir con los riegos a tiempo.

5.5.3 Productividad del agua

Se ha obtenido la productividad del agua total utilizada por el cultivo de arroz (riego mas precipitación) de las parcelas de, 128 ha, 210ha y 268 ha, resultando en valores de 0.6 kg/m³, 0.55 kg/m³ y 0.66 kg/m³ respectivamente. Según se indica en el manual de la FAO 66, Steduto *et al* (2012), la productividad del agua varía entre 0.2 y 1.2 kg/m³.

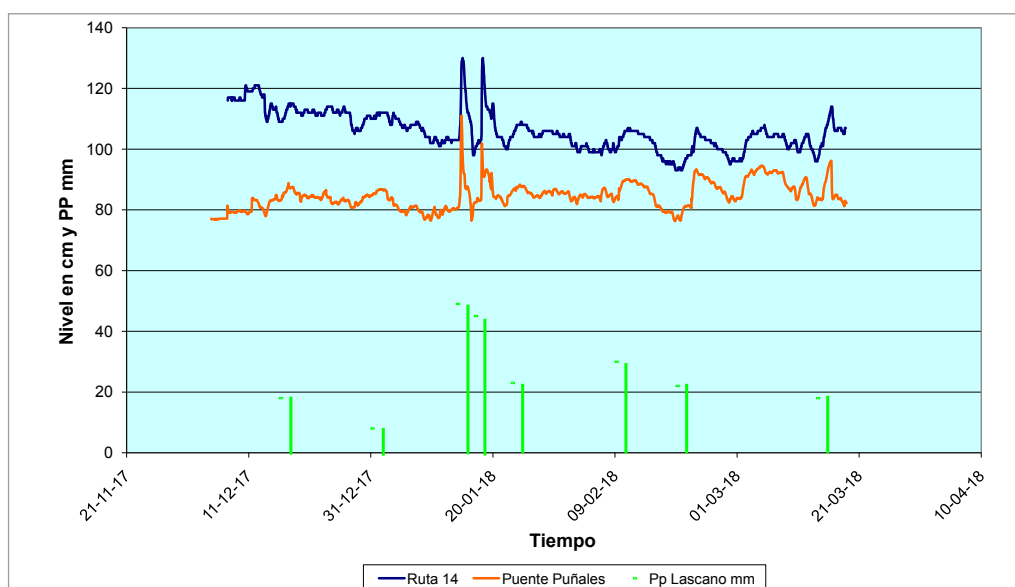


Figura 5-30 Niveles del canal Este de COMISACO en Ruta 14 y Puente Puñales y precipitaciones en el período. 2017-18

Tabla 5-6 Consumo de agua en parcelas de arroz

Situación	Equipo	Consumo (m ³ /ha)
Canal parcela 268 ha	Electromagnético	10.684
Parcela 128 ha	Placa de orificio / ESPAY-gprs	11.158
Estructura Calibrada 1.035 ha	Sensor de presión dif / ESPAY-gprs.	11.543
Canal de riego 1.129 ha	Vertedero rectangular / Sp Durcas	14.504
Parcela 132.7 ha	Placa de orificio / ESPAY-gprs	17.564
Parcela 390 ha	ACA / ESPAY-gprs	12.244
Parcela 210 ha	Venturi / eQpipe	14.004
Canal parcela 600 ha	Vertedero rectangular /Regla AgroTI	12.546
Canal parcela 756 ha	Sin Cuello 24/ Electroacústico	12.770

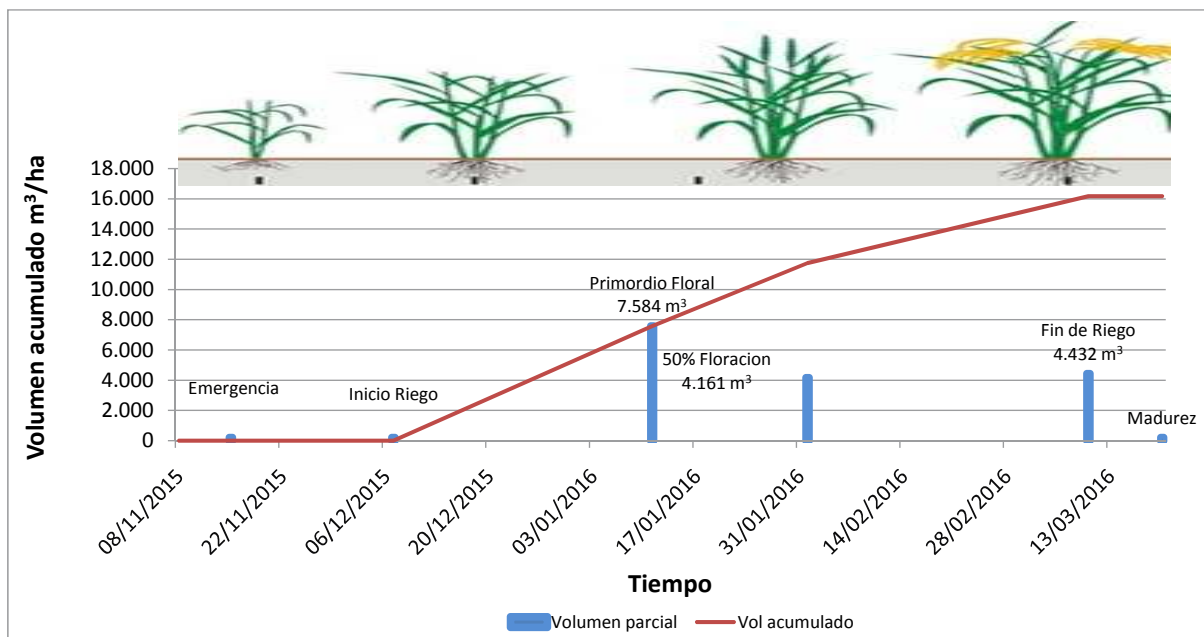


Figura 5-31 Consumo de agua por etapa fenológica COMISACO. Chacra 210 ha. 2015/16

Tabla 5-7 Productividad del agua con respecto al aporte de agua por riego en kg/m³

SITUACIÓN	Producción kg/ha	Productividad de Riego kg/m³
Canal chacra 310 ha	8220	0,72
Chacra 390 ha	7800	0,64
Chacra 133 ha	9100	0,52
Chacra 24 ha	7300	0,39
Chacra 210 ha	9750	0,7
Canal de riego 1,129 ha	9100	0,63

Se ha obtenido la productividad del agua total utilizada por el cultivo de arroz (riego mas precipitación) de las parcelas de, 128 ha, 210ha y 268 ha, resultando en valores de 0.6 kg/m³, 0.55 kg/m³ y 0.66 kg/m³ respectivamente. Según se indica en el manual de la FAO 66, Steduto *et al* (2012), la productividad del agua varía entre 0.2 y 1.2 kg/m³.

