

DGIAR

Dirección
General de
Infraestructura
Agraria y Riego



MINISTERIO
DE AGRICULTURA
Y RIEGO



Manual N° 5

Medición de agua

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO
VICEMINISTERIO DE DESARROLLO DE INFRAESTRUCTURA AGRARIA Y RIEGO
DIRECCIÓN GENERAL DE INFRAESTRUCTURA AGRARIA Y RIEGO - DGIAR

La Dirección General de Infraestructura Agraria y Riego –DGIAR, tiene entre sus funciones normar respecto a proyectos de riego, elaborar guías y manuales de riego, así como realizar la capacitación a los agricultores.

Av. Guillermo Prescott N° 490
San Isidro - Lima
Teléfono: (01) 2015070

Ministro de Agricultura
Eco. Juan Manuel Benites Ramos

Viceministro de Políticas Agrarias
Eco. César Sotomayor Calderón

Viceministro de Desarrollo e Infraestructura Agraria y Riego
Ing. Jorge Montenegro Chavesta

Director de la Dirección General de Infraestructura Agraria y Riego
Ing. Luis Alberto Cornejo Navarretty

Elaborado por la Coordinación de Estudios de la DGIAR

Coordinador	: Ing. Alberto Nuñez Leonardo
Especialistas	: Ing. Ángel Rosales Rivera Ing. Raúl Caro Díaz Econ. Luz de María Gamarra Alegre
Apoyo	: Bach. Enzo Pablo Hurtado Mena

Participación de la Autoridad Nacional del Agua –ANA
Ing. Luis Apolinario Torres

Primera Edición :
200 ejemplares, Octubre 2014

Segunda Edición :
200 ejemplares, Setiembre 2015

INTRODUCCIÓN

El Ministerio de Agricultura y Riego - MI NAGRI, a través de la Dirección General de Infraestructura Agraria y Riego - DGIAR y de las unidades ejecutoras del Sector como: PSI, AGRO RURAL y 9 Proyectos Especiales, vienen ejecutando proyectos de riego, a fin de mejorar e incrementar la producción agrícola del país.

Los estudios post-ejecución de los proyectos de riego han demostrado que los agricultores requieren ser capacitados en la medición de caudales en sus sistemas de riego. Para ello deben aprender a aforar o medir la cantidad de agua que pasa en su canal, bocatoma y canales de distribución y demás estructuras hidráulicas.

Este manual tiene como propósito, proveer de información básica necesaria para la capacitación en MEDICIÓN DE CAUDALES para las organizaciones de riego y podrán a través del presente manual, tener los criterios básicos para realizar la medición del agua en sus sistemas de riego.

AFOROS O MEDICIONES DE CAUDALES EN CANALES.

Para el agricultor que dispone de agua para regar es importante conocer la cantidad de agua (caudal) que recibe en el predio, la que transportan los canales, o poder determinar el caudal que entregan algunas estructuras como los sifones, por lo que se ha estimado conveniente dar a conocer algunos métodos.

MÉTODO DEL FLOTADOR.

- Este método es el más sencillo, pero sólo permite estimar en forma aproximada el caudal.
- Se debe estimar la velocidad del agua y el área del canal.
- El Cálculo del caudal estimado se determina mediante la siguiente expresión matemática:

$$Q = F_c \times A \times (L/T)$$

Donde:

Q	=	es el caudal, en m ³ /s
L	=	es la longitud entre el Pto. A y B en metros
A	=	es el área, en m ²
T	=	es el tiempo promedio en segundos
F _c	=	es el factor de corrección

Donde F_c es un factor de corrección relacionado con la velocidad.

El valor de F_c se debe seleccionar de acuerdo al tipo de río o canal y a la profundidad del mismo, de acuerdo a los valores del siguiente cuadro:

Cuadro 1. Determinación de Factor de Corrección Fc para cálculo de caudales por el método del Flotador

TIPO DE CAUCE	FACTOR DE CORRECCIÓN FC
Canal revestido en concreto, profundidad del agua > 15	0.8
Canal en Tierra, profundidad del agua > 15 cm	0.7
Riachuelos profundidad del agua > 15 cm	0.5
Canales de tierra profundidad del agua < 15 cm.	0.25 – 0.5

El valor promedio obtenido del caudal de agua estudiada permitirá no sólo conocer el volumen de agua del que se dispone por unidad de tiempo, información importante a la hora de tomar decisiones sobre posibles proyectos de riego.

