

# Evaluación de sistemas de riego por superficie y aspersión en cultivos de palma de aceite

Desarrollo de Competencias Laborales en la Agroindustria de la Palma de Aceite en Colombia



Programa de Agronomía

Greydy Selene Ladino Tabarquino  
Tulia Esperanza Delgado Revelo  
Nolver Atanacio Arias Arias

Con el apoyo del Fondo de Fomento Palmero



# Evaluación de sistemas de riego por superficie y aspersión en cultivos de palma de aceite

Publicación de la Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma, con el apoyo del Fondo de Fomento Palmero, administrado por Fedepalma.

**Alexandre Patrick Cooman**

Director General de Cenipalma

**Hernán Mauricio Romero Angulo**

Director de Investigación

**Jorge Alonso Beltrán Giraldo**

Director de Extensión

**Juan Carlos Vélez Zape**

Líder de Formación y Capacitación

## **Autores**

**Greydy Selene Ladino Tabarquino, Ingeniera Agrícola**

Manejo de suelos y aguas, Programa de Agronomía

**Tulia Esperanza Delgado Revelo, Ingeniera Agrícola**

Manejo de suelos y aguas, Programa de Agronomía

**Nolver Atanacio Arias Arias, PhD.**

Coordinador Programa de Agronomía

Coordinación editorial

**Yolanda Moreno Muñoz**

Fotografías

**Archivo fotográfico Cenipalma**

Diseño y diagramación

**Fredy Johan Espitia Ballesteros**

Impresión

**Estudio 45-8 S.A.S.**

**ISBN: 978-958-8360-84-3**

Septiembre de 2021

**Cenipalma**

Calle 98 No. 70-91, piso 14.

PBX: (57+601) 313 8600

Bogotá, D.C., Colombia

[www.cenipalma.org](http://www.cenipalma.org)

# Contenido

Introducción	5
Unidad I	
Conceptos básicos	7
1.1. Eficiencia del sistema de riego	9
Unidad II	
Determinación de eficiencias de conducción y distribución	13
2.1. Aforo de sección y velocidad: método flotador	16
2.2. Aforo volumétrico	23
Unidad III	
Evaluación de la eficiencia de aplicación de los sistemas de riego	29
3.1. Evaluación de la eficiencia del sistema de riego por superficie: surcos	31
3.2. Evaluación de la eficiencia del sistema de riego por aspersión	54

Bibliografía	68
Anexo 1. Aforo por flotador (Formato 1)	69
Anexo 2. Evaluación riego por aspersión (Formato 2)	70
Anexo 3. Factores de corrección aforo por flotador	71
Anexo 4. Evaluación del riego por surcos (Formato 3)	72
Glosario	73

# Introducción

Los conceptos, la información y las prácticas que se presentan en esta cartilla buscan apoyar el trabajo que se realiza para el manejo del riego dentro de la plantación; principalmente, diagnosticar el funcionamiento de los sistemas e identificar posibles mejoras que contribuyan a una palmicultura sostenible y al empleo eficiente del recurso hídrico.

Muchos de los cultivos de palma de aceite, en especial en la Zona Norte, han sido afectados durante los últimos años a causa del cambio y la variabilidad climática, reflejados principalmente en la reducción del agua disponible en las cuencas hidrográficas y haciendo más limitado su uso. Adicionalmente, gran parte del área sembrada se encuentra establecida bajo sistemas de riego por superficie, los cuales presentan bajas eficiencias e incrementan la posibilidad de déficit hídrico de los cultivos.

Esta publicación se constituye en una herramienta para contribuir al mejoramiento del uso del agua en las plantaciones de palma de aceite, ya que comprende una serie de conceptos básicos, prácticos y detallados para evaluar la eficiencia de los sistemas de riego, así como las metodologías de campo más utilizadas en los casos de riego por superficie y aspersión.





UNIDAD

|

Conceptos básicos



# I.I. Eficiencia del sistema de riego

Un riego eficiente debe permitir el almacenamiento de agua uniforme en el perfil del suelo, de tal manera que supla los requerimientos de las plantas, sin someterlas a excesos o déficit de humedad (Gurovich, 2003).

La eficiencia del sistema de riego (ESR) es la relación entre la cantidad de agua colocada en forma disponible al cultivo y la derivada desde el punto de captación. Como es natural, cuando se capta agua de una fuente superficial o subterránea, esta debe ser conducida a través de canales principales y distribuida por secundarios, terciarios o mediante tuberías hasta los lotes o fincas de interés, produciéndose pérdidas considerables en gran parte de los tramos recorridos (Figura 1).

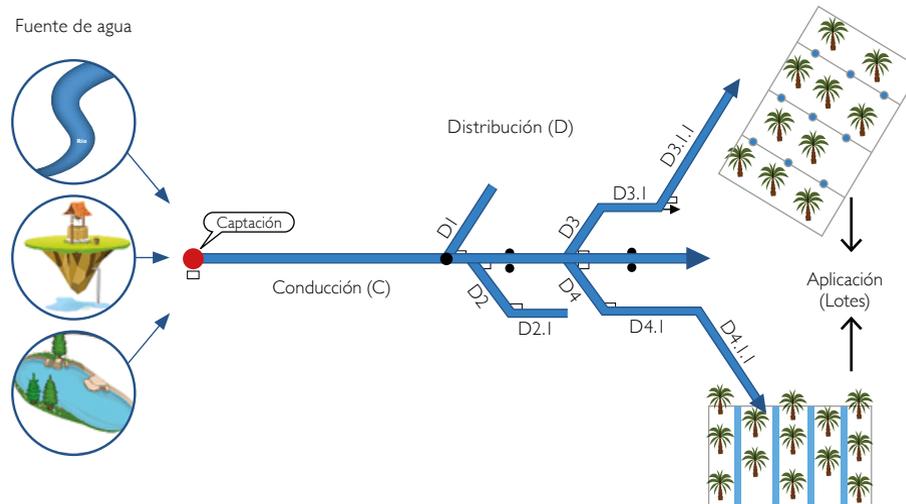


Figura 1. Estructura general de un sistema de riego. Adaptado de (Núñez, 2015).

La ESR se define como:

$$ESR = EC * ED * EA \quad (\text{Ec. 1})$$

**Donde:**

$ESR$  = eficiencia del sistema de riego (%)

$EC$  = eficiencia de conducción (%)

$ED$  = eficiencia de distribución (%)

$EA$  = eficiencia de aplicación (%)

A continuación, se presenta en detalle cada una.

### 1.1.1. Eficiencia de conducción (EC)

La eficiencia de conducción permite evaluar la pérdida de agua desde el punto inicial hasta el punto final del conducto principal. En caso de tener abiertos los conductos de distribución durante la evaluación, estos deben ser aforados y calcular la eficiencia así:

$$EC = \frac{Q_f + \sum Q_i}{Q_e} * 100 \quad (\text{Ec. 2})$$

**Donde:**

$EC$  = eficiencia de conducción (%)

$Q_f$  = caudal que llega al final del conducto principal (L/s)

$\sum Q_i$  = Sumatoria de caudales en los puntos de distribución (L/s). Si están cerrados el valor es cero

$Q_e$  = caudal que entra al inicio del conducto principal (L/s)

## 1.1.2. Eficiencia de distribución (ED)

Se obtiene de todos los conductos de distribución de 1<sup>er</sup>, 2<sup>o</sup>, 3<sup>er</sup>...n orden, que sirven para repartir el agua hacia los demás lotes. Este indicador mide la eficiencia con la que fluye el agua desde la derivación ocurrida en el canal principal hasta los lotes, unidades de manejo agronómico (UMA), módulos o zonas de riego.

$$ED_i = \frac{Q_{fd} + \sum Q_i}{Q_{ed}} * 100 \quad (\text{Ec. 3})$$

**Donde:**

$ED_i$  = eficiencia de distribución en el conducto  $i$  (%)

$Q_{fd}$  = caudal que llega al final del conducto de distribución (L/s)

$\sum Q_i$  = Sumatoria de caudales que ingresan a los conductos laterales de riego (L/s). Si están cerrados el valor es cero

$Q_{ed}$  = caudal que entra al inicio del conducto de distribución (L/s)

Finalmente, al existir varios canales de distribución en un sistema de riego, la ED se determina mediante la siguiente ecuación:

$$ED = \frac{\sum ED_i}{n} \quad (\text{Ec. 4})$$

**Donde:**

$ED$  = eficiencia de distribución (%)

$\sum ED_i$  = sumatoria de las eficiencias de distribución en los conductos de 1<sup>er</sup>, 2<sup>o</sup>, 3<sup>er</sup>,... n orden

$n$  = número total de conductos de distribución

### 1.1.3. Eficiencia de aplicación (EA)

La eficiencia de aplicación se define como la relación entre la cantidad de agua almacenada en la zona de raíces para uso consuntivo y la cantidad total aplicada en el campo o lote (Walker, 1989). Esta eficiencia depende principalmente del método de riego utilizado, por lo tanto, su determinación está sujeta a la cuantificación de las pérdidas ocasionadas en cada uno de ellos.

La cantidad de agua puede ser expresada en términos de volumen o de lámina, siendo finalmente:

$$EA = \frac{V_{zr}}{VTA} * 100 \quad EA = \frac{L_{zr}}{LTA} * 100 \quad (\text{Ec. 5 y 6})$$

**Donde:**

EA = eficiencia de aplicación (%)

V<sub>zr</sub> o L<sub>zr</sub> = volumen (m<sup>3</sup>) o lámina almacenada (mm) en la zona de raíces

VTA o LTA = volumen (m<sup>3</sup>) o lámina (mm) total aplicada



UNIDAD

II

Determinación  
de eficiencias de  
conducción y distribución



Gran parte de las plantaciones de palma de aceite, utilizan canales superficiales construidos en tierra o revestidos para conducir y distribuir el agua hasta los diferentes puntos de interés. Por lo tanto, es necesario determinar las eficiencias de conducción y distribución mediante la cuantificación del caudal o aforos en los canales.

Para efectuar estas determinaciones en campo, se tienen diversas metodologías e instrumentos. Los más conocidos son el flotador, el aforo volumétrico, el molinete y las estructuras hidráulicas, como se observa en la Figura 2.

A continuación se presenta de manera detallada, dos de los métodos de aforo más utilizados en campo.



