

MEDICIÓN DEL AGUA DE RIEGO

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

- ¿Qué es caudal?
 - ¿Cómo se calcula el caudal de agua de riego?
-

01. Aforo con flotador. Método de la sección mojada y velocidad.

02. Aforo por compuerta.

03. Aforadores.

- Aforador sin cuello (parshall).
 - Aforador de creta ancha.
-

04. Aforador de perforación.

05. Experiencias de aforo.

Carrión, Rolando
Manual de capacitación : medición del agua de riego / Rolando Carrión;
Diego La Mattina. - 1a ed. edición especial. - Rivadavia : Marta Laura
Paz, 2015. 31 p. ; 23 x 17 cm.

Edición para UCAR. Unidad para el Cambio Rural
ISBN 978-987-33-8775-3

1. Agua de Riego. 2. Medición. I. La Mattina, Diego II. Título
CDD 333.913



INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la relación que existe entre el tipo de suelo, el agua y el cultivo, permite aplicar el agua en los volúmenes y cantidades convenientes, según el sistema de riego a utilizar.

En una zona bajo riego, la medición del agua es esencial para la distribución equitativa de la misma, tarea que es efectuada por el Departamento de Hidráulica en la red pública de riego. Al nivel de propiedad, es necesario que el agricultor sepa cuánta agua está aplicando a la parcela, para un máximo aprovechamiento del recurso y evitar perjuicios.

¿QUÉ ES
AFORAR?

Es el procedimiento por el cual se mide el caudal que pasa por un determinado lugar.

¿QUÉ ES
CAUDAL
(Q)?

Cantidad de agua que pasa por un cierto lugar en un tiempo determinado.

¿CÓMO SE
CALCULA
EL CAUDAL
DEL AGUA DE
RIEGO?

Existen diferentes métodos para medir caudales de riego en finca. En esta oportunidad se desarrollarán en forma práctica cuatro de ellos.

- Aforo con flotador.
- Aforo con compuerta.
- Aforadores.
- Aforo de perforaciones.

01. AFORO CON FLOTADOR. MÉTODO DE LA SECCIÓN MOJADA Y VELOCIDAD.

¿CUÁNDO
SE PUEDE
APLICAR
ESTE MÉTODO?
¿Y CÓMO SE
REALIZA?

Este procedimiento se puede emplear en canales, acequias de tierra, etc. donde sea posible medir la sección del cauce hasta el nivel del agua (en m^2).

En acequias de tierra, si el cauce es muy irregular o presenta malezas, conviene mejorarlo con pala en un tramo (unos 10 m.) para que quede con forma rectangular o semicircular.

El método consiste en determinar la velocidad media del agua, arrojando un elemento que flote (trozo de madera, corcho, etc.), y midiendo el tiempo (en segundos) que demora en recorrer el trayecto acondicionado.

Se calcula la velocidad dividiendo el **espacio recorrido** en el **tiempo transcurrido**. Esto debe repetirse al menos tres veces y promediar.

El valor obtenido se lo multiplica por un valor que depende de las características de la pared: **LISA 0,80; RUGOSA 0,75; IRREGULARES 0,70.**

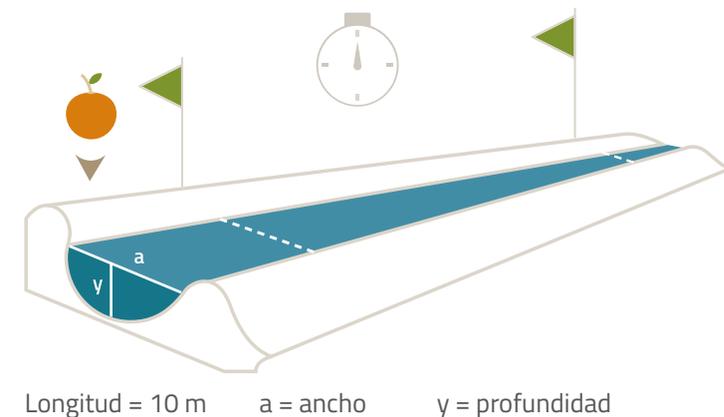


Fig. 1 Método de la sección mojada y velocidad.