Para ello debemos seguir los siguientes pasos:

a) Primer Paso: Seleccionar el lugar adecuado.

Se selecciona en el río o canal un tramo recto y uniforme, de preferencia sin piedras grandes, ni troncos de árboles, en el que el agua fluya libremente, sin turbulencias, ni impedimentos, que sea recto y de sección transversal uniforme, cuya longitud de ser alrededor de 5 a 10 metros de largo, donde el agua escurra libremente. Midiendo con una wincha (ver Figura 1).

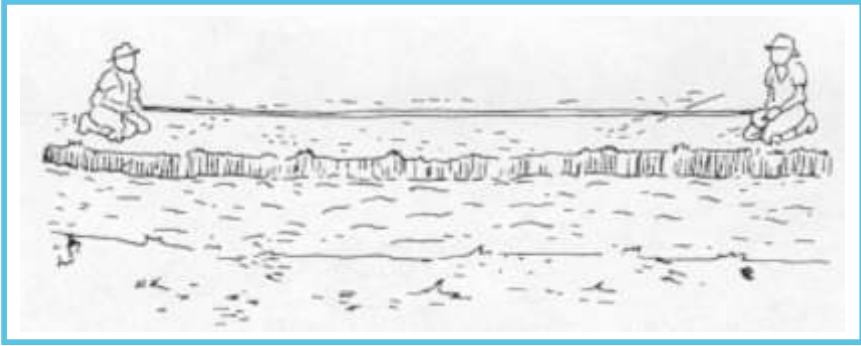


Figura 1. Elegir un sector del canal lo más recto posible y medir entre 5 y 10 metros

En el tramo seleccionado ubicar dos puntos A (de inicio) y B (de llegada), en el que deberán colocar estacado en los extremos del canal o cauce, respectivamente.



Figura 2. Marcar con alambre o cordel sobre el canal el inicio y el término del sector a medir.

b) Segundo Paso: Medición del área del cauce o canal

Se divide el ancho del cauce o canal en tramos iguales pueden ser cada 10 a 40 cm según el ancho.



Figura 3. Medir el ancho del canal

Para determinar los puntos donde se medirá la altura del agua; en el ejemplo estos puntos están a 30 cm (ver Figura 4).

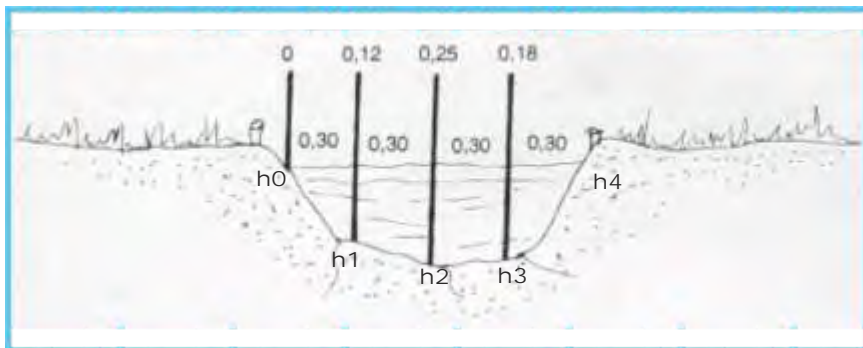


Figura 4. Hacer divisiones entre 25 y 40 cm y medir la profundidad del agua

Para ello se determina lo siguiente:

El ancho se divide en tramos iguales e siendo e_i y e_f diferentes por tener mayormente secciones trapezoidales.