Otros valores encontrados en el país están en el entorno 0.5 a 0.9 kg/m3 (Roel, 1999). Roel *et al* (2012) presenta valores entre 0.95 y 1.4 kg/m3, con rendimientos 10.091 a 11.170 kg/ha.

Las parcelas evaluadas en éste trabajo, se encuentran dentro de los rangos encontrados en la bibliografía.

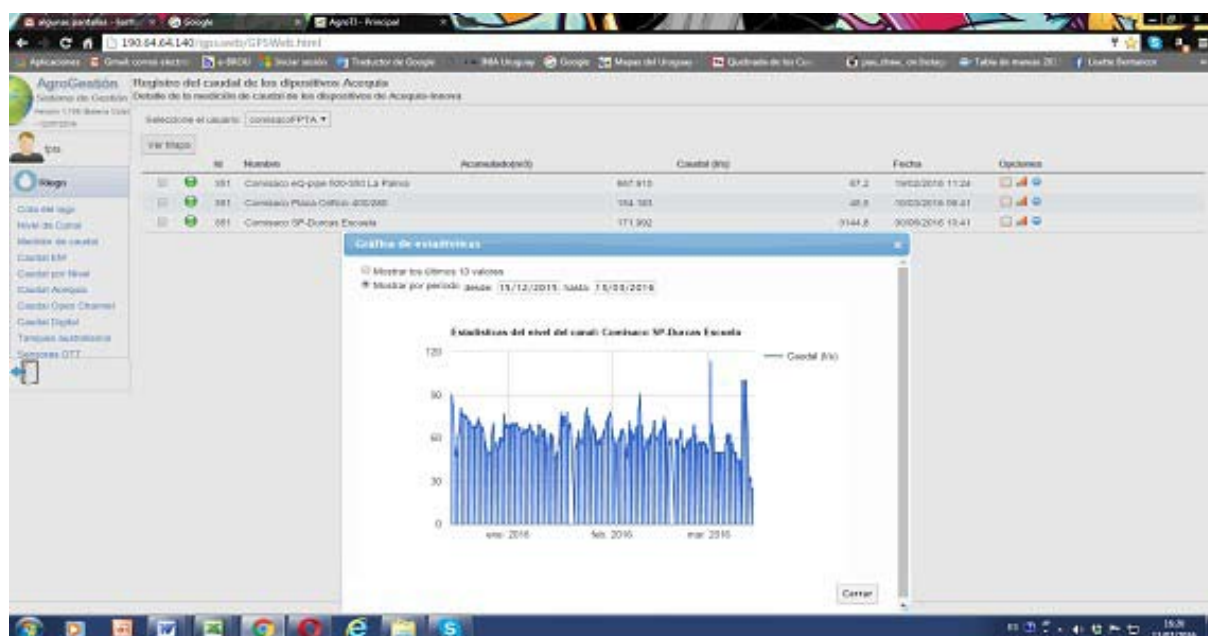


Figura 5-32 Imagen de la página web con algunas funcionalidades del sistema

5.6 Desarrollo Web - Software de acceso y App para celulares

para acceder a los datos de los equipos instalados en sus respectivos sistemas de riego.

5.6.1 Desarrollo de página Web

El proyecto financió la confección de una página Web para acceder y visualizar la información de todos los equipos del proyecto.

La misma ofrece información en tiempo real de altura de agua, caudales, consumo por hectárea y gráficos de evolución de los valores de la totalidad de equipos incorporados al proyecto.

También permite el seteo y configuración de alarmas para los equipos de AgroTi (los de Acequia Innova se configuran con otro software para PC), ver la ubicación geográfica de los equipos y el registro histórico de los datos almacenados.

Se implementó un acceso jerárquico de usuarios, con seguridad de identificación (usuario y clave) que las diferentes empresas participantes utilizan

La interfase de usuario de la página Web resulta amigable y mediante ella se puede hacer un manejo de la base de datos de usuarios, equipos y registros con capacidad para recepcionar los datos transmitidos. Se desarrolló un mecanismo de respaldo de la información de las medidas para asegurar su conservación. La Web permite la representación grafica de valores de caudal y volumen acumulado, su listado, y descarga de los mismos en formato Excel (Figuras 10-1 y 10-2).

El registro continuo de los caudales en diferentes puntos del sistema de riego ha permitido analizar la operación del mismo y detectar anomalías, tales como fugas de canales, extracción no autorizada de agua, maniobras equivocadas de compuertas, etc.

Desde la Web se configuran las alarmas de máximos y mínimos para alertar a los operadores cuando se sobrepasan los umbrales.

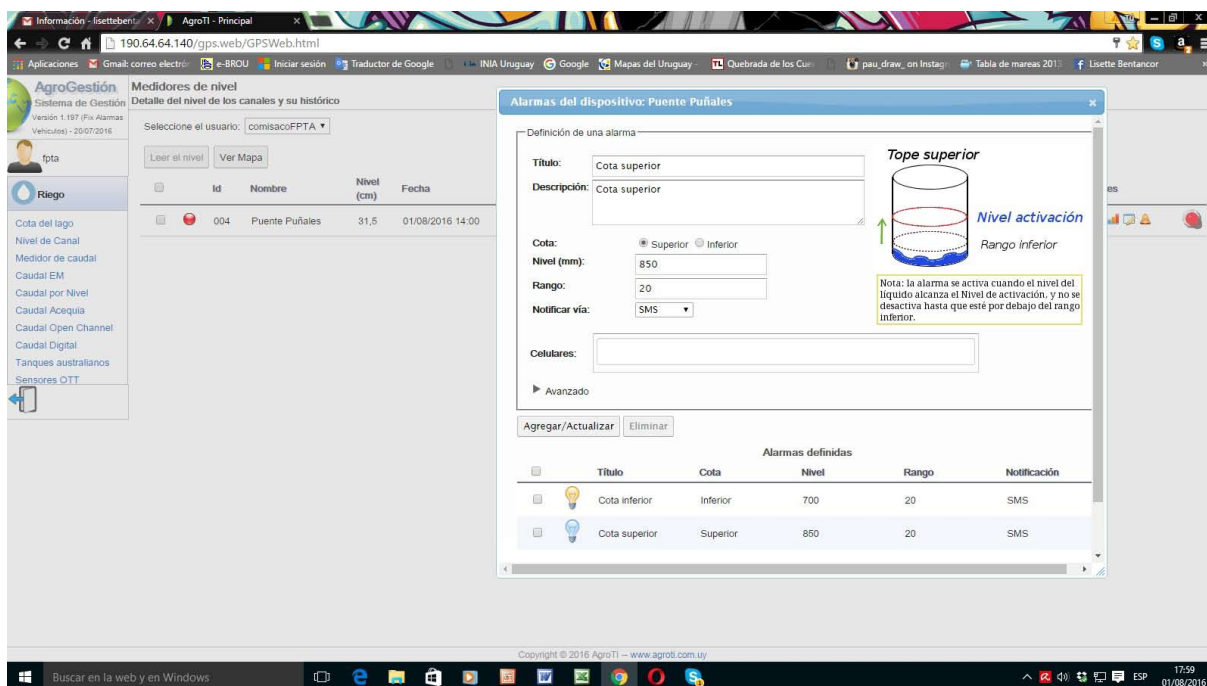


Figura 5-33 Configuración de alarmas desde la Web

5.6.2 Programa de Control Remoto de Equipos (ver. 1.8) de Acequia Innova

Los equipos de esta empresa cuentan con un software propio (software libre) que permite no solo acceder a los datos históricos sino también modificar todos los parámetros de su configuración