**Figura 2.** Métodos de aforo a) estructuras hidráulicas – canaletas parshall, b) flotador, c) volumétrico y d) molinete.

## 2.1. Aforo de sección y velocidad: método flotador

Permite cuantificar el caudal que pasa por un canal abierto, a partir de la sección transversal del mismo y la velocidad superficial del agua, utilizando un flotador.

### 2.1.1. ¿Qué necesitamos?

Talento humano requerido: 2-3 personas.

El evaluador debe alistar las siguientes herramientas para realizar el aforo (Figura 3):

- Cinta métrica  $> 10$  m
- Flexómetro  $< 5$  m
- Cinco o más flotadores o pelotas de tenis de mesa
- Cuatro estacas
- Rollo de cabuya
- Cronómetro
- Una regla o tabla graduada

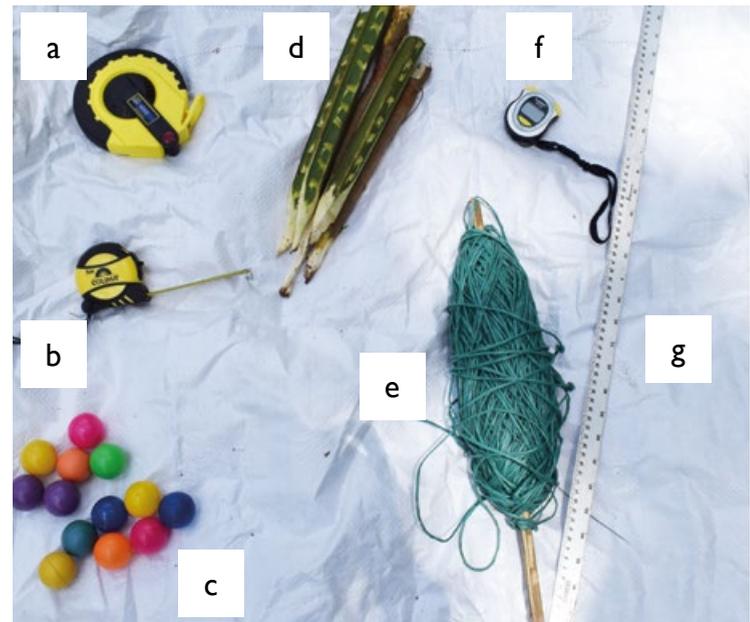
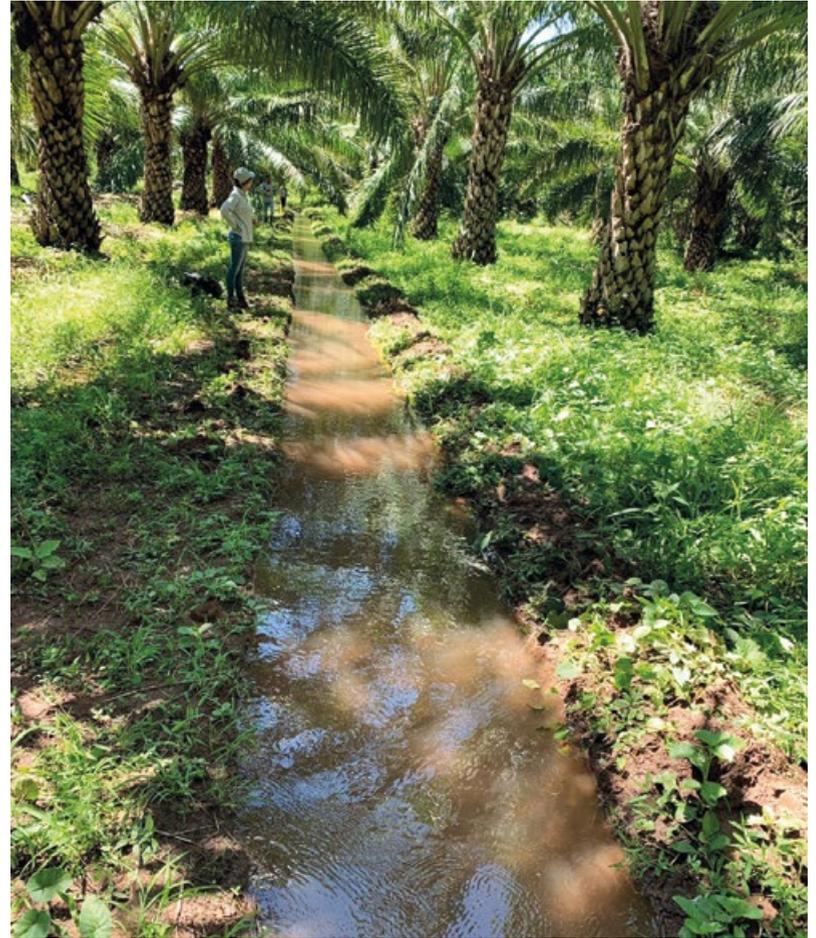


Figura 3. Materiales requeridos para el aforo por flotador.

## 2.1.2. Selección del área de evaluación

Se elige un tramo de canal recto de mínimo 10 m, con sección transversal uniforme y libre de malezas que interrumpían el flujo normal del agua (Figura 4). Es deseable que este represente la condición predominante en el lote.



**Figura 4.** Tramo de canal seleccionado para el aforo. Foto: C. Mendoza

### 2.1.3. Trabajo de campo

Para realizar el aforo:

- a. En el tramo seleccionado, mida una longitud de 10 m (Figura 5). En cada uno de los extremos (A y C), instale dos estacas separadas según el ancho del canal, y enlázelas con una cabuya (Figura 6).



**Figura 5.** Tramo seleccionado para el aforo: medición de la longitud.



**Figura 6.** Tramo seleccionado para el aforo: establecimiento de puntos de observación A, B y C.

- b. Escoja tres secciones a lo largo del tramo, al inicio (A), medio (B) y final (C), y de cada una de ellas:
- ▶ Registre el ancho superficial a la altura de la línea de agua.
  - ▶ De acuerdo con el ancho de canal, establezca un número de verticales (Tabla 1) y divida la sección en partes iguales (subsecciones).
  - ▶ Mida la profundidad en cada subsección (Figura 7) y anote los datos en el formato del Anexo 1.

**Tabla 1.** Número de verticales en función del ancho del canal

Ancho del canal (m)	No. de verticales
<b>0 - 0,5</b>	3 a 4
<b>0,5 - 1</b>	4 a 5
<b>1 - 3</b>	5 a 8
<b>3 - 5</b>	8 a 10
<b>5 - 10</b>	10 a 20
<b>Más de 10</b>	20 o más

Fuente: CVC (2005)



**Figura 7.** Registro de dimensiones de la sección transversal: ancho y profundidades. Foto: E. Pájaro.

- ▶ Realice el mismo procedimiento para las secciones B y C.
- c. Ubique una persona aguas arriba del tramo seleccionado (punto A) con el flotador; y otra aguas abajo (punto C) con el reloj o cronómetro. Lance el flotador y contabilice el tiempo de recorrido del punto A al C (Figura 8). Se sugiere realizar mínimo cinco mediciones y anotar los tiempos en el Anexo I, Sección C.



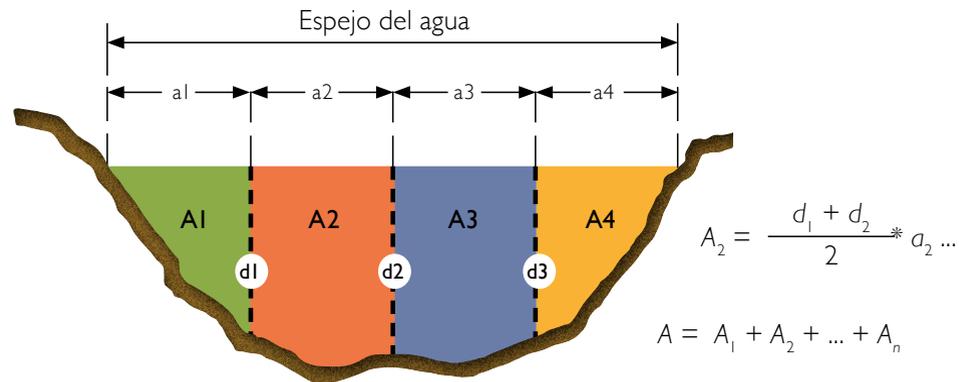
**Figura 8.** Registro de los tiempos de recorrido del flotador entre los puntos A y C para determinar la velocidad.

## 2.1.4. Trabajo de oficina

A partir de los datos tomados en campo determine:

### a. El área total

- ▶ Establezca el área de las subsecciones del punto A como se observa en la Figura 9.
- ▶ Realice la sumatoria de estas para hallar el área total de la sección A.



**Figura 9.** Esquema gráfico para determinar el área total de la sección

- ▶ Calcule el área de las secciones B y C.
- ▶ Promedie las áreas A, B y C.

## b. La velocidad superficial

- ▶ Promedie los tiempos obtenidos con el flotador en cada prueba.
- ▶ Determine la velocidad de la corriente del agua mediante la siguiente ecuación:

$$v = \frac{x}{t} * Fc \quad (\text{Ec. 7})$$

### Donde:

$v$  = velocidad (m/s)

$x$  = distancia del tramo seleccionado (m)

$t$  = tiempo promedio (s)

$Fc$  = factor de corrección (Anexo 3)

## c. Caudal

Establezca el caudal mediante la siguiente ecuación:

$$Q = v * A * 1.000 \quad (\text{Ec. 8})$$

### Donde:

$Q$  = caudal (L/s)

$v$  = velocidad (m/s)

$A$  = área total (m<sup>2</sup>)

## 2.2. Aforo volumétrico

Este método permite conocer el caudal cuando la corriente presenta una caída o es conducida mediante tuberías.

### 2.2.1. ¿Qué necesitamos?

Talento humano requerido: 2 personas.

El evaluador debe alistar las siguientes herramientas (Figura 10):

- Recipiente graduado  $\geq 10$  L o con capacidad fija conocida
- Cronómetro
- Tubos, manguera y accesorios de conexión



Figura 10. Materiales utilizados para el aforo volumétrico en aspersores.  
Foto: C. Campos.

## 2.2.2. Selección del área de aforo

En caso de requerir aforar corrientes superficiales, establezca un punto en el que se pueda ubicar un recipiente bajo el chorro. De ser necesario utilice tubos para encauzar la corriente.