Fig. 2 Método de la sección mojada y velocidad.

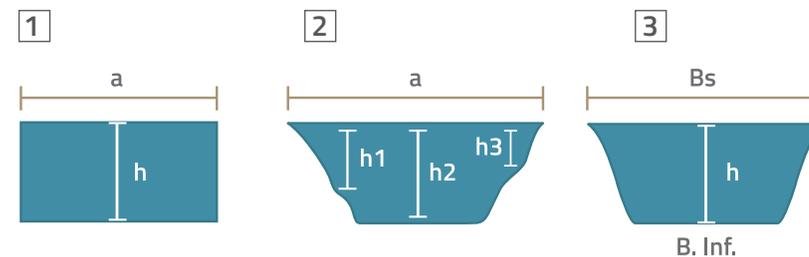


Fig. 3 Cálculo de superficie para distintas secciones de canales.



El cálculo a realizar es:

$$\text{Caudal (m}^3/\text{seg)} = \text{Velocidad media (m/seg)} \times \text{sección (m}^2\text{)}.$$

Para pasarlo a litros/seg se lo multiplica por 1000.

¿CÓMO SE MIDE LA "SECCIÓN"?

Para calcular la **sección*** o área del tramo a medir, se procede a tomar la profundidad al medio del cauce (h) y si el fondo del cauce es irregular, se procede a tomar las diferentes profundidades y promediar, luego se multiplica a dicha profundidad o profundidad promedio por el ancho del cauce (a) medido donde toca el nivel del agua en la tierra. Como las unidades son m, el resultado es m².



FOTO 01
Medición de sección de ramo.

* Sección: Espacio o área entre las paredes del canal y el pelo de agua.



El cálculo a realizar es:

- 1 Área= a.h
- 2 Área= a .(h1+h2+h3)/3
- 3 Área= (Bs+B.inf.)/2.h

EJEMPLO

Se tomaron 3 determinaciones de velocidad medidos con flotador a 10 m de distancia, dando las lecturas 18, 16 y 15 segundos, el valor promedio es (18+16+15)= 49, dicho valor dividido por 3 da 16 segundos como promedio.

La velocidad resultante será entonces 10 m dividido 16 segundos= 0,625 m/segundo. Para obtener la velocidad media se lo multiplica por un factor dependiendo del estado de la acequia o cauce. En este caso es un cauce con algo de maleza y rugoso, por lo que C= 0,75. Por consiguiente 0,625 x 0,75 = 0,47 m/s, que es la velocidad media que lleva el agua en la acequia (los valores normales de acequias en tierra se encuentran entre 0,30 a 0,80 m/s y en canales revestidos entre 0,40 a 1,50 m/s).

La medición de sección (área) del cauce dió una profundidad de 0,45 m medido desde el pelo o tirante del agua al fondo, y que el ancho del cauce (a) es de 0,83 m. Por consiguiente el área es igual a 0,45 m x 0,83 m = 0,37 m².

El caudal resultante será, por consiguiente, la multiplicación de la velocidad por el área o sea 0,47 m/s x 0,37 m² = 0,174 m³/s. Se multiplica x 1000 y da litros por segundo = 174 l/s.

02. AFORO POR COMPUERTAS

¿EN QUÉ CONSISTE ESTE MÉTODO?

Las compuertas se consideran orificios de área hidráulica regulable y son las más usadas en los diferentes canales para controlar la distribución o entrega de agua en las propiedades. El personal del Departamento de Hidráulica las utiliza para regular y distribuir el caudal a entregar. Para conocer el caudal se mide el ancho de la compuerta, la abertura y la altura de agua.