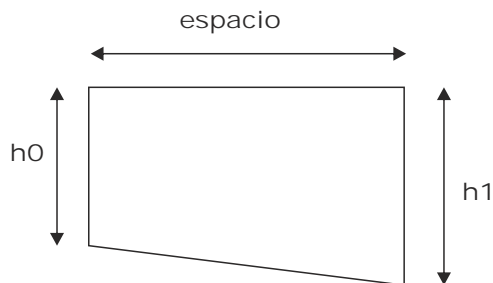
De la figura 4, se tiene los datos medidos:

espacios	metros	Profundidad	Cantidad (m)
e 0	0.0	h 0	0.0
e 1	0.30	h 1	0.12
e 2	0.30	h 2	0.25
e 3	0.30	h 3	0.18
e 4	0.0	h 4	0.0
e 5		h 5	
e		h 6	

Calculo de las áreas:

En este caso de tendrá que calcular 4 áreas el mismo que guarda relación con los espacios e_i .

El área se calcula como un trapecio recto.



$$\text{Área } i = \frac{(h_0 + h_1)}{2} * e$$

espacios	metros	Profundidad	Cantidad (m)	Área Parcial
e 0	0	h 0	0	0
e 1	0.3	h 1	0.12	0.018
e 2	0.3	h 2	0.25	0.0555
e 3	0.3	h 3	0.18	0.0645
e 4	0.3	h 4	0	0.027
e 5		h 5		
e		h 6		
Área total (m ²)				0.165

El área de la sección media es $A = 0.165 \text{ m}^2$

c) Tercer paso: Medición de la Velocidad del agua (V).

En el paso 1, determinamos la Longitud entre el punto A y B, para nuestro caso $L = 10.00 \text{ m}$

Ahora procederemos a seguir las pautas de la Figura 5 al 7, repitiendo al menos 5 veces la medida del tiempo, que demora al flotador en recorrer los 10 metros.



Figura 5. Lanzar el flotador al canal 3 metros antes del punto A



Figura 6. Cuando el flotador pasa por la línea del punto inicial A avisara con un grito al personal que se ubica en el Punto de la Línea B para que inicie el conteo a través de un cronometro de tiempo.



Figura 7. Cuando el flotador pasa por la segunda medida, se termina de tomar el tiempo. Se recupera el flotador. Con el tiempo determinado se apunta en el cuaderno, esta acción se realiza mínimo 5 veces

Cálculo de Tiempo promedio de recorrido del flotador:

Tiempo	Segundos.
T1	69
T2	63
T3	66
T4	68
T5	65
Tiempo promedio (Tp)	66.20

Cálculo de la Velocidad $V = L / T_p$

$$V = \frac{10 \text{ (m)}}{66.20 \text{ (seg)}} = 0.15 \text{ m/s.}$$

Cálculo del Caudal Q:

$$Q = f_c \times A \times V$$

Considerando que la sección presenta un canal en tierra mayor de 15 cm del cuadro 1 consideramos el valor de 0.7

$$\text{El } f_c = 0.7$$

Reemplazando los valores calculados determinamos el caudal aforado.

$$Q = 0.7 \times 0.165 \text{ (m}^2\text{)} \times 0.15 \text{ (m/s)}$$

$$Q = 0.017 \text{ m}^3\text{/s.}$$

$$Q = 17 \text{ l/s.}$$



MÉTODO VOLUMÉTRICO.

La aplicación de este método es para determinar caudales de manantiales, es decir caudales muy pequeños, que en proyectos de riego se utiliza para poder determinar la capacidad de un reservorio nocturno a ser almacenado con agua de manantiales.



Este método se basa en medir el tiempo que demora en llenarse un balde de un volumen conocido. Al dividir la capacidad del balde (litros) por el tiempo empleado (segundos) se obtiene el caudal en l/s, como se indica en la siguiente fórmula:

$$\text{Caudal (l/s) } Q = \frac{\text{Volumen del balde (litros)}}{\text{Tiempo que demora en llenarse (s)}}$$

Como toda el agua se debe recibir en un balde u otro recipiente, este método sirve para medir caudales no muy grandes, como el caudal de manantiales, reservorios, sifones, caja de distribución, caudal en un surco, la descarga de algunos aspersores, salidas de sistemas californianos.