Si afora elevadores, construya previamente, con la ayuda de mangueras y accesorios, una forma de conducir el agua hasta el recipiente. De acuerdo con el tipo de aspersor, elabore un aforador que permita conectar en un extremo la manguera a sus elevadores y en el otro, el aspersor.

## 2.2.3. Trabajo de campo

- Realice las conexiones pertinentes (Figura 11).
- Coloque el recipiente bajo la corriente de tal manera que reciba todo el flujo del agua e inicie el conteo del tiempo en ese instante (Figura 12).
- Retírelo apenas se haya completado el volumen a aforar y detenga el registro del tiempo.
- Contabilice mínimo cinco veces el tiempo en un mismo punto de aforo y anótelos.



Figura 11. Instalación del aforador en campo, conexiones pertinentes.



Figura 12. Aforo volumétrico en aspersores.

## 2.2.4. Trabajo de oficina

A partir de los datos tomados en campo determine:

- ▶ El promedio de los tiempos para cada punto de aforo.
- ▶ El caudal mediante la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (\text{Ec. 9})$$

**Donde:**

$V$  = volumen (L)

$t$  = tiempo promedio (s)

Las determinaciones antes mencionadas responden a las eficiencias de conducción y distribución, pero las de aplicación dependen en gran medida del tipo de sistema de riego instalado: superficial (inundación y surcos mediante compuertas) (Figura 13a y 13b) o presurizado (goteo de alto caudal y aspersion) (Figuras 13c y 13d). Por lo tanto, requieren de otras prácticas específicas que serán explicadas más adelante.



a)

b)

**Figura 13.** Sistemas de riego superficiales utilizados en palma de aceite: a) inundación, b) surcos mediante compuertas.  
Fotos: T. Delgado y J. Monroy.



c)



d)

**Figura 13.** Sistemas de riego presurizados utilizados en palma de aceite: c) goteo, d) aspersión.

Fotos: T. Delgado y J. Monroy.

Para la evaluación de la eficiencia de aplicación es necesario conocer las características hidrodinámicas de los suelos como: textura, densidad, infiltración, retención de humedad, lámina de agua aprovechable (LAA), y profundidad efectiva de raíces. Asegúrese de obtener dicha información antes de la evaluación.





UNIDAD

III

Evaluación de la eficiencia  
de aplicación de los  
sistemas de riego



## 3.1. Evaluación de la eficiencia del sistema de riego por superficie: surcos

Actualmente, en las plantaciones de palma de aceite se han establecido multitud de variantes a los métodos de riego por superficie: inundación, surcos, surcos anchos, melgas rectangulares y en contorno, etc.

A continuación, se presenta en detalle la metodología para la evaluación del **riego por surcos**, teniendo en cuenta que este integra todas las variables de interés que deben ser registradas para la determinación de la eficiencia de los diferentes métodos de riego por superficie. Al finalizar la unidad se explica el proceso para los demás casos.

En primer lugar, recuerde hallar la eficiencia de conducción y distribución como se explicó en la Unidad 2.

### 3.1.1. ¿Qué necesitamos?

Talento humano requerido: 2 personas.

El evaluador debe contar con las herramientas e insumos adecuados para facilitar su labor y evitar la pérdida de tiempo efectivo en campo. Estas son las herramientas que se utilizan durante la valoración (Figura 14):

- a. Dos canaletas RBC de 25 L/s
- b. Nivel de albañil
- c. Pala
- d. Bolsas plásticas de basura para impermeabilizar
- e. Cronómetro
- f. Estacas o banderines
- g. Cinta métrica  $\geq 10$  m
- h. Flexómetro de 5 m
- i. Hoja de apuntes o Formato 3 (Anexo 4)



**Figura 14.** Materiales requeridos para efectuar la evaluación en sistemas de riego por surcos.

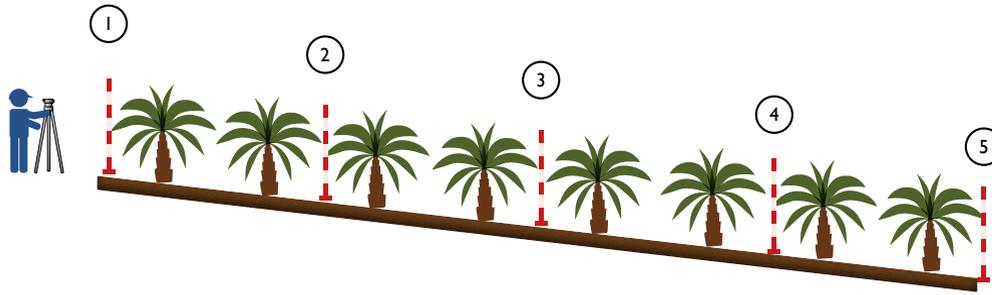
### 3.1.2. Selección y acondicionamiento del área de evaluación

Se sugiere seleccionar tres surcos ubicados al inicio, medio y final del lote; o al menos un surco con bordas bien conformadas (deseable que esta sea la condición predominante), sin interrupciones o canales internos transversales a la dirección de flujo (Figura 15). La longitud sugerida del surco de evaluación es entre 50 y 200 m. Tenga en cuenta que la duración de la prueba dependerá de esta medida y del caudal de entrada.



**Figura 15.** Verificación de surcos bien conformados para el área de evaluación

Determine previamente la pendiente del surco a partir de un levantamiento topográfico altimétrico del terreno y la infiltración del área mediante los anillos infiltrómetros (Figura 16). En riego por surcos, se sugiere utilizar el modelo de Kostiakov-Lewis para definir la ecuación de infiltración, porque esta permite describir la infiltración durante largos períodos de tiempo, como sucede con estas técnicas de irrigación (Walker, 1989).



a)



b)

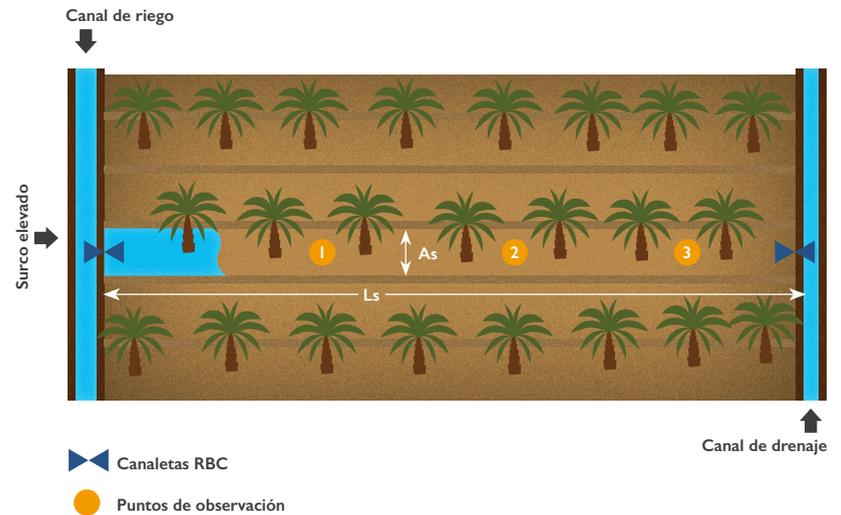
**Figura 16.** Acciones previas a la evaluación: a) levantamiento topográfico altimétrico para determinar pendiente de los surcos, b) pruebas de infiltración

### 3.1.3. Trabajo de campo

- Registre las medidas del surco tales como ancho ( $A_s$ ), largo ( $L_s$ ), altura ( $P_s$ ) y espaciamiento entre surcos ( $w$ ) (Figura 17), para conocer su área (Figura 18).



**Figura 17.** Medición en campo de las dimensiones del surco.  
Foto: T. Delgado.



**Figura 18.** Vista superior de la evaluación de riego superficial en campo

- b. Instale la canaleta RBC o el instrumento de aforo designado, en la cabecera y pie del surco, asegurando que todo el flujo pase a través de la canaleta (Figura 19).



**Figura 19.** Instalación de la canaleta RBC.  
Foto: T. Delgado.

- c. Establezca y demarque con estacas a lo largo del surco, puntos fijos de observación cada 10 o 20 m (Figura 20) o en su defecto, distancias conocidas cada una o dos palmas, registrándolas en el Formato 3 (Anexo 4, Columna A).
- d. Permita el ingreso del agua al surco y anote la hora correspondiente al punto cero en el Formato 3 (Anexo 4, Hora de inicio).



**Figura 20.** Puntos de observación establecidos a lo largo del surco de evaluación.

### 3.1.3.1. Registro de tiempos de avance y receso

- a. Registre la hora o el tiempo acumulado que tarda el agua en atravesar cada uno de los puntos de observación establecidos, hasta llegar al final del surco como lo hace en su plantación (Figura 21), datos que corresponden al tiempo de avance ( $T_a$ ) en el Formato 3 (Anexo 4, Columna B).
- b. Una vez haya efectuado el riego de manera normal en el surco, suspenda la entrada del agua en la cabecera y registre la hora de corte en el Formato 3 (Anexo 4, Tiempo de corte).
- c. Posteriormente, continúe haciendo seguimiento al surco evaluado mientras se almacena el agua (Figura 22), hasta observar que esta desaparece de la superficie del suelo en cada uno de los puntos establecidos (Figura 23). Registre la hora o el tiempo acumulado de dicho suceso, correspondiente al Tiempo de receso ( $T_r$ ) en el Anexo 4, Columna C.