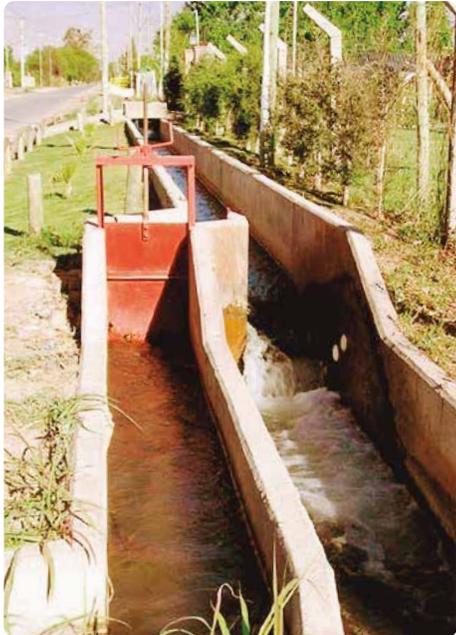


FOTO 02
Compuerta frontal.



FOTO 03
Aforo de compuerta.

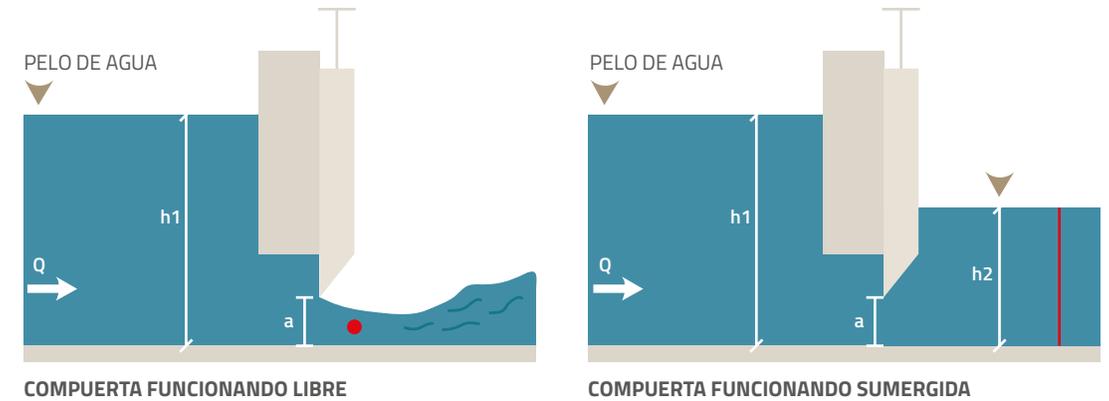


Fig. 4 Funcionamiento de compuerta.

El caudal se calcula con la siguiente fórmula, teniendo en cuenta la figura:



El cálculo a realizar es:

$$Q = \mu \cdot a \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

Donde:

Q= caudal que pasa por la compuerta (en litros por segundo).

μ = coeficiente de gasto. En este caso es igual a 0,65.

a= abertura de la compuerta para dejar pasar el caudal. Se mide desde el fondo del canal al borde inferior de la compuerta (en metros).

b= ancho de la obra de hormigón o ladrillo donde se encuentra la compuerta (en metros).

g= aceleración de la gravedad = 9,81 m/seg².

h= altura del nivel del agua, aguas arriba de la compuerta (en metros).

$$H = h1 - (a/2)$$

h1= tirante aguas arriba de la compuerta (carga). Solo se usará esta fórmula para la compuerta que trabaja libre (ver figura).

$$H=h1-h2$$

h1 = tirante aguas arriba de la compuerta (carga)

h2 = tirante aguas abajo de la compuerta (contra carga). Se usará esta fórmula para cuando **trabaja ahogada***.



FOTO 04
Medición del nivel de agua arriba de la compuerta.



A TENER EN CUENTA

Para evitar los cálculos, existen **tablas** que **dan** directamente **el caudal** en función del nivel H medido en la escala aguas arriba de la compuerta (en metros) desde el centro de la apertura al pelo de agua.