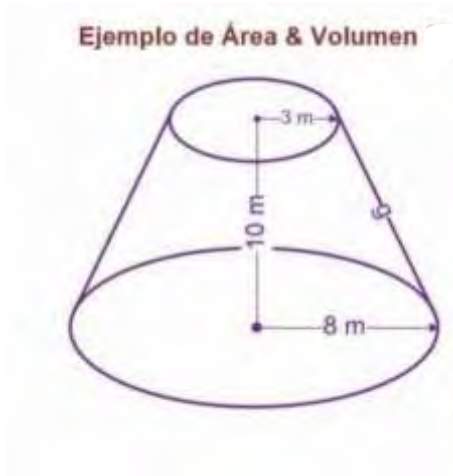
CASO A: Cuando no se conoce el volumen del recipiente.

Quando se tiene baldes y no se sabe cuánto es el volumen, ésta se debe calcular mediante la siguiente expresión:



$$\text{Vol} = 3.1416 \times h (R^2 + r^2 + Rr)$$

El balde se voltea hacia abajo y se mide de la siguiente forma con una wincha :



Radio menor $r = 0.10 \text{ m}$.

Radio Mayor $R = 0.15 \text{ m}$.

Profundidad del balde $h = 0.30$

$$\text{Volumen} = \frac{3.1516 \times 0.30 (0.15^2 + 0.10^2 + 0.15 \times 0.10)}{3}$$

$$\text{Volumen} = 0.00149226 \text{ m}^3$$

Si : $1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ litros}$.

Entonces el Volumen en Litros.

$$\text{Sera Volumen} = 0.0149226 \times 1000 = 14.92 \text{ litros}$$

b) Determinación del Tiempo de llenado (T)

Para determinar el tiempo de llenado del recipiente se debe considerar como medición 5 mediciones a fin de determinar un tiempo promedio



Tiempo de llenado	Segundos.
T1	5.9
T2	6.1
T3	6.1
T4	6.2
T5	5.9
Tiempo promedio (T)	6.04

Calculo del Caudal

$$V = \frac{\text{Volumen}}{\text{Tiempo}} = \frac{14.92 \text{ l}}{6.04 \text{ s}} = 2.47 \text{ l/s}$$

CASO B: Cuando se tiene determinado el Volumen del recipiente

Se puede determinar el caudal, para recipientes con volúmenes conocidos de 5, 10 y 20 l, y se determina el tiempo promedio que demora en llenarse el balde, el mismo que es determinado con cronómetro.

Con estos dos datos se puede determinar en el cuadro 3 el caudal en relación al tiempo y volumen.

Cuadro 3. Tabla para determinar el caudal (l/s) según el tiempo empleado para llenar distintos volúmenes

Tiempo Empleado (s)	Volumen del recipiente		
	5 lt	10 lt	20 lt
1	5,00	10,00	20,00
2	2,50	5,00	10,00
3	1,63	3,33	6,66
4	1,25	2,50	5,00
5	1,00	2,00	4,00
6	0,83	1,67	3,33
7	0,71	1,42	2,86
8	0,63	1,25	2,50
9	0,55	1,11	2,22
10	0,50	1,00	2,00
11	0,45	0,90	1,81
12	0,42	0,83	1,67
13	0,38	0,77	1,54
14	0,36	0,71	1,43
15	0,33	0,66	1,33
16	0,32	0,63	1,25
17	0,29	0,59	1,18
18	0,28	0,56	1,11
19	0,28	0,53	1,05
20	0,25	0,50	1,00
21	0,24	0,48	0,95
22	0,23	0,45	0,90
24	0,21	0,42	0,83
25	0,20	0,40	0,80

Ejemplo:

Si el balde tiene un volumen de 10 litros y el tiempo de llenado promedio determinado es $T = 6$ segundos.

Entonces del cuadro 3, se puede determinar que el caudal es 1.67 l/s.

PARA SABER CUANTA AGUA ENTRA A TU PARCELA.

AFORADOR RBC.

El aforador RBC fue desarrollado por Replogle, Bos y Clemmens en 1984. El cual constituye una estructura portátil para la medición de caudales basada en el funcionamiento de provocar un flujo de régimen crítico.