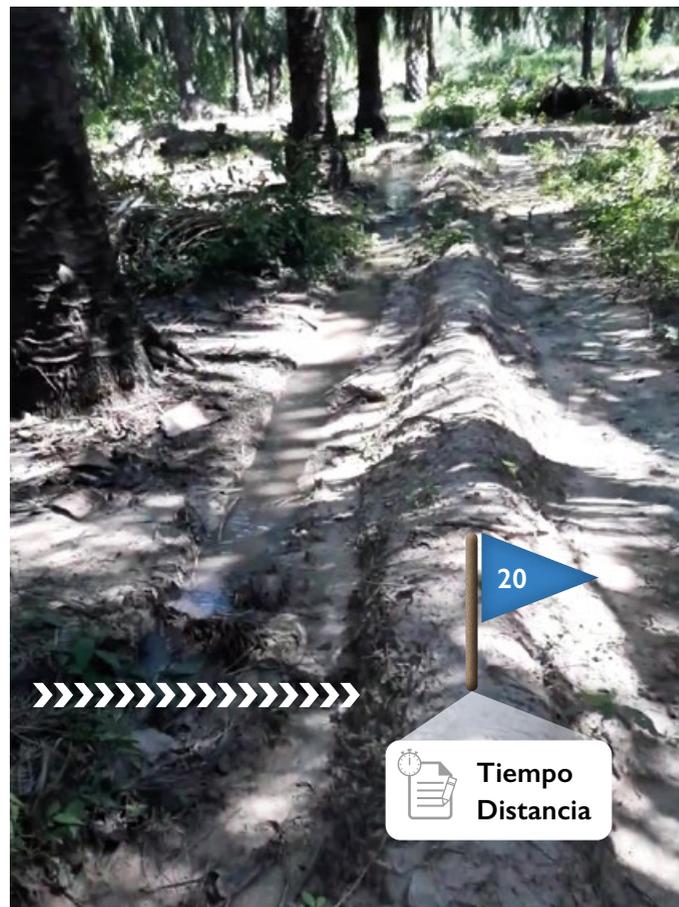


Figura 21. Registro del avance del agua en el primer punto de observación.



**Figura 22.** Seguimiento al surco durante el tiempo de almacenamiento del agua.



**Figura 23.** Registro del receso del agua en el punto de observación ubicado a 60 m.

### 3.1.3.2. Registro de caudales de entrada y salida

- a. Apunte en el Formato 3 (Anexo 4, Columna D), el caudal de entrada ( $Q_e$ ) desde el inicio de la prueba y cada vez que arribe en alguno de los puntos de observación previamente establecidos. En la medida de lo posible, procure mantener un caudal constante en la entrada del surco.
- b. Una vez el agua llegue al pie del surco y comience la escorrentía, anote el caudal de salida ( $Q_s$ ) y el tiempo en el que se produce dicha escorrentía en el Anexo 4, Columna E (Figura 24).



**Figura 24.** Registro del caudal de entrada y salida mediante el aforador RBC instalado en la cabecera y pie del surco, respectivamente.

### 3.1.4. Trabajo de oficina

Con la información recolectada, se determina:

#### 3.1.4.1. Tiempo de oportunidad de contacto (Toc)

Es la diferencia entre el tiempo de receso y de avance, en cada punto de observación.

$$Toc = Tr - Ta \quad (\text{Ec. 10})$$

#### 3.1.4.2. Hidrograma de entradas y salida

Dibuje en un gráfico Q vs. t, los datos recolectados en campo (Figura 25).

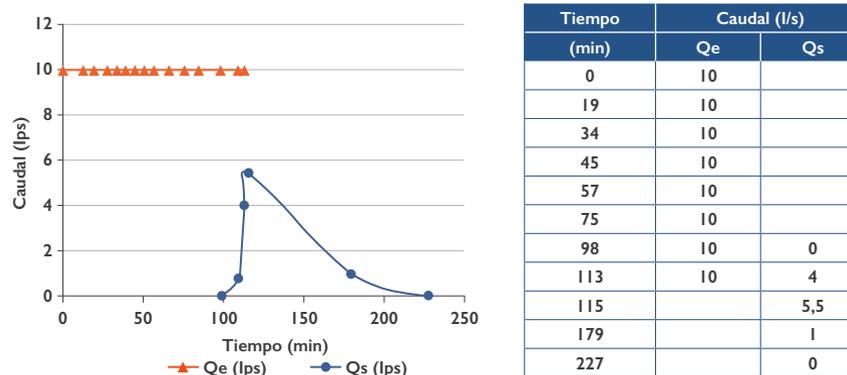


Figura 25. Representación gráfica del hidrograma de entradas y salidas, y registro de datos.

El **volumen aplicado o de entrada (Va)** en el surco se obtiene así:

$$V_a = \overline{Q_e} * 0,06 * \Delta T_{co} \quad (\text{Ec. 11})$$

**Donde:**

$V_a$  = volumen aplicado ( $m^3$ )

$Q_e$  = promedio de los Q de entrada registrados (L/s)

0,06 = factor de conversión de L/s a  $m^3/\text{min}$

$\Delta T_{co}$  = tiempo transcurrido hasta el corte del agua (min)

Dado que el **volumen de salida o de escorrentía (Vs)** en el surco puede ser bastante variable, se obtiene de manera precisa hallando, por el método del trapecio, el área bajo la curva graficada en la Figura 25.

Para utilizar este método se determina el área de los trapecios  $V_1, V_2, V_3, V_4 \dots V_n$  como se presenta en la Figura 26, promediando las alturas (caudales) y multiplicando por el ancho (tiempo).

$$V_i = \frac{(Q_1 + Q_2)}{2} * 0,06 * \Delta t_i \dots \quad (\text{Ec. 12})$$

**Donde:**

$V_i$  = volumen de escorrentía trapecio i ( $m^3$ )

$Q_1$  y  $Q_2$  = caudal de salida 1 y 2 (L/s)

0,06 = factor de conversión de L/s a  $m^3/\text{min}$

$\Delta t_i$  = tiempo transcurrido i (min)

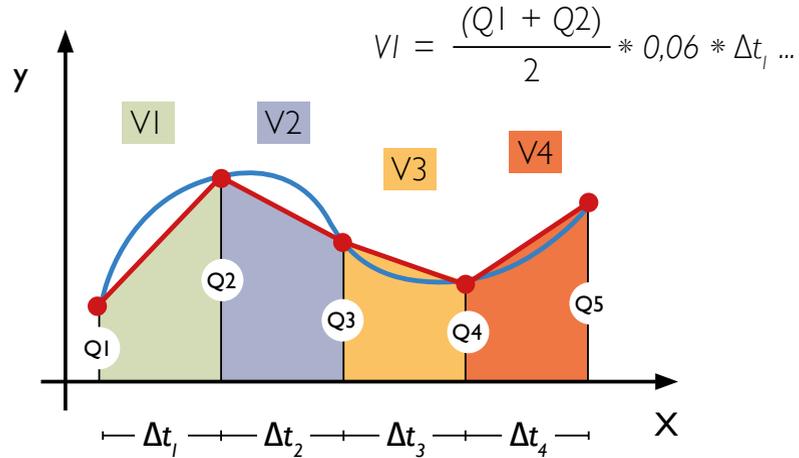


Figura 26. Integración por el método del trapecio para determinar volumen.

El volumen de salida es la sumatoria de los volúmenes parciales, así:

$$V_s = V_1 + V_2 + \dots V_n \quad (\text{Ec. 13})$$

El **volumen infiltrado (Vi)** es:

$$V_{\text{hidrograma}} = V_a - V_s \quad (\text{Ec. 14})$$

**Donde:**

$V_i$  = volumen infiltrado según el hidrograma ( $\text{m}^3$ )

$V_a$  = volumen aplicado ( $\text{m}^3$ )

$V_s$  = volumen de salida ( $\text{m}^3$ )

### 3.1.4.3. Patrón de infiltración

La lámina de agua infiltrada en un punto del terreno depende de la velocidad de infiltración del suelo y del tiempo que el agua se encuentre sobre dicho punto, es decir, del tiempo de oportunidad de contacto ( $T_{oc}$ ).

Para determinar la lámina en cada sitio, reemplace los tiempos en la ecuación de infiltración hallada antes de la prueba (página 33), expresada de la siguiente forma:

$$Z = Kt^{\alpha} + f_0 t \quad (\text{Ec. 15})$$

**Donde:**

$Z$  = lámina infiltrada (mm)

$K$ ,  $\alpha$  y  $f_0$  = constantes resultantes de la curva de infiltración acumulada

$t$  = tiempo =  $T_{oc}$  de cada punto de observación (min)

Posteriormente, construya el patrón de infiltración representando los valores obtenidos en un gráfico lámina infiltrada ( $L_{inf}$ ) vs. longitud del surco (Figura 27).

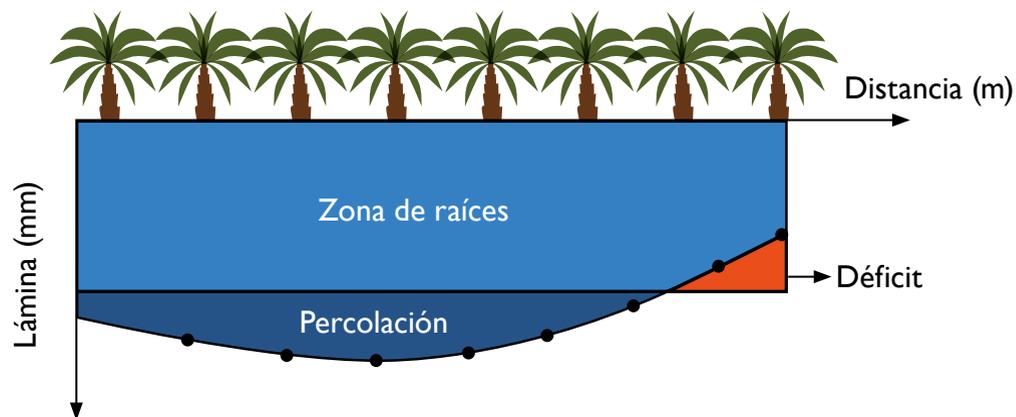


Figura 27. Representación gráfica de un patrón de infiltración a partir de los datos obtenidos en campo

A continuación, se presenta un ejemplo, en el que se observa la ecuación de infiltración, una serie de datos correspondientes a los tiempos de avance, receso y finalmente el patrón de infiltración construido.

$$Z = Kt^a + f_0 t$$

$$Z = 1,28t^{0,24} + 0,02t$$

Donde:  $Z =$  lámina infiltrada (cm)  
 $t =$   $T_{oc}$  (min)

Distancia (m)	Ta (min)	Tr (min)	Toc (min)	Z (cm)	Z (mm)
0	0	390	390	13	132
47	6	396	390	13	132
112	18	370	352	12	123
151	30	300	270	10	103
200	54,8	250	195,2	8	84

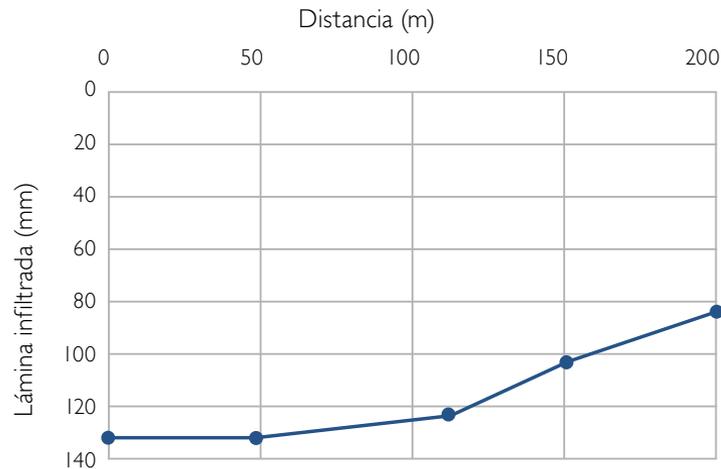


Figura 28. Construcción del patrón de infiltración para el ejemplo dado.