El programa permite el acceso a los usuarios registrados (Figura 5-34).

Existe un orden jerárquico de usuarios: Usuarios Generales, Administradores de Sistemas de Riego y Usuarios Finales (Figura 5-35).

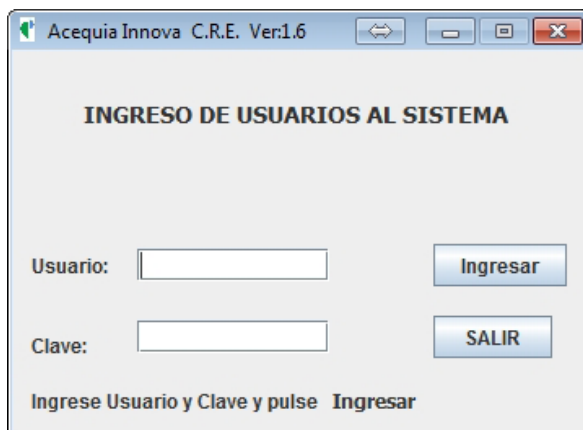


Figura 5-34 Acceso al Sistema de Control Remoto

Luego de ingresar, el usuario puede modificar sus datos básicos, incluyendo la clave de acceso: nombre, dirección teléfono de contacto y de envío de SMS de alarma.

El siguiente paso es la selección del equipo. Un usuario o administrador puede tener uno o varios equipos sobre los que actuar.

Al seleccionarse un equipo, se accede al último registro de volumen acumulado de la base de datos y se indica en los campos Fecha, Vol m3 y Caudal l/s.



Figura 5-35 Datos de Administrador

También se activa el botón Lectura actual que muestra los datos instantáneos leídos por el equipo en los últimos minutos (Figura 5-36).

El menú Configuración del Equipo permite editar los parámetros de configuración.

Según la jerarquía del usuario le está permitido o no modificar ciertos parámetros.

Los datos de configuración vienen distribuidos en diferentes pestañas.

La primera contiene los Datos generales del equipo (Figura 10-7).

La pestaña Alarmas permite establecer los niveles de las alarmas y las frecuencias de diversas tareas (Figura 5-39).

Es posible establecer una altura del agua por debajo de la cual se desea recibir un sms de alarma (p.ej.: si se apaga una bomba o hay una fuga de agua).

De igual manera se puede establecer un nivel máximo, por ejemplo para evitar el desbordamiento de una acequia o reservorio de agua.

También podemos ajustar la frecuencia a la que el equipo guarda un registro en el datalogger, cada cuanto consulta la red para ver si ha recibido algún

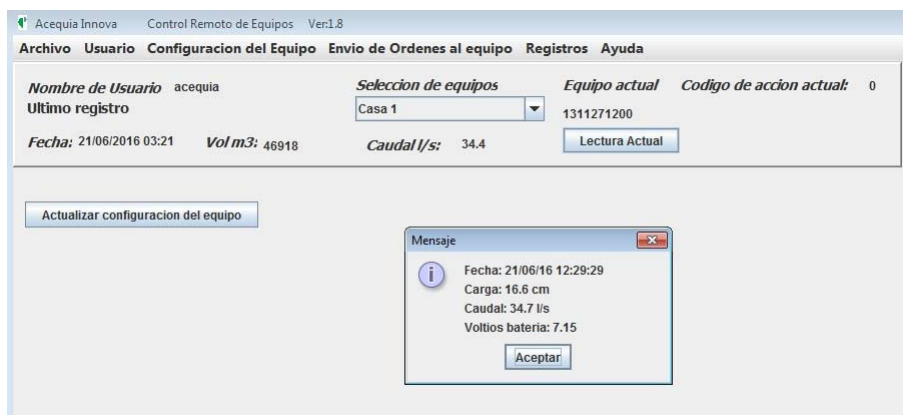


Figura 5-36 Selección del equipo y acceso a la lectura actual

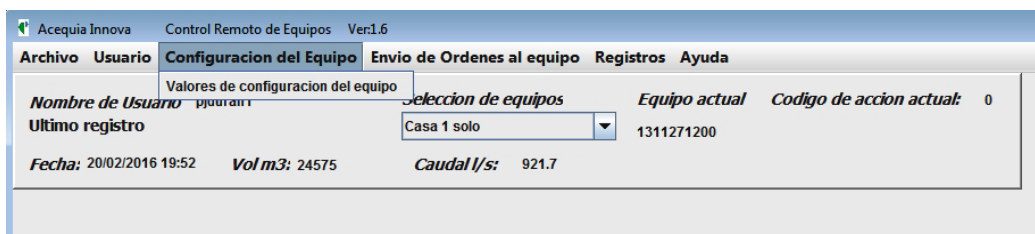


Figura 5-37 Visualización y modificación de la configuración del equipo

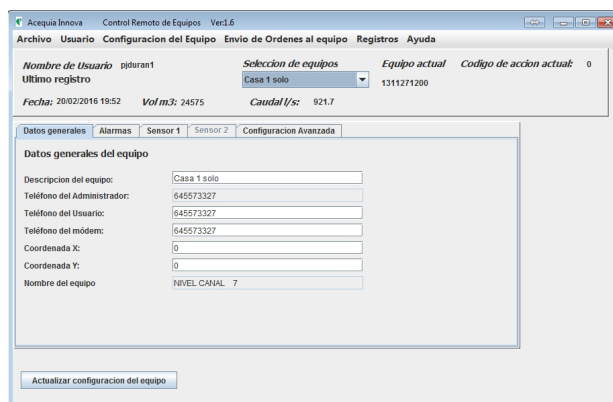


Figura 5-38 Configuración – Datos Generales

sms con alguna orden del operador y también, cada cuanto quiere actualizar la base de datos en Internet y enviar un email con los registros.