El Aforador RBC tiene varias aplicaciones, en canales pequeños de tierra, canales parcelarios, pequeños cursos de agua; con el propósito de realizar estudios y/o evaluaciones sobre eficiencias en sistemas de riego.

Su uso es muy aplicado a nivel parcelario y en pequeños canales cuyo caudal máximo a medir es de 50 l/s.



CONDICIONES PREVIAS PARA SU USO.

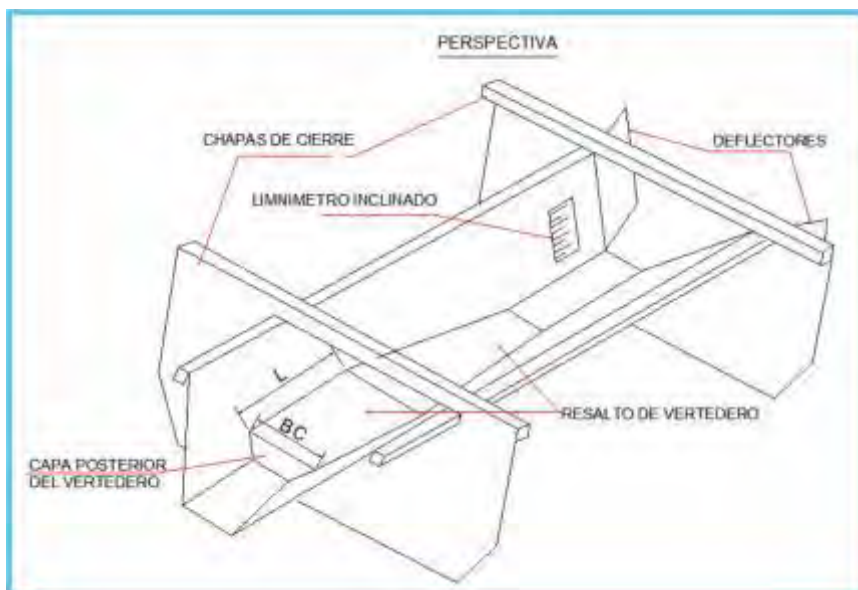
- La zonas aguas arriba del RBC debe ser recto y de sección uniforme, por lo menos en una distancia 10 veces el ancho del canal.
- El flujo de agua debe ser lento es decir flujo subcrítico y caudal menor a 50 l/s.
- El aforador debe estar nivelado en sección transversal y longitudinal.
- Aguas abajo del aforador no deben existir compuertas u otras estructuras a una distancia no menor de 5 metros para no afectar la condición de descarga libre del aforador.



CONSTRUYE TU AFORADOR RBC

DIMENSIONES

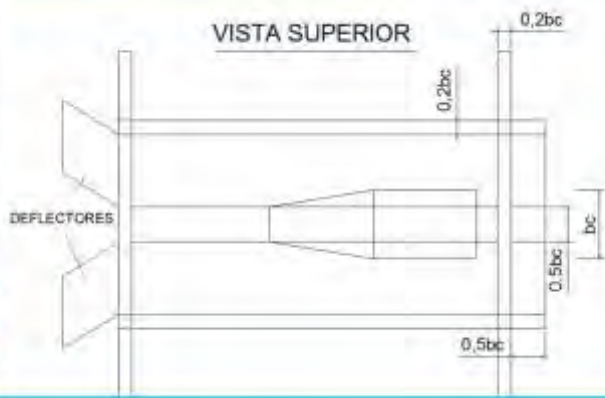
N°	Q = Lt/s/seg		bc	0.2	0.4	0.5	0.5	0.90	0.98	2	1.2	1.4	1.5	1.6	1.7	1.9	2.1	2.2	2.3	2.4	3	5	5.1	6	7	L
	min.	máx.	mm	bc	bc	bc	bc	bc	bc	bc	bc	bc	bc	bc	bc	bc	bc	bc	bc	bc	bc	bc	bc	bc	bc	mm
1	0.03	1.5	50	10	20	25	26	45	49	100	60	70	75	79	85	95	105	112	115	120	150	250	255	300	350	75
2	0.07	4.3	75	15	30	37.5	39	67.5	73.5	150	90	105	113	119	128	143	158	168	173	180	225	375	383	450	525	113
3	0.16	8.7	100	20	40	50	52	90	98	200	120	140	150	158	170	190	210	224	230	240	300	500	510	600	700	150
4	0.4	24	150	30	60	75	78	135	147	300	180	210	225	237	255	285	315	338	345	360	450	750	765	900	###	225
5	0.94	49	200	40	80	100	104	180	196	400	240	280	300	316	340	380	420	448	460	480	600	###	###	###	###	300