Para determinar el volumen infiltrado en cada punto de observación, primero es necesario determinar el área infiltrada mediante el método del trapecio, como se observa en la Figura 29.

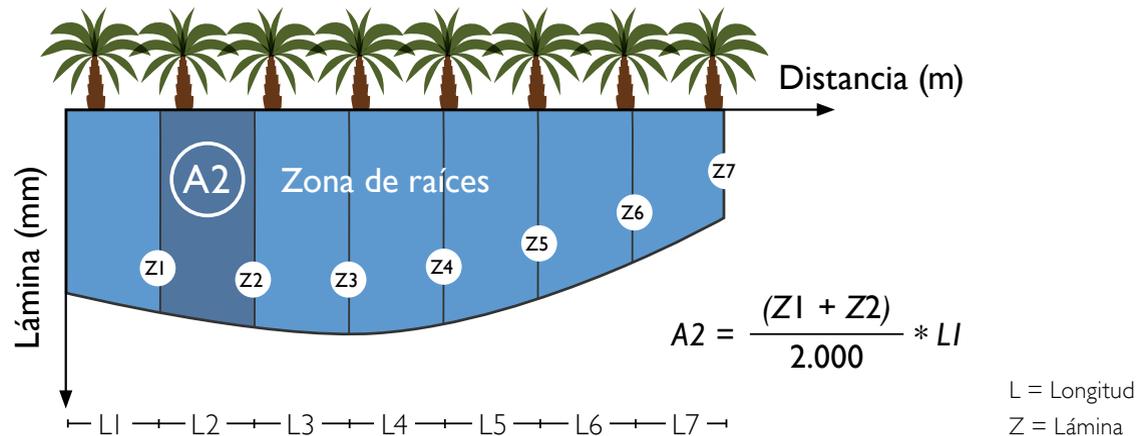
El **volumen infiltrado** calculado a partir del **patrón de infiltración** ( $V_{i\text{patrón}}$ ) es:

$$V_{i\text{patrón}} = (\sum A_i) * A_s \quad (\text{Ec. 16})$$

**Donde:**

$\sum A_i$  = sumatoria de las áreas formadas por los trapecios ( $\text{m}^2$ )

$A_s$  = ancho del surco (m) o separación entre surcos (m). Se utiliza ancho cuando las palmas se encuentran dentro del surco; en caso contrario, registrar separación entre surcos.



**Figura 29.** Integración por el método del trapecio para determinar el área infiltrada a partir de los datos de campo.

Finalmente, si el  $V_i$  (*patrón*) es mayor que el  $V_i$  (*hidrograma*) es preciso establecer un factor de corrección ( $f_c$ ), que una vez calculado afecta las láminas infiltradas utilizadas para la construcción del patrón de infiltración (Figura 27).

$$f_c = \frac{V_i \text{ (hidrograma)}}{V_i \text{ (patrón)}} \quad (\text{Ec. 17})$$

$$L_{inf \text{ corregida}} = L_{inf} * f_c \quad (\text{Ec. 18})$$

### 3.1.4.4. Determinación de eficiencias

**Eficiencia de aplicación (EA).** Es la relación entre el agua neta almacenada en la zona de raíces ( $V_{zr}$ ) como consecuencia del riego, y el agua total aplicada en el proceso ( $V_a$ ). Se puede expresar en lámina o volumen:

$$EA (\%) = \frac{V_{zr}}{V_a} * 100 \quad (\text{Ec. 19})$$

El principal problema para hallar el  $V_{zr}$  depende de la situación presentada con el riego. Se pueden dar diversos casos: riego normal, en exceso, en déficit total y en déficit parcial, como se muestra en la Figura 30. En cada uno es necesario cuantificar la lámina infiltrada en la zona de raíces.

Si el riego aplicado logra llegar a la lámina de agua requerida en la zona de raíces, el volumen es:

$$V_{zr} = \left( \frac{LAA}{1.000} \right) * L_s * A_s \quad (\text{Ec. 20})$$

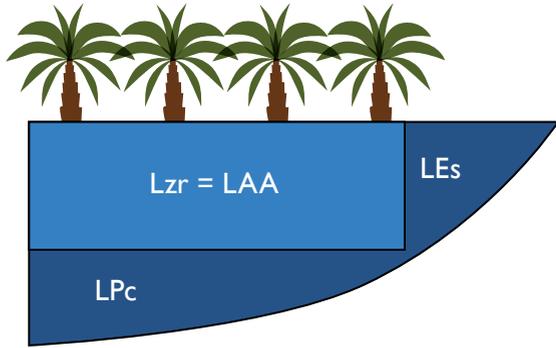
**Donde:**

$V_{zr}$  = volumen de agua requerida ( $m^3$ )

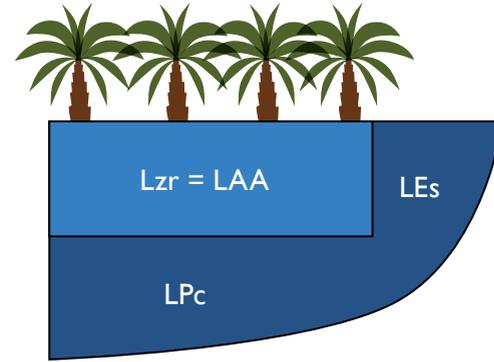
$LAA$  = lámina de agua aprovechable (mm)

$L_s$  = longitud del surco (m)

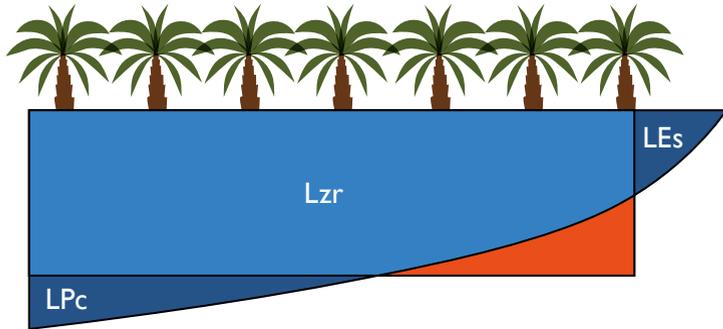
$A_s$  = ancho del surco (m)



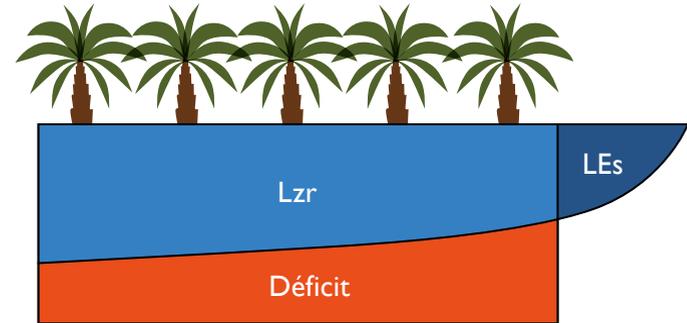
a)



b)



c)



d)

\* LEs = Lámina de escorrentía Lzr = Lámina en la zona de raíces LpC = Lámina de percolación

**Figura 30.** Representación esquemática de riego por surcos en condiciones: a) normal, b) en exceso, c) en déficit parcial, d) en déficit total.

**Eficiencia de almacenamiento (Eal).** Es la relación entre el agua neta almacenada en la zona de raíces como consecuencia del riego y el agua rápidamente aprovechable (ARA). Se expresa en términos de volumen.

$$Eal (\%) = \frac{V_{zr}}{V \text{ correspondiente a la LAA}} * 100 \quad (\text{Ec. 21})$$

**Pérdidas por escorrentía (PE).** Es la relación entre el agua que se pierde al final del surco y el agua total aplicada. Se expresa en términos de volumen.

$$P_E (\%) = \frac{V_s}{V_a} * 100 \quad (\text{Ec. 22})$$

Si se conoce la EA y la PE, las **pérdidas por percolación (Pc)** se pueden determinar cómo:

$$P_C (\%) = 100\% - EA - P_E \quad (\text{Ec. 23})$$

### Eficiencia del sistema de riego (ESR)

Finalmente, se determina la eficiencia del sistema de riego utilizando la información de eficiencia de conducción, distribución y aplicación así:

$$ESR = EC * ED * EA$$

### 3.1.5. Otros métodos de riego por superficie

Como se explicó en la página 12, la eficiencia de aplicación de cualquier sistema de riego está en función de la determinación del agua almacenada en la zona de raíces y el agua total aplicada.

Por lo anterior, es necesario identificar qué método de riego por superficie se tiene establecido, a fin de registrar la información principal:

- ▶ Tiempo de oportunidad de contacto del agua en el suelo.
- ▶ Caudales de entrada y salida.

Se requieren los mismos materiales mencionados en la página 31, con excepción de un cambio de canaletas por unas de mayor caudal, si se conoce que el flujo supera los 25 L/s.

A continuación, veremos algunos casos.

### 3.1.5.1. Riego por superficie: inundación

Seleccione el lote de la prueba teniendo en cuenta que no presente canales internos, drenajes etc., en los que sea imposible cuantificar una esorrentía. Realice las mejoras necesarias para evitar filtraciones controlables.

Para determinar los tiempos de oportunidad de contacto (Toc), ubique sus puntos de observación de avance y receso dentro del campo, mediante una cuadrícula de 6 m x 6 m o más (Figura 31). Registre los tiempos en cada uno de ellos como se explica en la página 37.

