

S15  
191  
RS  
11586  
V.6

# UNIDADES DE APRENDIZAJE PARA LA CAPACITACION EN TECNOLOGIA DE PRODUCCION DE ARROZ

# 6

## EL RIEGO EN EL CULTIVO DEL ARROZ



030108

06 JUN 1997

Antonio M. Calcedo  
Yezid Salazar B.  
Carlos Riobueno A.

018660

# **EL RIEGO EN EL CULTIVO DEL ARROZ**

**Autores:**

Antonio M. Caicedo, M. Sc.

Yesid Salazar B., Ing. Agr., E. Aoc.

Carlos Riobueno A., Ing. Agric.

**Asesoría científica:**

Alfonso Díaz D., M. Sc., P.E.

**Coordinación general:**

Vicente Zapata S., Ed. D.

Elías García D., Ing. Agr.

**Producción:**

Patricia Perdomo V., Zoot.

**Diagramación:**

Juan Carlos Londoño L., Biól.

**La serie de unidades de aprendizaje sobre tecnologías de producción de arroz fue elaborada y publicada con el auspicio del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) Proyecto de Formación de Capacitadores, convenio CIAT-BID: ATN/SF-3840-RE (2).**

Otros títulos de la misma serie:

1. Manejo integrado de las malezas en el cultivo del arroz en Colombia.
2. Manejo integrado de insectos fitófagos en el cultivo del arroz en Colombia.
  - 2.1 Manejo de roedores en el cultivo del arroz
3. Principios básicos para el manejo integrado de las enfermedades del cultivo del arroz en Colombia.
4. Suelos y fertilización en el cultivo del arroz en Colombia.
5. Adecuación de suelos para el cultivo de arroz-riego en Colombia

Caicedo, Antonio M.; Salazar B., Yezid; Riobueno A., Carlos. El riego en el cultivo del arroz / Asesoría científica, Alfonso Díaz D. ; Coordinación general, Vicente Zapata S., Elías García; producción, Patricia Perdomo V. ; diagramación, Juan Carlos Londoño. -- Cali, Colombia : Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1992. \_\_\_\_ p. Es. -- (Unidades de aprendizaje para la capacitación en tecnología de producción de arroz; 6).

Incluye 18 diapositivas col. y 30 transparencias en bolsillo.

ISBN: \_\_\_\_\_

Publicado en cooperación con el Banco Interamericano de Desarrollo, BID; el Instituto Colombiano Agropecuario, ICA; la Federación Nacional de Arroceros de Colombia, FEDEARROZ, y la Universidad del Tolima, UT.

1. Arroz -- Riego 2. -- Manejo del agua. I. Caicedo, Antonio M. II. Salazar B., Yezid. III. Riobueno A., Carlos. IV. Banco Interamericano de Desarrollo. V. Instituto Colombiano Agropecuario. VI. Federación Nacional de Arroceros de Colombia. VII. Universidad del Tolima. VIII. Centro Internacional de Agricultura Tropical.

## Agradecimiento

Los autores de este material agradecen al Ingeniero Elías García D., asociado de capacitación del CIAT, y al Ingeniero Eugenio Tascón, asociado de capacitación del CIAT hasta 1992, el apoyo técnico que les brindaron durante todas las etapas de su formación como capacitadores y en la elaboración de esta Unidad de Aprendizaje. Las múltiples contribuciones que ellos hicieron para garantizar la publicación de esta serie de materiales son dignas del reconocimiento de todos aquellos que se beneficien de la capacitación impartida mediante el empleo de las Unidades de Aprendizaje.

También desean expresar su agradecimiento al Ing. Oscar Prieto quien colaboró con el borrador original.

*Los autores.*

# Contenido

	Página
Prefacio .....	1
Características de la audiencia .....	3
Instrucciones para el manejo de la Unidad .....	4
Flujograma para el estudio de esta Unidad .....	6
Dinámica de grupo .....	7
Expectativas de aprendizaje .....	8
Exploración inicial de conocimientos .....	11
Objetivos: terminal y específicos .....	16
Introducción .....	17
 <b>Conceptos generales sobre riego</b>	
• Definición .....	1-9
• Parámetros hidrodinámicos usados en riego .....	1-9
• Hidrología .....	1-24
• Gasto de agua .....	1-26
• Balance hídrico .....	1-31
• Cálculo de la lámina de riego .....	1-32
Bibliografía .....	1-38
Ejercicio 1.1 Análisis de lluvias con fines agrícolas .....	1-39
Ejercicio 1.2 Requerimiento de agua y caudal necesario en un predio que se sembrará con arroz para riego .....	1-46
Resumen de la Secuencia 1 .....	1-52

	<b>Página</b>
<b>Métodos de riego y manejo del agua</b>	
• Métodos de riego .....	2-9
• Riego por superficie .....	2-9
• Efecto del agua en el cultivo .....	2-25
• Medición del agua de riego .....	2-32
Bibliografía .....	2-41
Práctica 2.1. Cálculo de la pendiente y establecimiento de curvas a nivel en un lote (caballoneo) .....	2-43
Práctica 2.2. Aforo de una corriente de agua .....	2-47
Resumen de la Secuencia 2 .....	2-50
Evaluación final de conocimientos .....	2-51

### **Anexos**

Anexo 1.	Evaluación del evento de capacitación .....	A-5
Anexo 2.	Evaluación del desempeño de los instructores .....	A-8
Anexo 3.	Evaluación de los instructores .....	A-10
Anexo 4.	Vertederos .....	A-14
Anexo 5.	Resumen de las fórmulas concernientes a orificios y vertederos .....	A-19
Anexo 6.	Ejemplo de registro de aforos con molinete .....	A-20
Anexo 7.	Conducto aforador Parshall .....	A-21
Anexo 8.	Diapositivas que complementan la Unidad .....	A-24
Anexo 9.	Transparencias para uso del instructor .....	A-25

## Prefacio

En las últimas décadas el Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT, en colaboración con los programas nacionales de investigación agrícola, ha desarrollado tecnología para los cultivos de frijol, mandioca y arroz. Al mismo tiempo, el Centro ha contribuido al fortalecimiento de la investigación en los programas nacionales mediante la capacitación de muchos de sus investigadores. Como consecuencia, ahora existe en América Latina un acervo de tecnologías disponibles para los agricultores y un número importante de profesionales expertos en los cultivos mencionados.