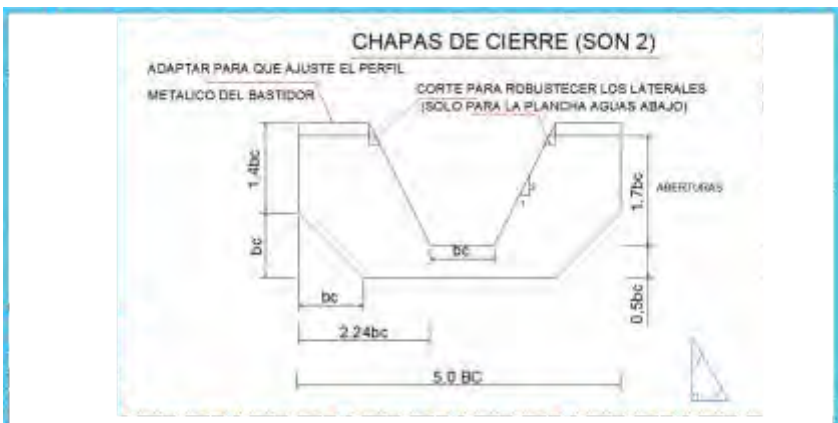
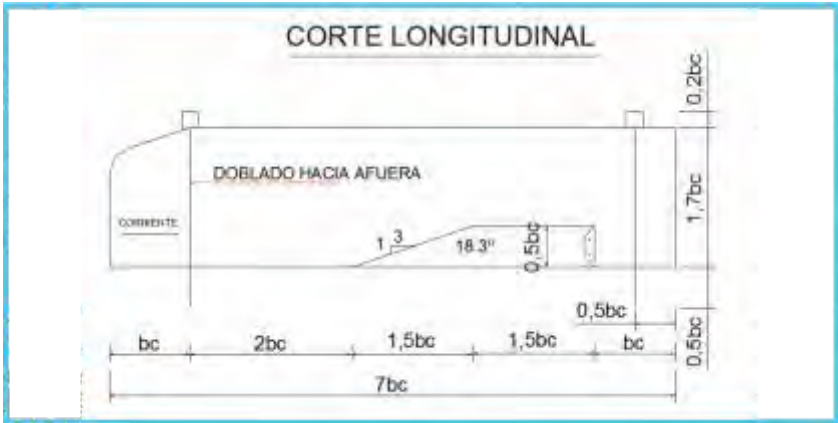


VISTA POSTERIOR



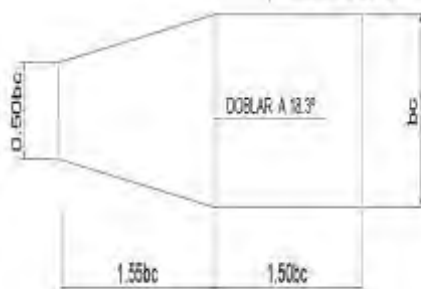
VISTA SUPERIOR





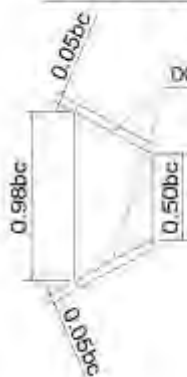
CHAPAS SIN DOBLAR

ACHAFLANAR EL BORDE PARA AJUSTE
A LA PENDIENTE 2:1



CARA POSTERIOR DEL VERTEDERO

DOBLAR A 90° (REDONDEAR DESPUES DE DOBLAR)



DOS VECES EL ESPESOR DE LA CHAPA

REQUERIMIENTO DE PERSONAL Y EQUIPOS.