Las dos últimas frecuencias permiten controlar el consumo de energía del equipo.

La tercer y cuarta pestaña contienen los datos de calibración de los sensores del equipo (Figura

5-40). Esta información solo la pueden modificar los Administradores de Sistemas de Riego, ya que la misma altera los valores de caudal medido y por consiguiente el volumen de agua acumulado.

La pestaña de Configuración Avanzada, también es exclusiva de los Administradores ya que contiene los parámetros de las fórmulas utilizadas para el cálculo del caudal (Figura 5-41).

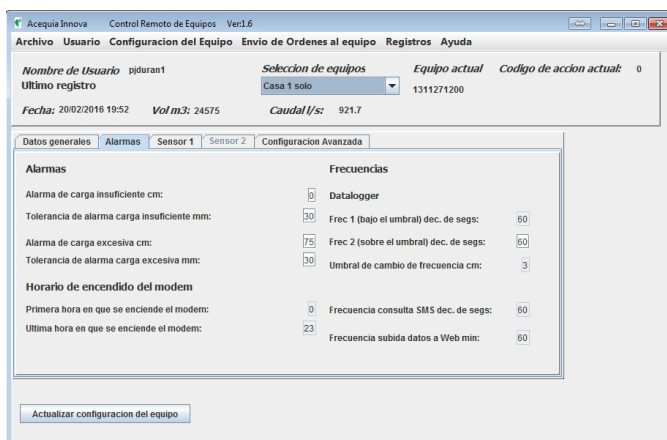


Figura 5-39 Configuración – Alarmas

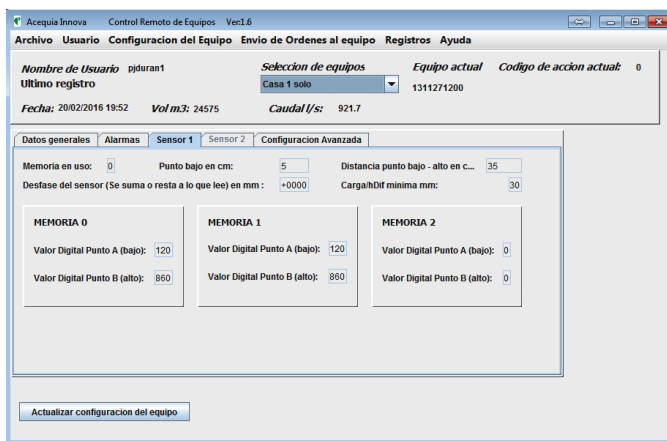


Figura 5-40 Configuración – Valores de calibración del Sensor

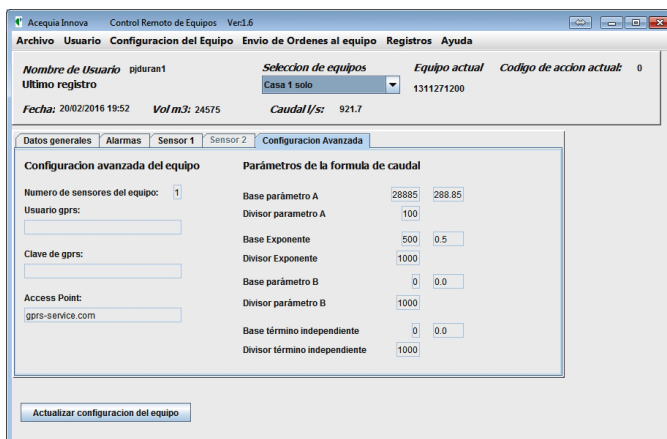


Figura 5-41 Configuración Avanzada

Los campos Usuario y Clave gprs, así como el punto de acceso (Access Point) sólo puede ser modificado por el "Super Usuario Principal" (el fabricante).

Una vez hechas las modificaciones, se guardan los nuevos valores pulsando el botón Actualizar configuración del equipo.

El menú Envío de Ordenes al equipo permite realizar operaciones remotas en forma inmediata. Por ejemplo, es posible solicitar al equipo el envío de un email con la lectura instantánea de caudal, volumen y altura de agua (Figura 5-42).

También se fuerza la subida de datos a Internet, sin tener que esperar que se alcance la frecuencia prefijada para ello.

Hay órdenes reservadas solo a los Administradores de Sistemas de Riego, utilizadas para revisar el funcionamiento del equipo, actualizar la programación, etc.

También es posible enviar las mismas órdenes mediante mensajes SMS enviados directamente al módem del equipo.

El menú Registros (Figura 5-43) nos permite acceder a los registros almacenados en la base de datos de Internet.

Hay tres tipos de registros:

- Datos de volumen
- Lecturas instantáneas de caudal
- Ordenes enviadas a los equipos en forma remota mediante el programa.

En las 3 pantallas que se abren desde el menú, se selecciona el período de datos que se quieren consultar y se presiona el botón Buscar para recuperar los registros.

La información obtenida contiene fecha y hora del registro, minutos entre una grabación en el datalogger y la siguiente, Volumen acumulado en metros cúbicos, caudal medio en l/s (calculado) y altura del agua en cm (calculada) (Figura 5-44).

Con el menú Archivo – Guardar es posible grabar un archivo de tipo .csv (campos separados por punto y coma) que se puede abrir con Excel lo que facilita el procesamiento de la información.

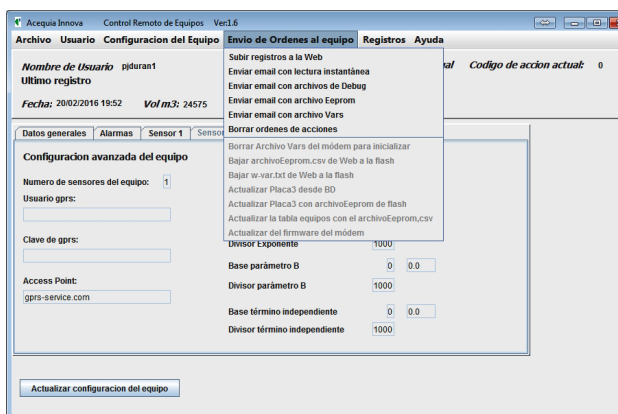


Figura 5-42 Envío de ordenes al equipo

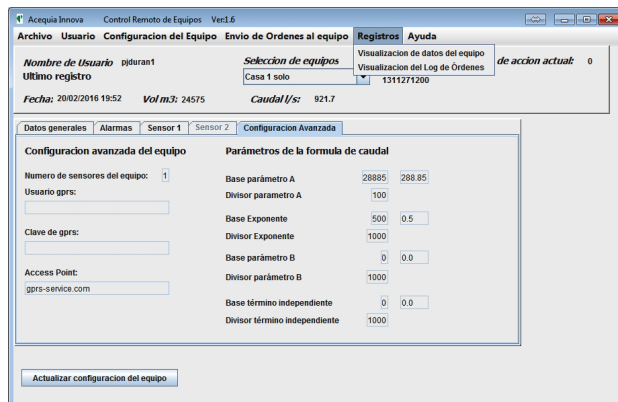


Figura 5-43 Menu Registros

El archivo se guarda en la carpeta donde se ha instalado el programa, en una subcarpeta llamada con el número de serie del equipo (p.ej: 1402171103).