Una de ellas es la desarrollada por el Departamento de Hidráulica de San Juan, en el año 1972, **la cual se adjunta en el anexo***. El caudal se expresa en litros por segundo y por metro de ancho de la compuerta. Para saber el caudal de una compuerta determinada, hay que multiplicar por el ancho de dicha compuerta.

* **Trabaja ahogada**
Una compuerta trabaja ahogada cuando, a la salida de la misma, el agua no puede fluir libremente.

* Ver Tabla adjunta al final de la publicación.

EJEMPLO

Se tiene una compuerta, cuya apertura "a" da 0,175 m y la lectura de la escala aguas arriba da un h= 0,35 m. ¿Cuál será el caudal de esa compuerta, cuyo ancho b= 0,60 m? Se calcula H como el "tirante agua arriba" menos la "apertura de la compuerta" dividido en dos:

$$H=0.35-(0.175/2)=0.26$$

De la tabla anexa, se busca la altura H= 0,26 m y luego la apertura a= 0,175, dando como resultado el valor de 257. A dicho valor, que es caudal por 1 m de ancho de compuerta, se lo multiplica por el ancho de dicha compuerta que es de 0,60 m
 $Q= 257 \times 0,60 = 154.2 = 154$ litros por segundo, que están pasando por esa compuerta.

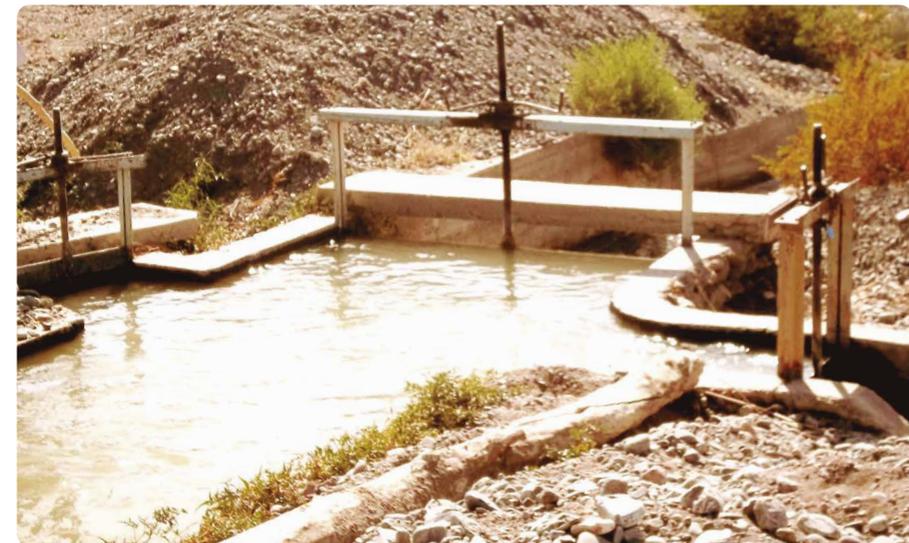


FOTO 05
Compuertas frontal y lateral.

03. AFORADORES

¿EN QUÉ CONSISTE ESTE MÉTODO?

Un aforador es un dispositivo que sirve para determinar el caudal de una corriente de agua. Existen varios tipos distintos, aunque los más utilizados se pueden resumir en dos:

- Aforador sin cuello.
- Aforador de cresta ancha.

Aforador sin cuello

Características:

- Fondo y paredes planas.
- Sección de entrada convergente.
- Sección de salida divergente.
- De chapa o fibra de vidrio (portátiles).
- De hormigón (fijos).
- Pueden trabajar libres o ahogados.



FOTO 06
Aforador para pequeños caudales.



FOTO 07
Aforador sin cuello.