El requerimiento de personal está en función al caudal a aforar:

- Se requiere 1 persona para aforar caudales hasta 12 lt/seg.
- Se requiere 2 personas para aforar caudales hasta 24 lt/seg.
- Se requiere 4 personas para aforar caudales hasta 50 lt/seg.
- La lectura debe ser realizada por una sola persona.

Materiales y equipos:

- Aforador RBC portátil.
- Nivel de Albañil.
- Pico de pato o azadón o lampa.
- Plásticos (Para impermeabilizar)

PROCEDIMIENTO DE AFORO CON RBC.

Paso 1.

Limpiar la solera del canal y regularizar las paredes del mismo aguas arriba del aforador. En caso de ser necesario.

Paso 2.

Limpiar el lugar del canal donde se colocara el aforador con pico de pato o azadón o lampa, luego colocar el aforador en la sección del canal hasta que la base del aforador quede al mismo nivel de la solera canal, ello evitara que se genere turbulencias el cual no permitirá una lectura adecuada del caudal en la regla limnimétrica.



Paso 3.

Nivelar el aforador

Para ello se debe colocar primero el nivel en forma longitudinal en cada lado y posteriormente en forma transversal, en caso de requerir acomodar golpear en los puntos indicados en las siguientes vistas



Figura 8. Aforador RBC verificando nivelación transversal



Figura 9. Golpear despacio en los puntos para que quede nivelado el aforador RBC

Paso 4.

Impermeabilizar cuidadosamente con plástico o materiales de la zona como Champa (tierra con hierbas), los laterales entre el aforador y las paredes del canal a fin de evitar las filtraciones.

TOMA DE DATOS.

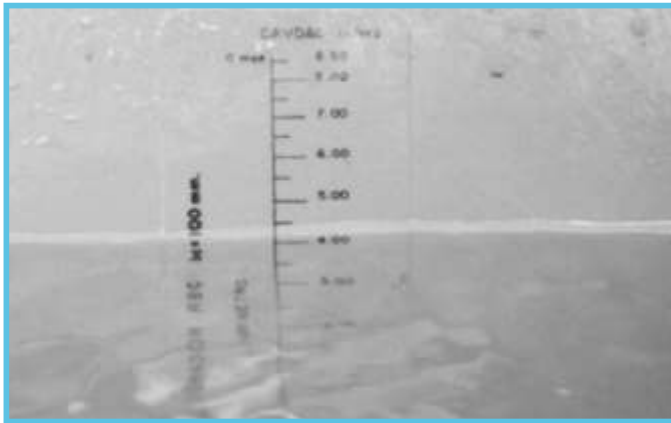
Una vez instalado el aforador :

- Hay que inspeccionar después de 15 a 30 minutos el flujo que presenta en el aforador no exista turbulencia y filtraciones por los laterales. Si ello está bien continuar en caso contrario evaluar el origen de la turbulencia ya que el flujo debe ser estable.
- Verificar visualmente que el nivel aguas abajo del aforador no sobrepase el 50% del nivel aguas arriba en caso contrario buscar un mejor lugar.
- Tomar los datos del caudal según la lectura de la regla limnimétrica y el tiempo correspondiente a cada lectura realizada



- La regla limnimétrica ha sido antes calibrada para determinar el caudal, el cual directamente nos indica el caudal.
- Una vez instalado el aforador RBC, simplemente observar la regla graduada del RBC y determinar el caudal que ingresa.

Por ejemplo. En la siguiente figura se puede apreciar que pasa un caudal de 4,4 l/s.



VOLUMEN DE AGUA APLICADA A TU PARCELA.

- Una vez instalado el aforador RBC, simplemente observar la regla graduada del RBC y determinar el caudal que ingresa.
- Tomar con un reloj simple la hora que inicias y la hora que terminas.
- Como tienes caudal que ingresa, tiempo que has utilizado en regar tu chacra, determinas el volumen ingresado multiplicando el caudal por el tiempo.



EJEMPLO:

Datos:

- Mi área a regar tiene $A = \frac{1}{4}$ hectárea = 2,500 m²
- Del aforador RBC :
- Caudal que ingresa = 8 l/s = 0.008 m³/s.
- Hora de inicio = 10.30 a.m.
- Hora de termino = 13.30 p.m.
- Tiempo real = 3 horas, es decir 10,800 s.