El nombre del archivo de datos grabado se compone del número de serie del equipo y la fecha de grabación. P.ej: para el equipo serie N° 1402171103, si se graba el archivo en la fecha 25-09-2015 12:27, el archivo se llamará: 1402171103-250920151227.csv

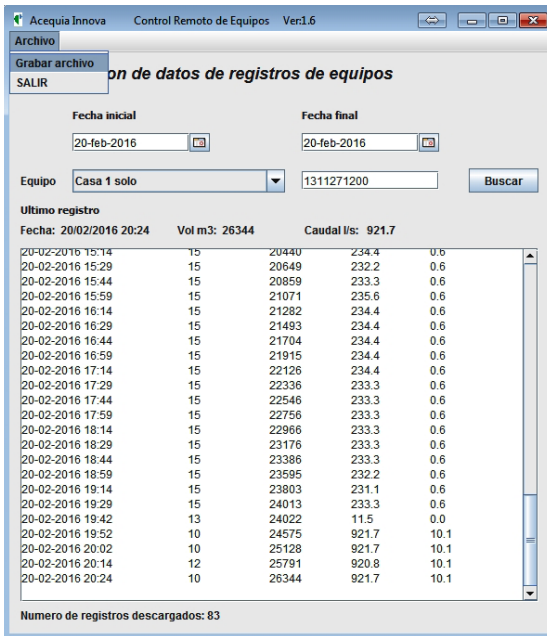


Figura 5-44 Datos de registro

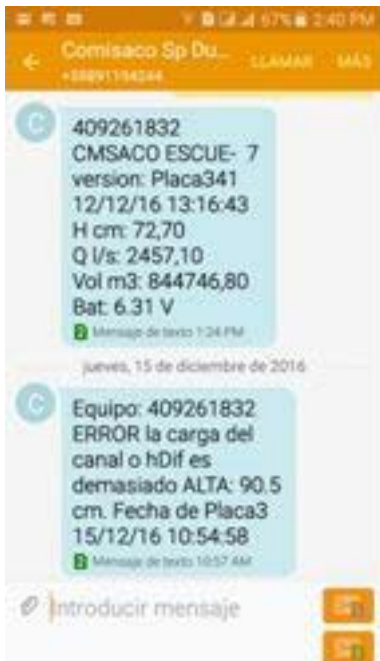


Figura 5-46 SMS Alarma Acequia Innova

5.6.3 Sistema de Alarmas

Tal como se especificó en los resultados obtenidos en la plataforma Web y el Programa de Control Remoto se implementó un sistemas de alerta vía sms. Las siguientes figuras 10-13 y 10-14, muestran capturas de pantallas de celulares mostrando los SMSs obtenidos.

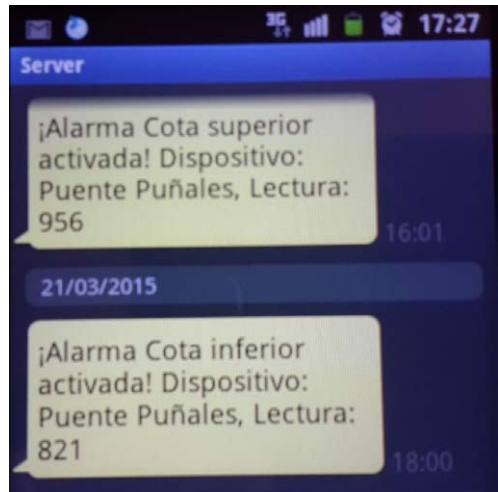


Figura 5-45 SMS alarma AgroTI



Figura 5-47 App Acceso Remoto de equipos de Acequia Innova

5.6.4 Aplicación para celulares (App Android)

La firma Acequia Innova también cuenta con una aplicación para celulares Android que permite la lectura remota de los valores instantánea que registran los medidores cada vez que se conectan a Internet (Figura 10-15).

Esta App, unida a los sistemas de alarmas, ha resultado de enorme utilidad en la supervisión de la operación de las extensas redes de canales que conforman los sistemas de riego por gravedad en el país.

5.7 Evaluación económica

Respecto al análisis económico de la tecnología implementada, se presenta a continuación el

costo de los equipos, su estructura aforadora con su instalación y electrónica y la cuota de amortización considerando el área máxima de riego que soportaría cada equipo (tabla 5-8). Se considera una vida útil de 5 años para las estructuras aforadoras (de chapa) y 4 años para la electrónica. El estado observado de la electrónica para esta cuarta temporada, confirma la estimación de vida útil realizada. En cambio, el estado actual de las estructuras en chapa hace prever que con un buen mantenimiento podrían tener una mayor vida útil.

Los costos presentados son actualizados y sin IVA.

El Sin cuello 24 (Tabla 5-8), varía en precio con respecto a los otros Sin cuello (además de que la estructura es mayor), porque se instrumentó con

Tabla 5-8 Costo de los equipos y amortización, considerando el área máxima de riego

Equipo	Estructura aforadora U\$S	Electronica U\$S	Costo total U\$S	Área máxima de riego ha	Amortización anual U\$S/ha	Mantenimiento Anual U\$S/ha	Costo total anual/ha
ACA Acequia Innova	1750	1138	2.888	750	1,01	0,33	1,34
ACA AgroTi	1750	1719	3.469	750	1,20	0,64	1,84
Sin cuello 11 Acequia Innova	850	1273	2.123	334	1,82	0,78	2,60
Sin cuello 12 AgroTi	1185	2248	3.433	447	2,06	1,20	3,26
Sin cuello 16 Acequia Innova	1365	1138	2.503	525	1,29	0,50	1,79
Sin cuello 16 AgroTi	1365	2248	3.613	525	1,82	1,00	2,82
Sin cuello 21 Acequia Innova	350	1138	1.488	103	4,63	2,40	7,03
Sin cuello 24 Acequia Innova	2465	1161	3.626	1.200	0,75	0,21	0,96
Placa de orificio 800/600 Acequia Innova	2425	1147	3.572	750	1,19	0,33	1,52
Placa de orificio 400/280 Acequia Innova	800	1147	1.947	65	8,1	3,86	11,96
Placa de orificio 600/540 Acequia Innova	850	1147	1.997	300	1,92	0,84	2,76
Orificio de fondo Acequia Innova	150	1147	1.297	46	7,76	5,46	13,22
eQpipe 500/350 Acequia Innova	1135	2474	3.609	105	9,2	3,28	12,48

un sensor eco-acústico, considerando que había problemas de vórtices a la entrada del mismo. Los vórtices se daban en las paredes del aforador, en el lugar donde se debe tomar la altura de agua (h) para determinar el caudal. Este sensor al tomar el nivel del agua desde arriba (conociendo la profundidad del canal se obtiene la altura de agua por diferencia) y se puede instalar en el centro del aforador.