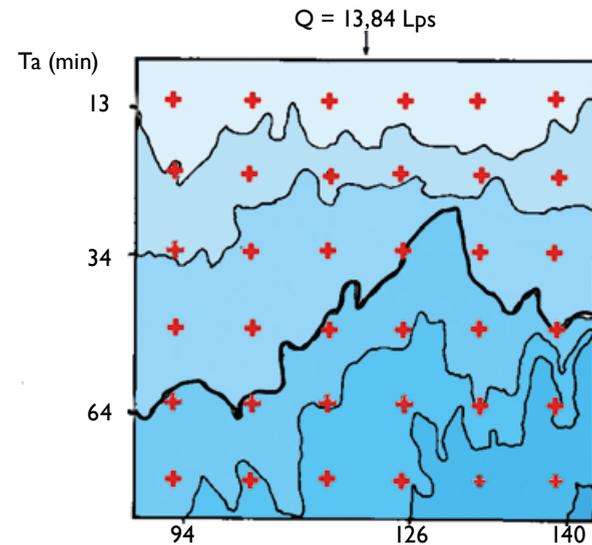


Figura 31. Curvas de contorno para el tiempo de avance dentro del lote.

Por otro lado, si considera difícil realizar este procedimiento debido a las dimensiones de su área de evaluación, suelos con baja infiltración y disponibilidad del tiempo para el seguimiento, puede utilizar alguna de las siguientes alternativas:

Método alternativo 1	Método alternativo 2
<ul style="list-style-type: none"> <li>Determine la humedad antes y después del riego en los puntos de observación planteados o al menos en 9 puntos distribuidos en el área de evaluación, extrayendo muestras de suelo como se explica en la página 57.</li> <li>Determine la humedad aplicada con el riego en cada punto y promedie.</li> </ul> $\%H_{griego} = \%H_{gdespués\ del\ riego} - \%H_{gantes\ del\ riego}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>Determine la lámina (mm) aplicados con el riego</li> </ul> $Lámina\ (mm) = \%H_{griego} * Densidad\ aparente * Profundidad\ efectiva$ <ul style="list-style-type: none"> <li>Cuantifique el volumen aplicado en la zona de raíces- Vzr (m<sup>3</sup>)</li> </ul> $V_{zr} = \left( \frac{Lámina\ (mm)}{1.000} \right) * Área\ total\ (m^2)$	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cuantifique el volumen aplicado en la zona de raíces- Vzr (m<sup>3</sup>), a partir de la lámina de agua aprovechable (LAA) del lote o área evaluada:</li> </ul> $V_{zr} = \left( \frac{LAA\ (mm)}{1.000} \right) * Área\ total\ (m^2)$
<ul style="list-style-type: none"> <li>Para establecer el caudal de entrada lleve a cabo los pasos del numeral 3.1.3.2, registrando los valores en un intervalo fijo y procurando mantener el caudal constante en la cabecera.</li> <li>Realice el procesamiento de los datos como se menciona en el numeral 3.1.4.2, hasta obtener el volumen aplicado o bruto (Va).</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Calcule la eficiencia de aplicación como indica la Ec. 19</li> </ul>	

### 3.1.5.2. Riego por superficie: melgas rectangulares y en contorno

Para este método seleccione las tres melgas a evaluar. Ubique los instrumentos de aforo en la entrada y salida de cada una (numeral 3.1.3.2.), y establezca los puntos de observación a lo largo y ancho de ellas, registrando los tiempos de avance y receso en cada uno de los surcos (numeral 3.1.3.1.).

Por otro lado, si considera muy difícil realizar este procedimiento debido a las dimensiones de las melgas, suelos con baja infiltración y poca disponibilidad del tiempo para el seguimiento, determine la humedad antes y después del riego en los puntos de observación planteados, extrayendo muestras de suelo como se explica en el numeral 3.2.3.1. o utilizando sensores de humedad. Posteriormente, establezca la lámina de riego a partir de la diferencia entre la lámina antes y después de la irrigación, y promedie los valores obtenidos en todos los puntos de observación.



Efectúe los cálculos necesarios de acuerdo con el numeral 3.1.4.

**Ejemplo:** en una evaluación de un sistema de riego por surco instalado en palma de aceite joven, se registró la siguiente información del lote seleccionado:

Textura: franco arenoso

LAA = 74 mm

Pendiente: 0,0075

Longitud del surco: 200 m

Ancho del surco: 2 m

Ecuación de infiltración:  $Z = 1,28t^{0,24} + 0,02t$

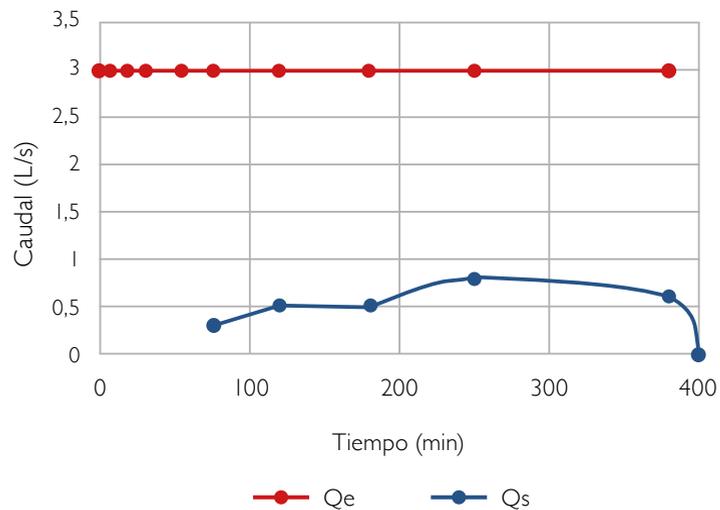
Donde:  $Z =$  lámina infiltrada (cm)

$t = T_{oc}(\text{min})$

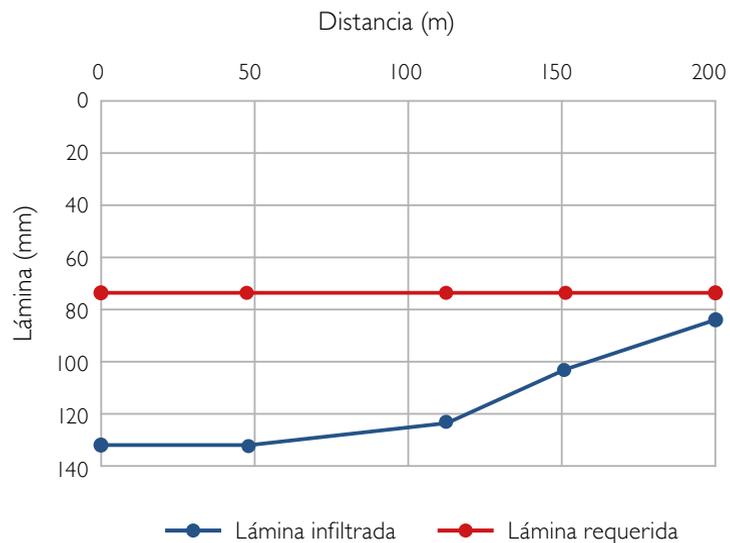
Tiempo de corte: 380 min

No	Distancia (m)	Ta (min)	Tr (min)	Qe (L/s)	Qs (L/s)	Ec. 10	Ec. 15	L zr (mm)	Ec. 12
						Toc (min)	L inf (mm)		Vs (m³)
1	0	0	390	3		390	132	74	
2	47	6	396	3		390	132	74	
3	112	18	370	3		352	123	74	
4	151	30	300	3		270	103	74	
5	200	54,8	250	3		195,2	84	74	
6	-	75		3	0,3				0,18
7	-	120		3	0,5				1,08
8	-	180		3	0,5				1,80
9	-	250		3	0,8				2,73
10	-	380		3	0,6				5,46
11	-	400			0				0,36

### Hidrograma de entradas y salidas



### Patrón de infiltración



**Ec. 13**

$V_s$  (m<sup>3</sup>)

11,61

**Ec. 11**

$V_a$  (m<sup>3</sup>)

68,4

**Ec. 20**

$V_{zr}$  (m<sup>3</sup>)

29,6



Eficiencia de aplicación (%)

43 %

**Ec. 19**

P. escorrentía (%)

17 %

**Ec. 22**

P. percolación (%)

40 %

**Ec. 23**

## 3.2. Evaluación de la eficiencia del sistema de riego por aspersión

A continuación, se presentan detalladamente las metodologías de campo utilizadas para la evaluación y determinación de la eficiencia de aplicación de los sistemas de riego por aspersión.

En primer lugar, recuerde hallar la eficiencia de conducción y distribución como se explicó en la Unidad 2. En caso de no poder utilizar esta metodología porque el sistema es cerrado y conduce el agua desde la fuente a través de tuberías, identifique y cuantifique las pérdidas debido a fugas o asegúrese de no poseer ninguna, y asuma una eficiencia de conducción y distribución del 100 %.

### 3.2.1. ¿Qué necesitamos?

Talento humano requerido: 2 personas.

El evaluador debe alistar las siguientes herramientas para la labor en campo, de acuerdo con las dimensiones de su área de estudio (Figura 32):

- a. Vasos pluviométricos o recipientes de igual diámetro y capacidad, sin deformaciones ni bordes agudos.
- b. Probeta graduada de 100 ml
- c. Rollo de cabuya
- d. Cinta métrica > 10 m
- e. Flexómetro de 5 m
- f. Estacas
- g. Cronómetro
- h. Balde graduado
- i. Manómetro
- j. Palillos de 10-15 cm
- k. Cinta transparente

- l. Machete
- m. Hoja de apuntes
- n. Manguera (2 m)
- o. Accesorios
- p. Gramera  $\pm 0,05g$
- q. GPS
- r. Bolsas para muestras



**Figura 32.** Materiales utilizados para la evaluación de sistemas de riego por aspersión.

Para que los vasos pluviométricos no se volteen en campo por acción del viento o factores externos, es necesario fijarlos sobre el suelo. Para esto, pegue un palillo en la base inferior externa de cada vaso (Figura 33).