El volumen (V) utilizado en regar ha sido:

$$\text{Volumen: } V = Q \times T$$

$$V = 0.008 \text{ m}^3/\text{s} \times 10,800 \text{ s} = 86.4 \text{ m}^3$$

“Desarrollar capacidades en las organizaciones de usuarios para el uso adecuado y eficiente del agua de riego”

CAPACITACIÓN

Serie de Manuales:

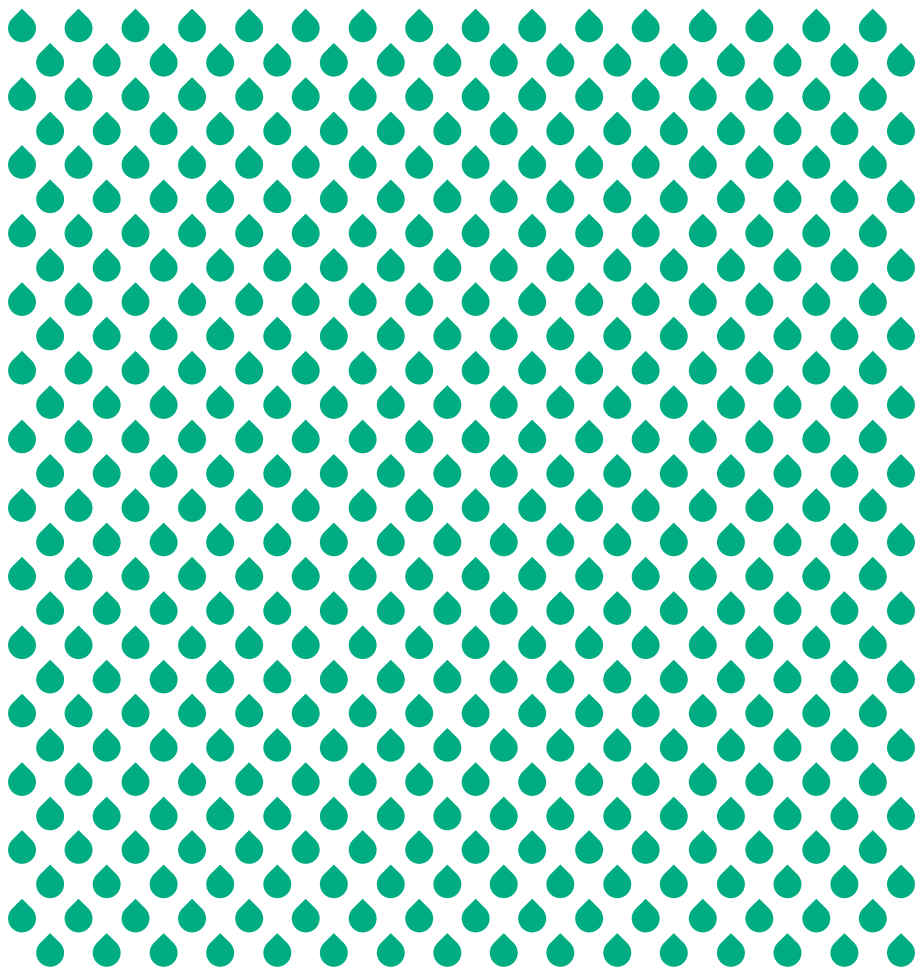
Manual N° 1 : Organización de Usuarios de Agua con fines agrarios

Manual N° 2 : Operación de Infraestructura de Sistemas de Riego

Manual N° 3 : Mantenimiento de Infraestructura de Sistemas de Riego

Manual N° 4 : Riego Parcelario

Manual N° 5 : Medición de Agua



www.minagri.gob.pe

Dirección General de Infraestructura Agraria y Riego
Av. Guillermo Prescott N° 490 - San Isidro - Lima
Tlf. (01) 2015070



MINISTERIO
DE AGRICULTURA
Y RIEGO

DGIAR

Dirección
General de
Infraestructura
Agraria y Riego