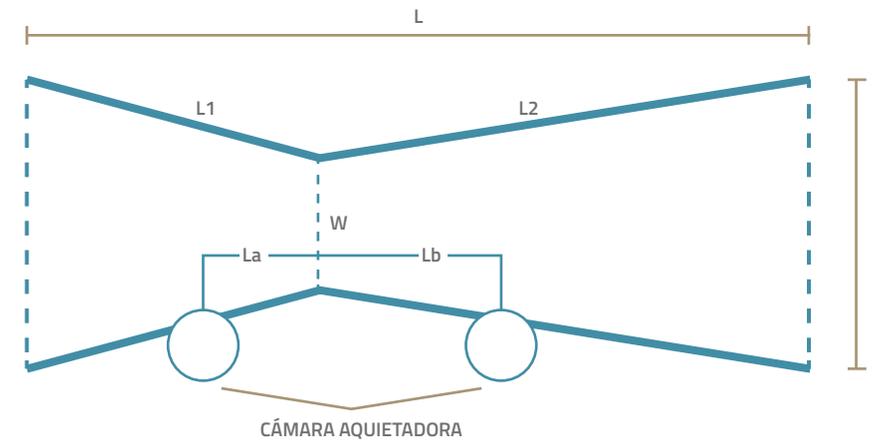


Fig. 5 Plano constructivo aforador sin cuello tipo.

W x L (aforador)	10x90	30x90
W (ancho de garganta)	10 cm	30 cm
B (sección de entrada y salida)	30 cm	50 cm
L1	30 cm	30 cm
L2	60 cm	60 cm
La	20 cm	20 cm
Lb	50 cm	50 cm
Profundidad o altura	50 cm	60 cm
Máximo caudal ahogado	81 l/s	250 l/s
Máximo caudal libre	82 l/s	253 l/s

Cuadro 01 Medidas constructivas para el aforador sin cuello 10x90 y 30x90.



Ecuación de gasto para aforador 30 x 90

$$Q = C \times (Ha)^n$$

$$Q = C \times (Ha)^n$$

Q = caudal en litros/segundo.
C = 0.099 (coeficiente para eforador 30 x 90).
n = 1.82 (coeficiente para aforador 30 x 90).
Ha = medición del aforador aguas arriba en metros.

Lect = Lectura de la regla en centímetros.

Q = caudal en litros/segundo.

Lectura (cm)	Q (l/s)
3	1.7
4	2.8
5	4.2
6	5.9
7	7.8
8	10.0
9	12.4
10	15.0
11	17.8
12	20.9
13	24.2
14	27.6
15	31.3
16	35.2
17	39.4
18	43.7
19	48.2
20	52.9
21	57.8
22	62.9
23	68.2
24	73.7
25	79.4

Cuadro 02 Tabla de medición directa aforador 30 x 90.

AFORADOR DE CRESTA ANCHA

Principales características:

- Fondo y paredes planas.
- Fácil construcción.
- De chapa o fibra de vidrio (portátiles).
- De hormigón (Fijos).
- Solo pueden trabajar libres.

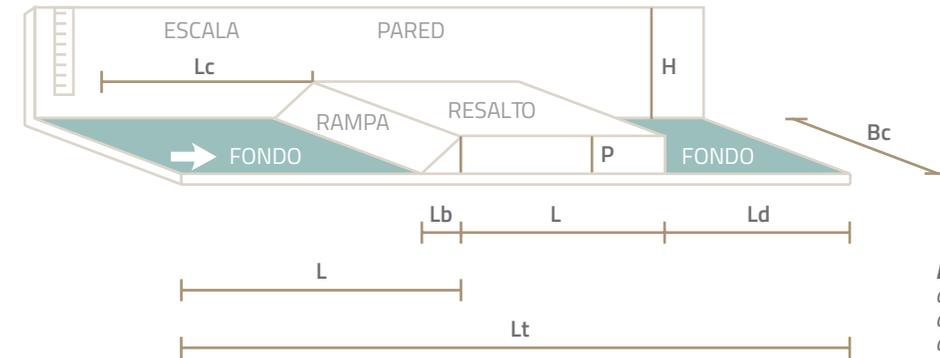


Fig. 6 Plano constructivo de aforador cresta ancha tipo.