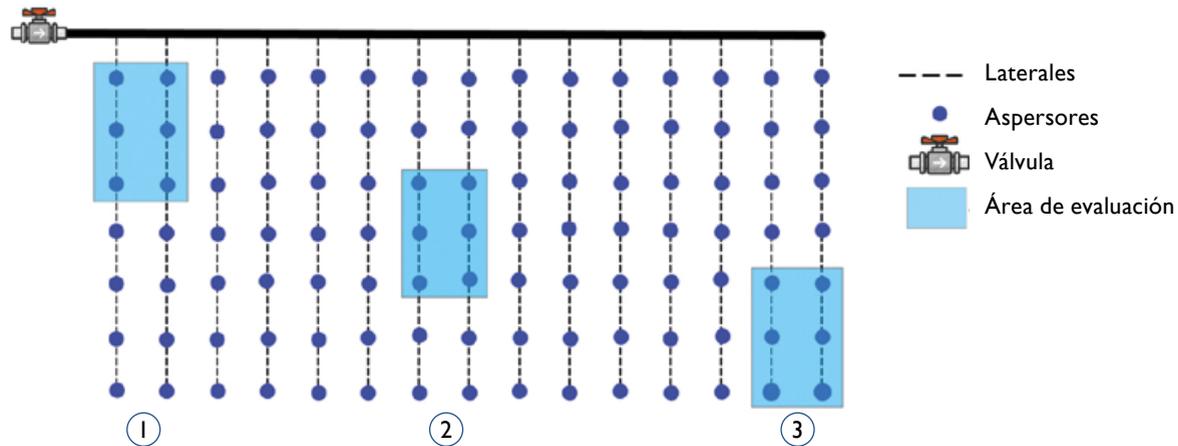


**Figura 33.** Vaso pluviométrico adaptado para ser utilizado en la evaluación.

### 3.2.2. Selección del área de evaluación

Elija para la evaluación un área representativa de funcionamiento del sistema en función del tipo de suelo. Registre en el Formato 2 (Anexo 2, secciones A, B, C y D) información general sobre la prueba, el sistema de riego, las características del suelo, planta, clima y finalmente, la ubicación geográfica de los aspersores evaluados utilizando un GPS o CyberTracker.

Generalmente se recomienda seleccionar tres zonas de evaluación: (1) la parte cercana al cabezal de campo, (2) la mitad del módulo y (3) el área más alejada.



**Figura 34.** Esquema representativo para la selección de las zonas o áreas de evaluación.

Cada área de evaluación recoge el agua de mínimo seis aspersores. Sin embargo, esta cantidad se define teniendo en cuenta el diseño del sistema a valorar. Una vez seleccionados, registre en el Anexo 2: Sección D, las coordenadas de dichos aspersores utilizando el GPS.

Tenga en cuenta que esta metodología debe ser empleada en sistemas de riego por aspersión, que presenten algún porcentaje de traslape.

### 3.2.3. Trabajo de campo

#### 3.2.3.1. Registro de humedad del suelo

En la actualidad, existen diversos dispositivos o sensores que permiten monitorear la humedad del suelo, pero en caso de no disponer de alguno, extraiga muestras de suelo de los aspersores evaluados o puntos de interés y determine gravimétricamente.

Con el fin de obtener información más precisa, es necesario determinar la humedad gravimétrica del suelo (%Hg) antes y después del riego, hasta una profundidad de 50-60 cm. A continuación, se presenta la metodología para ello.

- Tome una muestra de suelo de al menos 100 g en el momento, lugar y profundidad deseada, dépositela en una bolsa y registre su peso ( $M_{sh}$ ) (Figura 35).
- Una vez terminada la prueba, seque la muestra recolectada a una temperatura de 105 °C durante 24 h.
- Pese la muestra en seco ( $M_{ss}$ ) y calcule la humedad gravimétrica (%Hg) como:

$$\%H_g = \frac{M_{sh} - M_{ss}}{M_{ss}} * 100 \quad (\text{Ec. 24})$$



Figura 35. Extracción de muestra de suelo húmeda en campo.

### 3.2.3.2. Establecimiento de la malla pluviométrica

- a. Cree una cuadrícula sobre el campo utilizando pita o cabuya y luego limpie con un machete la zona donde será ubicado el vaso pluviométrico (Figura 36).



**Figura 36.** Limpieza de área donde será ubicado el vaso pluviométrico.

- b. Ubique una red de recipientes sobre el suelo formando una malla de 2x2 metros (Figuras 37 y 38). Asegúrese de que los vasos queden correctamente nivelados y no ladeados.



**Figura 37.** Ubicación de los vasos pluviométricos en campo utilizando una cuadrícula establecida con cabuya como líneas guías.

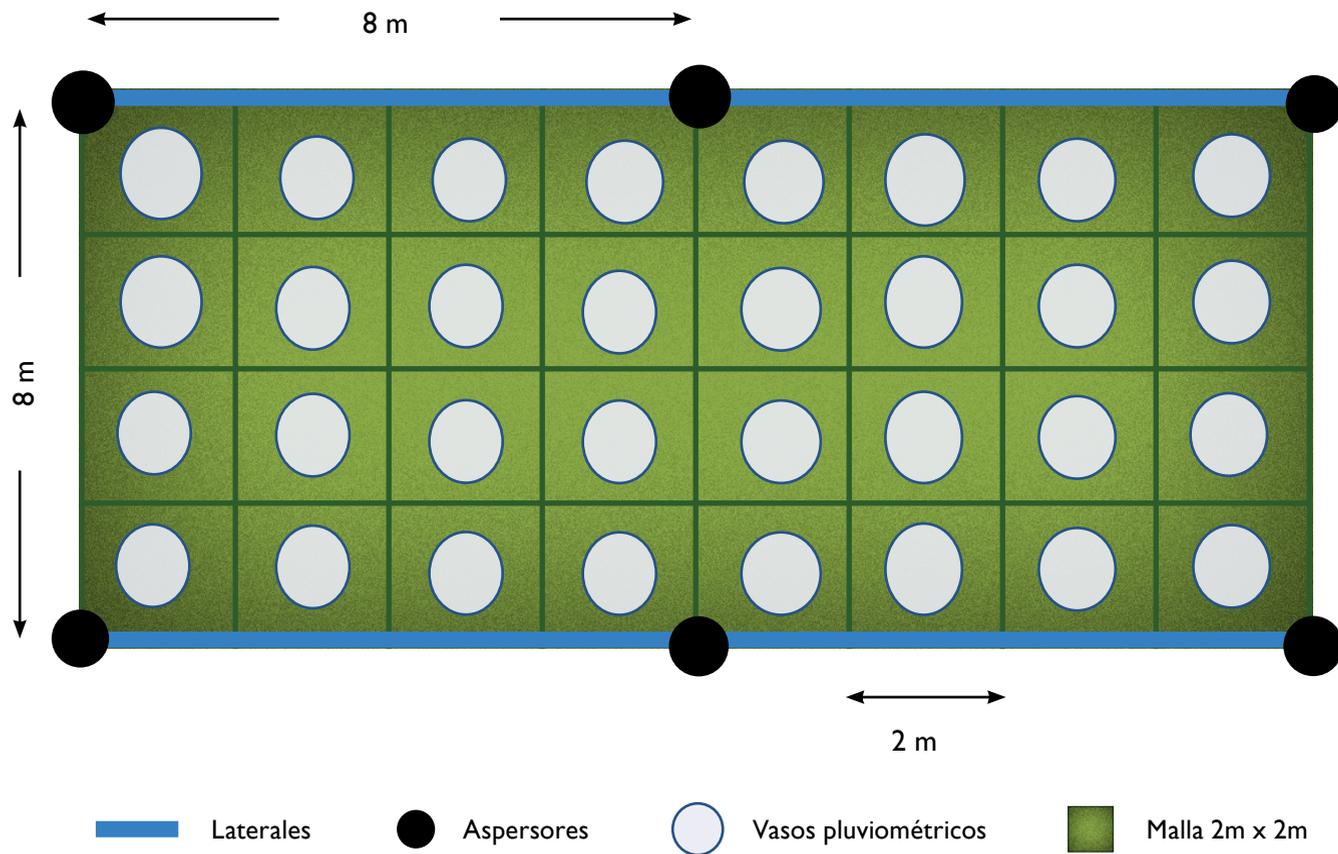


Figura 38. Esquematización de la distribución de los vasos pluviométricos instalados en campo, para la evaluación del sistema de riego por aspersión.

### 3.2.3.3. Registro de láminas

- a. Una vez ubicados los vasos o recipientes sobre el suelo, inicie el riego por mínimo una hora para que los datos sean más confiables (Figura 39), garantizando que el agua no se rebose en ese tiempo. Asegúrese de instalar al menos un vaso pluviométrico con un volumen de agua conocido fuera del área de evaluación, para determinar la evaporación y hacer un ajuste en caso de requerirlo.



**Figura 39.** Registro de láminas en campo una vez empieza el riego.

- b. Durante la prueba, asegure el adecuado funcionamiento de los aspersores, corrigiendo errores de funcionamiento y/o taponamientos.
- c. Finalizado el tiempo, realice la medición del volumen recogido en cada vaso con ayuda de una probeta (Figura 40), y regístrelo en el Formato 2 (Anexo 2, Sección E).

### 3.2.3.4. Registro de caudales y presiones

Finalizado el tiempo de la prueba, en cada uno de los aspersores evaluados:

- Determine el caudal (Figura 41 a) utilizando el método volumétrico del numeral 2.2. Realice al menos tres registros de tiempos en cada aspersor.
- Identifique presiones utilizando un manómetro (Figura 41 b).

Anote estos datos en el Anexo 2: secciones F y G.