Los aforadores sin cuello 11 y 21, las estructuras ya existían solo se cotizó los ajustes que se le hicieron para que midiera correctamente (Tabla 5-8).

En la Tabla 5-9, se presentan los equipos cuyo costo depende de las dimensiones de la estructura aforadora en la que se instalen los medidores y por consiguiente la superficie que pueden controlar es variable. En este caso se presenta el costo en función de las ha regadas en el proyecto.

Se hace notar que en Tabla 5-9, los equipo ESPAY-gprs de la empresa Acequia innova y la regla electrónica de la empresa AgroTi, al igual que los equipos electroacústicos de ambas empresas, se instalaron sobre estructuras pre-existente, por lo

tanto el costo de la estructura aforadora es solo el costo de los accesorios para instalar los equipos (soportes, postes, etc.).

El costo del servicio de riego de arroz históricamente se paga por bolsas (equivalente a 50 kg) de arroz cáscara, sano seco y limpio por ha. Para la temporada 2016/17 el costo estuvo en 20 bolsas para la zona Este (encuesta de arroz zafra 216/17 DIEA). El costo de la bolsa de arroz se fija por convenio entre ACA y los productores todos los años, para la temporada se fijó en U\$S 9 (ACA 2018) por lo que el costo del servicio de riego en dicha temporada fue de U\$S/ha 180.

Todos los equipos considerados en este proyecto tienen un costo de amortización inferior al 5% del costo de riego si se considera el área máxima de riego. Considerando el área efectivamente regada, solo el caudalímetro electromagnético Seametric superó el 5% del costo de riego. No obstante, este equipamiento se decidió excluirlo del proyecto al no lograrse obtener del fabricante el protocolo informático necesario para implementar la transmisión de datos y por consiguiente no poder utilizarlo para la telemetría.

Tabla 5-9 Costo de los equipos y amortización, considerando el área (ha) efectivamente regadas en las ubicaciones donde se instalaron los equipos del proyecto (no son las superficies máximas)

Equipo	Estructura aforadora U\$S	Electronica U\$S	Costo total U\$S	Área de riego ha	Amortización anual U\$S/ha	Mantenimiento Anual U\$S/ha	Costo total anual/ha
Caudalímetro Electromagnético Seametrics	480	4292	4.772	77	16,08	8,66	24,74
Caudalímetro Electromagnético Darhor	690	2600	3.290	268	2,75	1,74	4,49
SPAY -gprs	120	1138	1,258	1081	0,3	0,23	0,53
Regla electrónica AgroTi	120	1719	1.839	778	0,60	0,62	1,22
Electroacustico Acequia Innova	200	1161	1.361	1.129	0,36	0,22	0,58
Electroacustico AgroTi	510	2638	3.148	2.657	0,41	0,20	0,61

Tabla 5-10 Costo total y su amortización anual de los sensores utilizados de acuerdo a la situación de medición y estructura de aforo utilizada 6 Conclusiones y recomendaciones

Equipo	Proveedor	Aplicaciones	Costo Total U\$S	Aurotización U\$S/año
ESPAY-gprs 1 Ha	Acequia Innova	Medición de carga en canales, aforadores, vertederos	1.138	285
ESPAY-gprs 1Ha y 1 hDif	Acequia Innova	Aforadores Sin cuello con sumergencia	1.273	318
ESPAY-gprs 1 Eco	Acequia Innova	Medición de carga en canales, aforadores, vertederos	1.161	290
ESPAY-gprs 1hDif	Acequia Innova	Venturis, placas de orificio, orificios sumergidos, estructuras de caños	1.147	287
Regla electrónica	AgroTI	Medición de carga en canales, aforadores, vertederos	1.866	467
Regla electrónica doble	AgroTI	Aforadores Sin cuello con sumergencia, estructuras de caños	2248	562
Electromagnetico inserción Darhor	AgroTI	Tubos en carga	2.600	650
Electromagnético inserción Seametric	AgroTI	Tubos en carga	4292	1.073
Electroacústico	AgroTI	Medición de carga en canales, aforadores, vertederos	2638	660

En la producción de caña de azúcar el costo de consumo energético es el 30 % del costo total de producción, por lo tanto es de U\$S/ha 170 (Fonseca 2016), se cumple también en este rubro que el costo de amortización no se supera el 5% del costo de riego.

El mantenimiento anual de los equipos, en promedio no superan los U\$S/ha 2 en todos los casos.

6.1 Estructuras de aforo

Todos los aforadores de lámina libre (ACA, Sin Cuello, vertederos triangular, rectangular, Cipolletti) en conjunción con medidores de carga (reglas electrónicas y sensores de presión diferencial), resultaron muy adecuados para la medición en canales.

Debe prestarse especial atención a la forma de instalación de los aforadores para lograr las condiciones requeridas para una medición precisa en el rango de caudales utilizado en cada sitio. Deben evitarse las situaciones que creen condiciones de sumergencia. En caso de que se prevea que esta se produzca, en función del régimen de operación del canal, se recomienda el uso de aforadores Sin Cuello con doble sensor para calcular la corrección del caudal en función del grado de sumergencia.

Los órganos deprimógenos (venturis y placas de orificio) con sensores de presión diferencial, son adecuados para rangos de caudales acotados, tales como bombeos y derivaciones más o menos fijas, aunque requieren mayor carga disponible. En particular las placas de orificio se adaptan muy bien ya que es posible ajustar el tamaño del orificio y tienen un costo menor que los venturi.

Es posible la utilización de las estructuras existentes en los sistemas de riego para el aforo de caudales, mediante una calibración previa mediante aforos con molinete. Esto permite la obtención de una función de descarga a partir de la carga o diferencia de nivel medida por los equipos electrónicos.

6.2 Equipos electrónicos de medición y transmisión

Los equipamientos evaluados en el presente proyecto, han resultado adecuados para controlar los caudales y medir los consumos reales de las chacras, en toda la gama de situaciones de aforo estudiadas.

Los sensores electroacústicos resultan tener mayor precisión y estabilidad en la medición de la carga que los piezo-resistivos.

La transmisión vía módem ha requerido varios ajustes del software (en algunos equipos) para optimizar la conectividad, lográndose mejoras, sin pérdidas de datos. Existen ventajas de los equipos dotados de datalogger por la mayor seguridad de los datos que pueden recuperarse mediante descarga vía cable a un computador, en caso de fallos en la transmisión telefónica.