ANCHO ACEQUIA METROS (bc)	CAUDAL A MEDIR LITROS/SEG (Q)		TRAMO		RESALTO				RAMPA LARGO METROS (Lb)	ESCALA DISTANCIA AL RESALTO METRO (Lc)
			Largo metros (Ll)	Altura metros (H)	Tamaño		Ubicación			
					alto (P)	largo (L)	comienzo (Lr)	final (Ld)		
0,5	6	190	1,8	0,5	0,1	0,5	0,8	0,5	0,3	0,7

Cuadro 03 Medidas constructivas para el aforador cresta ancha 50 x 180.



FOTO 08 Aforador cresta ancha.



Ecuación de
gasto para
aforador 50 x 180

$$Q = 0,1364x Lect^2 (cm)^2 + 1,4757x Lect (cm)$$

Q = Caudal en litros/segundo.

Lect = Lectura de la regla en centímetros.

Lectura (cm)	Q (l/s)
1	1.7
2	3.6
3	5.8
4	8.3
5	11.0
6	14.0
7	17.3
8	20.8
9	24.6
10	28.7
11	33.1
12	37.7
13	42.6
14	47.7
15	53.1
16	58.8
17	43.7
18	71.0
19	77.5
20	84.3
21	91.3
22	98.6
23	106.2
24	114.0
25	122.1

Cuadro 04 Tabla de medición directa
aforador cresta ancha 50 x 180.

FORMAS DE REALIZAR LA INSTALACIÓN

▪ A nivel

El fondo del aforador tiene que estar nivelado; para esto se ocupa un nivel de gota.



▪ En tramos rectos

Tenemos que buscar una sección de canal que sea lo más recta posible, de unos 10m, y que carezca de obras que obstruyan el libre paso del agua.



▪ Afirmary compactar el suelo en la entrada

El suelo tiene que estar bien compactado en la entrada del aforador para que el agua no lo socave.



04. AFORO DE PERFORACIONES

¿EN QUÉ CONSISTE ESTE MÉTODO?

Para poder medir el caudal en una perforación necesitamos contar con una regla que tenga adosado un péndulo de 31 cm de largo. El procedimiento es el siguiente: colocamos la regla a la salida de la perforación paralelo al caño y movemos el péndulo hasta que este baje en forma perpendicular y apenas deja de tocar el agua esa es una medida "a".

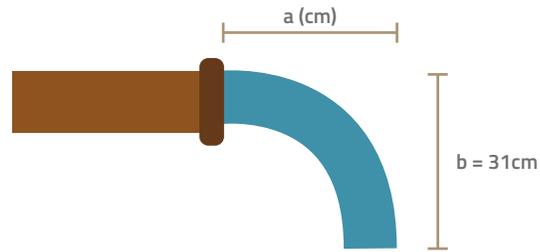


Fig. 7 Esquema para medir el caudal en perforación.



El cálculo a realizar es:

$$Caudal = a.k$$

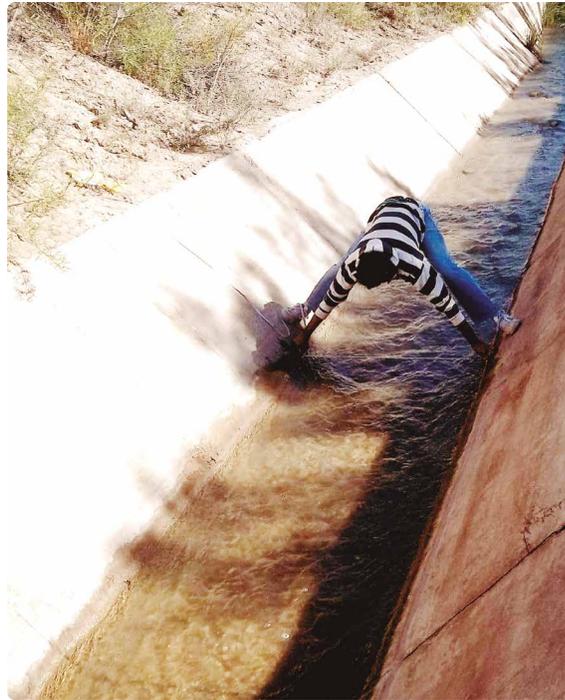
Donde para determinar K se mide el diámetro del caño de la perforación en pulgadas y el porcentaje de llenado con estos datos se ingresa a la siguiente tabla y obtenemos la constante.