**Figura 40.** Registro de los volúmenes captados en los vasos pluviométricos.



a)



b)

**Figura 41.** a) Medición de caudal (aforos) y b) chequeo de presiones. Foto: T. Delgado.

### 3.2.4. Trabajo de oficina

Con la información recolectada establezca:

#### 3.2.4.1. Lámina de agua recogida en los vasos ( $L_p$ )

Convierta los volúmenes obtenidos en campo (ml o  $\text{cm}^3$ ), a lámina así:

$$L_p = \frac{V_p}{A_p} * 10 \quad (\text{Ec. 25})$$

**Donde:**

$L_p$  = lámina de agua recogida en los vasos (mm)

$V_p$  = volumen medio recolectado en los vasos ( $\text{cm}^3$ )

$A_p$  = área de la embocadura de los vasos ( $\text{cm}^2$ )

#### 3.2.4.2. Lámina promedio aplicada por los aspersores ( $L_a$ )

$$L_a = \frac{Q_a}{(D_a * D_l)} * t \quad (\text{Ec. 26})$$

**Donde:**

$L_a$  = lámina promedio aplicada por el aspersor ( $\text{L}/\text{m}^2 = \text{mm}$ )

$Q_a$  = caudal aplicado por el aspersor ( $\text{L}/\text{min}$ )

$D_a$  = distancia entre aspersores (m)

$D_l$  = distancia entre laterales (m)

$t$  = tiempo de riego (min)

### 3.2.4.3. Determinación de indicadores y eficiencia

**Coefficiente de Uniformidad de Christiansen (CU).** Este indicador es ampliamente usado para la evaluación de riegos presurizados. Un CU igual o mayor que 0,7 es considerado aceptable para este tipo de sistemas. La ecuación de Christiansen (1942) es la siguiente:

$$Cu (\%) = 100 \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - X|}{Xn} \right] \quad (\text{Ec. 27})$$

**Donde:**

$Cu$  = coeficiente de uniformidad de Christiansen (%)

$X_i$  = media de cada recipiente

$X$  = valor medio del agua recogida en todos los recipientes

$n$  = número de recipientes

### Uniformidad de distribución (UD)

$$UD = \frac{V_{25\%}}{V_m} * 100 \quad (\text{Ec. 28})$$

**Donde:**

$UD$  = uniformidad de distribución (%)

$V_{25\%}$  = promedio de los volúmenes de la cuarta parte de los vasos que han recogido menos agua

$V_m$  = media de todos los volúmenes medidos en cada uno de los vasos pluviométricos

## Eficiencia de aplicación (EA)

Es la proporción entre la lámina promedio de agua de riego en el cuarto inferior (CI), infiltrada y almacenada en la zona radicular, y la lámina promedio del agua de riego aplicada, expresada como un porcentaje, es decir:

$$EA = \frac{L_{25\%}}{La} * 100 \quad (\text{Ec. 29})$$

**Donde:**

$L_{25\%}$  = lámina promedio infiltrada y almacenada en el CI, que corresponde a la cuarta parte de los vasos que han recogido menos agua (mm)

$La$  = lámina promedio aplicada (mm)

## Eficiencia de almacenamiento (Eal)

Se define como la relación entre la lámina promedio almacenada en el cuarto inferior y la deficiencia de humedad en el suelo (DHS) que corresponde con la lámina de agua requerida en el momento para alcanzar el punto de CC en el suelo o completar la LAA. Tenga en cuenta que, si la frecuencia de riego del sistema supone la aplicación de la lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA), este será su DHS.

$$Eal = \frac{L_{25\%}}{DHS} * 100 \quad (\text{Ec. 30})$$

**Donde:**

$Eal$  = eficiencia de almacenamiento (%)

$L_{25\%}$  = lámina promedio infiltrada y almacenada en el CI, que corresponde a la cuarta parte de los vasos que han recogido menos agua (mm)

$DHS$  = déficit de humedad del suelo (mm)

## Pérdidas por arrastre y evaporación (Pae)

Se calculan de la siguiente forma (Fernández et al., 2010):

$$Pae = \frac{La - Lm}{La} * 100 \quad (\text{Ec. 31})$$

### Donde:

$Pae$  = pérdidas por evaporación y arrastre (%)

$La$  = lámina promedio aplicada por el aspersor (mm)

$Lm$  = lámina promedio infiltrada obtenida de todos los vasos (mm)

## Eficiencia del sistema de riego (ESR)

Finalmente, determine la eficiencia del sistema de riego utilizando la información de eficiencia de conducción, distribución y aplicación, así:

$$ESR = EC * ED * EA$$

# Bibliografía

- CVC. (2005). Manual de procedimientos hidrométricos (Vol. 13). [http://www.sensorvital.com/archivos/menu\\_4/17.pdf](http://www.sensorvital.com/archivos/menu_4/17.pdf)
- Fernández, R., Oyonarte, N. A., García, J. P., Yruela, M. del C., Milla, M. M., Alabarces, R. Á., & Gavilán, P. (2010). *Manual de riego para agricultores. Módulo 3: Riego por aspersion*. Sevilla, España: Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación.
- Gurovich, L. A. (2003). *Riego superficial tecnificado* (2ª ed.). México D. F.: Alfaomega.
- Núñez, A. (2015). *Manual del Cálculo de Eficiencia para Sistemas de Riego*. Lima, Perú: Ministerio de Agricultura y Riego.
- Walker, W. R. (1989). Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems. *FAO irrigation and drainage paper, 45*. <http://www.fao.org/docrep/T0231E/t0231e00.htm#Contents>

# Anexo I. Aforo por flotador (Formato I)

Formato de trabajo: Aforo de caudal												
A. INFORMACIÓN GENERAL												
Responsables:								Grupo:				
								Evaluador:				
Fecha:			Plantación:			Ubicación:			Latitud:			
									Longitud:			
B. FUNDAMENTO TEÓRICO												
A continuación encontrará las fórmulas requeridas para efectuar la determinación de caudal												
<p>Área</p> $A_i(m^2) = \frac{d_1 + d_2}{2} * x$ $A(m^2) = A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_i$ $A(m^2) = \frac{A_{inicial} + A_{medio} + A_{final}}{3}$						<p>Velocidad</p> $V = \frac{X}{t} * F_c$ $F_c = 0.85$						
Caudal												
$Q = V * A$												
C. PRÁCTICA												
Teniendo en cuenta las instrucciones brindadas por el facilitador, diligencie la siguiente información:												
Sección transversal (Inicio)	Medición											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Profundidad (m)												
Ancho (m)												
Área (m <sup>2</sup> )												
Área total (m <sup>2</sup> )												
Sección transversal (Medio)	Medición											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Profundidad (m)												
Ancho (m)												
Área (m <sup>2</sup> )												
Área total (m <sup>2</sup> )												
Sección transversal (Final)	Medición											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Profundidad (m)												
Ancho (m)												
Área (m <sup>2</sup> )												
Área total (m <sup>2</sup> )												
Velocidad (m/s)	Medición											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Longitud tramo evaluado (m)												
Tiempo (s)												
Velocidad (m/s)												
D. CÁLCULOS												
Área total promedio (m <sup>2</sup> )												
Velocidad promedio (m/s)												
Caudal promedio (m <sup>3</sup> /s)												
Observaciones:												



## Anexo 3. Factores de corrección aforo por flotador

Tipo de cauce	Fc
Canal rectangular con lados y lechos lisos	0,85
Río profundo y lento	0,75
Arroyo parejo de lecho uniforme y liso	0,65
Arroyo rápido y turbulento	0,45
Arroyo muy poco profundo de lecho rocoso	0,25



# Glosario

- **Riego:** procedimiento que consiste en el aporte artificial de agua a un determinado terreno, generalmente con la intención de cubrir las necesidades hídricas y facilitar el desarrollo de los cultivos.
- **Conducto:** canales abiertos, cerrados o tuberías por las que se deriva el agua de riego.
- **Volumen:** es el espacio que ocupa un cuerpo. La unidad de volumen en el sistema internacional es el metro cúbico (m<sup>3</sup>).
- **Lámina de riego:** cantidad de agua expresada en milímetros, que es aplicada o contenida en el suelo.
- **Aforo:** procedimiento utilizado para realizar la determinación del caudal.
- **Caudal:** volumen de agua que atraviesa una superficie en un tiempo determinado.
- **Sección transversal:** se refiere a un “corte” de 2 dimensiones en una figura de 3 dimensiones.
- **Aguas abajo:** esta expresión se utiliza para referirse a un punto que se sitúa después de la sección considerada, avanzando en el sentido de la corriente.
- **Aguas arriba:** lo opuesto a la definición anterior, es decir, que el punto avanza en dirección contraria a la corriente.
- **Elevadores:** tubería vertical que acopla el aspersor.
- **Levantamiento altimétrico:** es el conjunto de operaciones necesarias para obtener las alturas respecto al plano de comparación.
- **Canaleta RBC:** instrumento para la medición de caudales.
- **Cabecera:** parte inicial de una corriente de agua.
- **Escorrentía:** lámina de agua que circula sobre la superficie del suelo.

- **Percolación:** proceso de filtración del agua a las capas profundas del terreno.
- **Hidrograma:** gráfico que muestra la variación en el tiempo de alguna información hidrológica como nivel de agua, caudal, carga de sedimentos, entre otros.
- **Cabecal de campo:** válvulas que se instalan en el campo para suministrar el agua a las diferentes unidades de riego.
- **Módulo de riego:** subdivisión de los sectores de riego que funcionan en conjunto.
- **Traslape:** cruce de los chorros de agua de los aspersores que permite lograr un humedecimiento uniforme sobre el área.
- **Humedad gravimétrica:** relación entre la masa de la fracción líquida y la masa de la fracción sólida del suelo.
- **Probeta:** instrumento de laboratorio o recipiente graduado que permite medir volúmenes.
- **Manómetro:** instrumento para medir la presión.
- **Frecuencia de riego:** corresponde al intervalo de días transcurridos entre un riego y otro.
-



Esta publicación es propiedad del Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma, por tanto, ninguna parte del material ni su contenido, ni ninguna copia del mismo puede ser alterada en forma alguna, transmitida, copiada o distribuida a terceros sin el consentimiento expreso de Cenipalma. Al realizar la presente publicación, Cenipalma ha confiado en la información proveniente de fuentes públicas o fuentes debidamente publicadas. Contiene recomendaciones o sugerencias que profesionalmente resultan adecuadas e idóneas con base en el estado actual de la técnica, los estudios científicos, así como las investigaciones propias adelantadas. A menos que esté expresamente indicado, no se ha utilizado en esta publicación información sujeta a confidencialidad ni información privilegiada o aquella que pueda significar incumplimiento a la legislación sobre derechos de autor. La información contenida en esta publicación es de carácter estrictamente referencial y así debe ser tomada y está ajustada a las normas nacionales de competencia, Código de Ética y Buen Gobierno de la Federación, respetando en todo momento la libre participación de las empresas en el mercado, el bienestar de los consumidores y la eficiencia económica.

Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma  
Bogotá, D.C. - Colombia  
[www.cenipalma.org](http://www.cenipalma.org)