La programación de interfase de usuario y la plataforma Web han funcionado adecuadamente. La versión Beta de la App desarrollada para smartphone que permite el acceso remoto a la medición instantánea de los equipos, ha resultado especialmente útil para el manejo de la red.

El sistema de alarmas de los equipos ha resultado muy útil para el control de los niveles de agua en la red de canales, posibilitando la ejecución de maniobras correctivas y prevenir fugas o roturas en la infraestructura.

6.3 Mejora de la gestión y rentabilidad de la tecnología

El análisis de la evolución de los niveles de agua en los canales, los caudales y los volúmenes de agua distribuidos por la red de canales y acequias, permite a los administradores de los sistemas de riego establecer estrategias de operación para mejorar la gestión. Esto permitiría reducir de los costos del riego y aumentar el área de producción con las mismas fuentes de agua.

Por otra parte, conocer el volumen real consumido en cada chacra es una herramienta útil para el productor para mejorar la eficiencia de riego, y la productividad del agua (kg de arroz por m³ de agua consumido).

El análisis económico de las diferentes combinaciones de estructura de aforo e instrumental electrónico, ha arrojado valores de cuotas de amortización y mantenimiento, en la mayoría de los casos, muy adecuadas en relación al costo del servicio de riego. No obstante, los valores resultan altamente dependientes del área regada en cada chacra por lo que su rentabilidad debe analizarse en caso de querer utilizarse esta tecnología a otros sistemas de riego

6.4 Recomendaciones

Los resultados obtenidos en el presente proyecto representan un importante avance en el desarrollo

de una tecnología de telemetría aplicada a sistemas de riego superficiales.

No obstante, se hace necesario abordar nuevos trabajos para resolver algunos aspectos que no han podido abarcarse en este proyecto. Entre estos aspectos destacamos los siguientes:

1. Desarrollo de sensores alternativos al electromagnético de inserción para la medición de caudal en tubos en carga, que resulten precisos y más económicos.

El logro de este objetivo daría solución definitiva a la medición del caudal y volumen de riego entregado a las parcelas, que mayoritariamente utilizan compuertas instaladas en tubos para la derivación desde los canales a las chacras. Se requiere un dispositivo con una muy reducida (casi cero) pérdida de carga para adaptarse a la totalidad de situaciones.

2. Ajuste de modelos de operación de redes de canales, basados en mediciones de caudal y tirante de agua en los canales, que optimicen la operación reduciendo los desperdicios de agua hacia drenajes y aseguren la dotación y caudales requeridos en los diferentes puntos del sistema y en particular en los puntos de entrega a los usuarios.
3. Automatización de las compuertas basadas en la telemetría de caudales y niveles y accionamiento remoto, de acuerdo a la modelización lograda en los trabajos mencionados en el punto 2.
4. Versiones avanzadas de los programas de control remoto y App para teléfonos celulares con incorporación de nuevas funcionalidades. Tanto las versiones del Programa de Control Remoto (para PC) y la App Acceso Remoto son versiones Betas que, aunque plenamente operativas, deben ser mejoradas para subsanar Bugs, y agregar funciones.
5. Investigación en tecnologías de aplicación del riego superficial más eficientes tales como el uso de mangas de riego, manejo de caudales, optimización de la sistematización, etc., tanto para el cultivo de arroz, caña de azúcar, maíz y pasturas (entre otros cultivos).

7 Bibliografía

ACA revista ARROZ Contra costos y clima revista N° 92. Disponible en: <http://www.aca.com.uy/wp-content/uploads/2017/12/Negociaci%C3%B3n-deprecio.pdf> 19/3/2018

AENOR 2003. Medición de caudal de fluidos mediante dispositivos de presión diferencial intercalados en conductos en carga de sección transversal circular. Parte 2: Placas de Orificio (ISO 5167-2:2003) Diciembre, 2003. Madrid.

AENOR 2003. Medición de caudal de fluidos mediante dispositivos de presión diferencial intercalados en conductos en carga de sección transversal circular. Parte 1: Principios y requisitos generales (ISO 5167-1:2003) Diciembre, 2003. Madrid.

AENOR 2003. Medición de caudal de fluidos mediante dispositivos de presión diferencial intercalados en conductos en carga de sección transversal circular. Parte 4: Tubos Venturi (ISO 5167-4:2003) Diciembre, 2003. Madrid.

Bentancor, L; Ruiz, A; Castaño, V y Durán, P. 2014. Tecnologías de medición y transmisión de datos en sistemas de riego por gravedad. 3er. Seminario Internacional de Riego en Cultivos y Pasturas "Dr. Mario García Petillo". Organizado por: Grupo Desarrollo de Riego Facultad de Agronomía e INIA. Paysandú, Uruguay.

Bentancor, L; Ruiz, A; Castaño, V y Durán, P. 2016. Medición de agua y transmisión de datos en sistemas de riego por gravedad. Jornada de presentación de los segundos resultados año en INIA 33, el día 23 de agosto del 2016. <https://www.youtube.com/embed/zlywONNXmLM?rel=0>

Bentancor, L; Ruiz, A; Castaño, V y Durán, P. 2016. Medición de agua y transmisión de datos en sistemas de riego por gravedad. Arroz Resultados Experimentales 2015-2016. INIA treinta y Tres. Actividades de Difusión 765. pp 23-25.

Bentancor, L; Ruiz, A; Castaño, V y Durán, P. 2016. Tecnologías de medición y transmisión de datos en sistemas de riego por gravedad. 11vo. Congreso nacional de Ingenieros Agrónomos. 4º encuentro Regional de Ingeniería Agronómica. Montevideo, Uruguay.

Bentancor, L; Ruiz, A; Castaño, V y Durán, P. 2017- Póster: "Telemetría de niveles, caudales y volúmenes de agua en sistemas de riego por gravedad" V Jornadas de ingeniería del Agua, JIA 2017, 25, 26 de octubre en la Coruña España. <http://geama.org/jia2017/wp-content/uploads/ponencias/posters/mo2.pdf>

Bentancor, L; Ruiz, A; Castaño, V y Durán, P. 2017. Tecnologías de medición y transmisión de datos en sistemas de riego por gravedad. XXVI Congreso Nacional del Agua CONAGUA, Cordoba, Argentina 2017. Pp 393-397. <https://drive.google.com/file/d/0B3FXQhYESxy7SHBoOTR4aVdPRG8/view>

Blanco, F y Roel, A 1994. Riego. Arroz. Resultados experimentales 1993-94. Actividades de difusión 25. INIA Treinta y Tres – Estación Experimental del Este Cap. 8 pp 1-25

Blanco, F y Roel, A. 1996. Riego. Arroz Resultados experimentales 1995-96. Actividades de difusión 103. INIA Treinta y Tres – Estación Experimental del Este Cap. 12 pp 1-10

Blanco, F y Roel, A. 1995. Riego. Arroz, Resultados experimentales 1994-95. INIA Treinta y Tres – Estación Experimental del Este, pp 10-1 a 10-23.
Blanco, F. 1986. Necesidades de agua en cultivos de arroz. Revista Arroz, año 5, N°13, 3ª época, pp28-30.