k = Para expresar Q en 1/hora, "a" en cm.

Diámetro		d / D									
Pulg.	cm	Lleno	9/10	8/10	7/10	6/10	5/10	4/10	3/10	2/10	1/10
2	5,0	288,0	273,6	244,8	216,0	187,2	144,0	115,2	72,0	43,2	14,4
3	7,6	532,8	619,2	561,6	489,6	417,6	331,2	244,8	172,8	86,4	28,8
4	10,0	1.166,4	1.108,8	1.008,0	878,4	734,4	597,6	432,0	288,0	172,8	57,6
5	12,7	1.824,1	1.728,0	1.562,4	1.300,8	1.141,2	914,4	680,4	457,2	259,2	93,6
6	15,2	2.620,8	2.421,2	2.246,4	1.958,4	1.641,6	1.310,4	979,2	662,4	374,4	129,6
8	20,3	4.665,6	4.420,8	4.003,2	3.484,8	2.923,2	2.332,8	1.742,4	1.180,8	662,4	244,8
10	25,4	7.300,8	6.912,0	6.264,0	5.457,6	4.564,8	3.643,2	2.721,6	1.843,2	1.036,8	374,4
12	30,5	10.626,4	9.979,2	9.028,8	7.862,4	6.595,2	5.270,4	3.931,2	2.649,6	1.497,6	547,2
14	35,6	14.299,2	13.550,4	12.268,8	10.699,2	8.942,4	7.156,8	5.342,4	3.614,4	2.030,4	748,8
16	40,6	18.676,8	17.712,0	16.012,8	13.968,0	11.707,2	9.345,6	6.969,6	4.708,8	2.664,0	964,8



05. EXPERIENCIAS DE AFORO



Este manual ha sido realizado y producido en el marco de los proyectos de riego que la Provincia de San Juan lleva adelante a través del Ministerio de Producción y Desarrollo Económico, en articulación con el Departamento de Hidráulica y el INTA, con el financiamiento del Programa de Servicios Agrícolas Provinciales, PROSAP/UCAR.

AUTORES

Esp. Rolando Carrión PROSAP: Resp Riego, Tec. Diego La Mattina: PROSAP: equipo de riego, Tec. Gabriel Navarro: PROSAP: equipo de riego.

EQUIPO PROSAP/INTA

Ing Hector Llera PROSAP: Coordinador Unidad Ejecutora Central Provincial de Proyectos Agropecuarios- UECPPA - MPyDE San Juan. Ing. Marta Paz, Ing. Orlando González, Ing. Nicolás Ciancaglini, Ing. Maximiliano Delgado, Ing. Mauro Cippitelil, Ing. Diego Molina; Lic. Luisa Graffigna; Lic. Lourdes Reggio, Esp. Rolando Carrión, Lic. Renata Campi, Lic. Natalia Casadidio, Lic. Gabriela Tomsig, Tec. Daniel Sagua, Tec. Gabriel Navarro, Ing. Agr. Juan M Gioja, Tec. Sergio Montaña, Tec. Federico Romero, Tec. Federico García, Tec. Alfredo Reyes, Tec. Luis González, Tec. Mariela Morales, Tec. Fabián Abad. **Técnicos INTA:** Ing. German Babelis; Esp. en RyD Mario Liotta, Ing. Alfredo Olguín, Tec. Pedro Gil e Ing. Débora Lavaderos.