Blanco, F y Cota, M. 1985. Evaluación de instalaciones de bombeo mecánico. Revista Arroz, N° 9 pp 29-36.

Bos, M.G., Replogle, J. A. & Clemmens, A. J. 1986. "Aforadores de caudal para canales abiertos". Publication 38, International Institute for Land Reclamation and Improvement/ILRI, Wageningen, The Netherlands.

Cantou, G., Roel, A., Lavecchia, A. & García, C. 2010. Manejo del agua en arroz: conservación y uso eficiente. Seminario internacional Potencial del riego extensivo en cultivos y pasturas, Paysandú, 115-123.

DIEA Estadísticas Agropecuarias, 2017. Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca Disponible en www.mgap.gub.uy.

- DIEA Estadísticas Agropecuarias, 2017.** Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca ENCUESTA DE ARROZ Zafra 2016/17 serie encuestas 346. Disponible en http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/publicacion_final_para_la_web2017.pdf visitada 19/3/2018.
- Durán, P.J.** 2008. Una solución para la medición del agua en sistemas de riego por gravedad. Horticultura Internacional, N° 61, Año XV, pg.: 56-57.
- Durán, P.J.** 2002. Medidor de Volúmenes y Caudales de Riego. Patente de invención N° 27.261 (MIEM - Uruguay).
- Durán, P.J.** 2001. Riego por superficie en pasturas y semilleros, sobre rastros de arroz. Plan Agropecuario, N° 99, pg.: 51-52.
- Durán, P.J. & Cassani, M.R.** 2007. Contador de Agua de Riego y Mecanismo de Calibración y Regulación. Patente de invención N° P200700885 (OEPM – España)
- Durán, P.J. y García Petillo, M.** 1991. Medición de agua de riego: evaluación de dos aforadores de precisión y mínima pérdida de carga. Boletín de Investigaciones N° 32, F.A. – U.R.
- Fonseca, J.** 2016 Mejora de la eficiencia del riego en el sistema SOFORUCE. Proyecto Ejecutivo Estrategias Asociativas de Agua para la Producción. EAAP. 28pp
- García Petillo, M.** 2012. Principales efectos del desarrollo agrícola-ganadero sobre los Recursos Hídricos. Bases técnicas para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos En elaboración.
- García Ricci, A.** 1982. Manejo del agua en la producción de arroz. Revista Arroz N° 1 pp15-17.
- Roel, A.** 1999a. Riego en INIA Olimar. Manejo eficiente de la inundación. Arroz Resultados experimentales 1998-1999 INIA Treinta y Tres Actividades de difusión N° 194 Cap. 5 pp1-11.
- Roel, A.** 1999b. Riego en arroz: manejo eficiente de la inundación. INIA Treinta y Tres. Boletín de Divulgación N° 67. 16p.
- Roel, A.** 1998. Riego consumo de agua en diferentes manejos del riego. Arroz, Resultados experimentales 1997-1998. INIA treinta y Tres. Actividades de difusión N° 166. Cap. 12 pp 15-19
- Roel, A.; Blanco, F.** 1997. Riego consumo de agua en diferentes manejos de riego. Arroz, Resultados experimentales 1996-1997. INIA treinta y Tres. Actividades de difusión N° 135. Cap. 12 pp 17-20.
- Roel, A, Capurro, M. C. y Martinez, S..** 2012. Manejo del riego: productividad del Agua. Arroz, Resultados experimentales 2011-2012. INIA Treinta y Tres. Actividades de Difusión N° 686. Cap. 2. pp. 1-33.
- Ruiz, A. Rovira, R. y Capurro M. C.** 2012 . Sistemas de medición de agua en Chacras de arroz. Jornada técnica. Disponible en <http://www.inia.org.uy/online/site/98329211>. Vista 28/05/13.
- UNIT** 1991. ISO 5167-1 Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices. Part 1: Orifice plates, nozzles and Venturi tubes inserted in circular cross-section conduits running full. 15/12/1991, Montevideo.
- Skogerboe, G. V., Bennett, R. S. & Walker, W. R.** 1973. Selection and Installation of Cutthroat Flumes for Measuring Irrigation and Drainage Water. Colorado State University, Experiment Station, Fort Collins, Technical Bulletin 120.
- Skogerboe, G. V.; Hyatt, M. L.; Anderson, R. K; and Eggleston, K. O.** 1967. "Design and Calibration of Submerged Open Channel Flow Measurement Structures: Part 3 - Cutthroat Flumes". Reports. Paper 86. https://digitalcommons.usu.edu/water_rep/86
- Steduto P., T. Hsiao, E. Fereres y D. Raes** 2012 Rendimiento de los cultivos al agua. Estudio FAO Riego y drenaje 66 Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Roma (Italia).
- Temeepattanapongsa, S.** 2012. Unified Equations for Cutthroat Flumes Derived from a Three-Dimensional Hydraulic Model. All Graduate Theses and Dissertations. Paper 1308.

Impreso en Agosto de 2018
PRONTOGRAFICA S.A.
Cerro Largo 850 - Tel.: 2902 3172
E-mail: prontografica@prontografica.com.uy
Depósito Legal 374.079

INIA Dirección Nacional
Andes 1365 P. 12
Montevideo
Tel.: ++598 2902 0550
Fax: ++598 2902 3633
iniadn@inia.org.uy

INIA La Estanzuela
Ruta 50 Km. 11
Colonia
Tel.: ++598 4574 8000
Fax: ++598 4574 8012
iniale@le.inia.org.uy

INIA Las Brujas
Ruta 48 Km. 10
Canelones
Tel.: ++598 2367 7641
Fax: ++598 2367 7609
inia_lb@lb.inia.org.uy

INIA Salto Grande
Camino al Terrible
Salto
Tel.: ++598 4733 5156
Fax: ++598 4732 9624
inia_sg@sg.inia.org.uy

INIA Tacuarembó
Ruta 5 Km. 386
Tacuarembó
Tel.: ++598 4632 2407
Fax: ++598 4632 3969
iniatbo@tb.inia.org.uy

INIA Treinta y Tres
Ruta 8 Km. 281
Treinta y Tres
Tel.: ++598 4452 2023
Fax: ++598 4452 5701
iniatt@tyt.inia.org.uy