También existe en nuestros países latinoamericanos un gran número de extensionistas dedicados a estos cultivos. Sin embargo, muchos de ellos no han tenido la oportunidad de actualizarse en las nuevas tecnologías y, por lo tanto, el flujo de éstas a los agricultores no ocurre con la rapidez y amplitud requeridas para responder a las necesidades de mayor producción de alimentos y de mejoramiento de los ingresos de los productores. Para superar esta limitación, el CIAT ha fomentado la creación de redes de capacitación que ayuden a los extensionistas a actualizarse en las nuevas tecnologías.

Las nuevas redes están integradas por profesionales expertos en frijol, mandioca o arroz, quienes, con la orientación del CIAT, aprendieron métodos de aprendizaje para capacitar a otros profesionales, y están provistos por ello de materiales de apoyo para la capacitación, llamados Unidades de Aprendizaje, una de las cuales es la presente.

Se han desarrollado tres redes de capacitación, cuyos integrantes, en el proceso de su transformación de especialistas agrícolas en “capacitadores” de profesionales agrícolas, elaboraron las Unidades de Aprendizaje. Creemos que ellas son instrumentos dinámicos que esperamos sean adoptados por muchos profesionales quienes, a su vez, harán ajustes a su contenido para adecuarlas a las condiciones locales particulares en que serán usadas.

Hasta ahora las Unidades han pasado exitosamente la prueba de su uso. Pero sólo con el correr del tiempo veremos si realmente han servido para que la tecnología llegue a los agricultores, mejorando su bienestar y el de los consumidores de los productos generados en sus tierras. Con el ferviente deseo de que estos beneficios se hagan realidad, entregamos las Unidades para su uso en las redes y fuera de ellas.

En el desarrollo metodológico de las Unidades y en su producción colaboraron muchas personas e instituciones. A todas ellas nuestro reconocimiento, y especialmente a los nuevos capacitadores, así como a los dirigentes de sus instituciones, y a los científicos del CIAT.

Un particular agradecimiento merece la señora Flora Stella Collazos de Lozada por la eficaz y eficiente transcripción de los originales.

Hacemos también un claro reconocimiento tanto de la labor de dirección de la estrategia de formación de capacitadores, realizada por Vicente Zapata S., Ed. D., como de su acertada dirección de las actividades de capacitación de las cuales surgió la serie de Unidades de Aprendizaje para la Capacitación en arroz.

Finalmente, nuestro agradecimiento al Banco Interamericano de Desarrollo, entidad que financió el Proyecto para la Formación de Capacitadores, el cual incluye la producción de estas Unidades.

---

*Gerardo E. Häbich*

Director Asociado, Relaciones Institucionales

CIAT

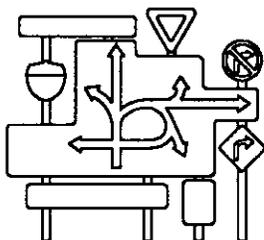
## Características de la audiencia



La presente Unidad de Aprendizaje pretende capacitar a las personas que manejan el cultivo del arroz para que tomen decisiones sobre el manejo del agua de riego, y para que obtengan la máxima ventaja de ese manejo. Para ello se requiere que tengan una formación básica adecuada, y que estén directamente relacionadas con la producción de arroz. Se prefiere que esas personas sean Ingenieros Agrónomos, Ingenieros Agrícolas con experiencia en producción arroceras de cinco años como mínimo. Es aconsejable, mas no esencial, que hayan estudiado previamente la Unidad de Aprendizaje titulada “Adecuación de Suelos para el Cultivo de Arroz-Riego”, de esta misma serie.

Considerando tanto la importancia del riego y de su manejo en el cultivo del arroz como su interacción con otras prácticas agronómicas; y ponderando adicionalmente el desconocimiento que tienen los agricultores del proceso mismo de riego, del cálculo de las demandas de agua, de la elaboración de un plan de riego, y de las formas posibles de hacer la medición de los volúmenes suministrados, se tomó la decisión de realizar esta Unidad. Se diseñó como una guía que utilizarán los distintos agentes transferidores de tecnología.

## Instrucciones para el manejo de la Unidad



Esta Unidad de Aprendizaje ha sido preparada para su uso en Colombia, por lo cual en ella se hace referencia específica al contexto geográfico de ese país y a los agroecosistemas comprendidos en él. Las personas interesadas en emplear este material para dar capacitación en otras regiones o países deberán hacerla los ajustes necesarios, tanto en el contenido teórico como en aquellas partes que se refieren a los resultados de la investigación local.

El contenido de la Unidad se distribuye en dos secuencias instruccionales, cada una con sus respectivos recursos metodológicos y materiales de apoyo, con el fin de facilitarle a la audiencia el aprendizaje. Para optimizar la utilidad de la Unidad sugerimos las siguientes recomendaciones.

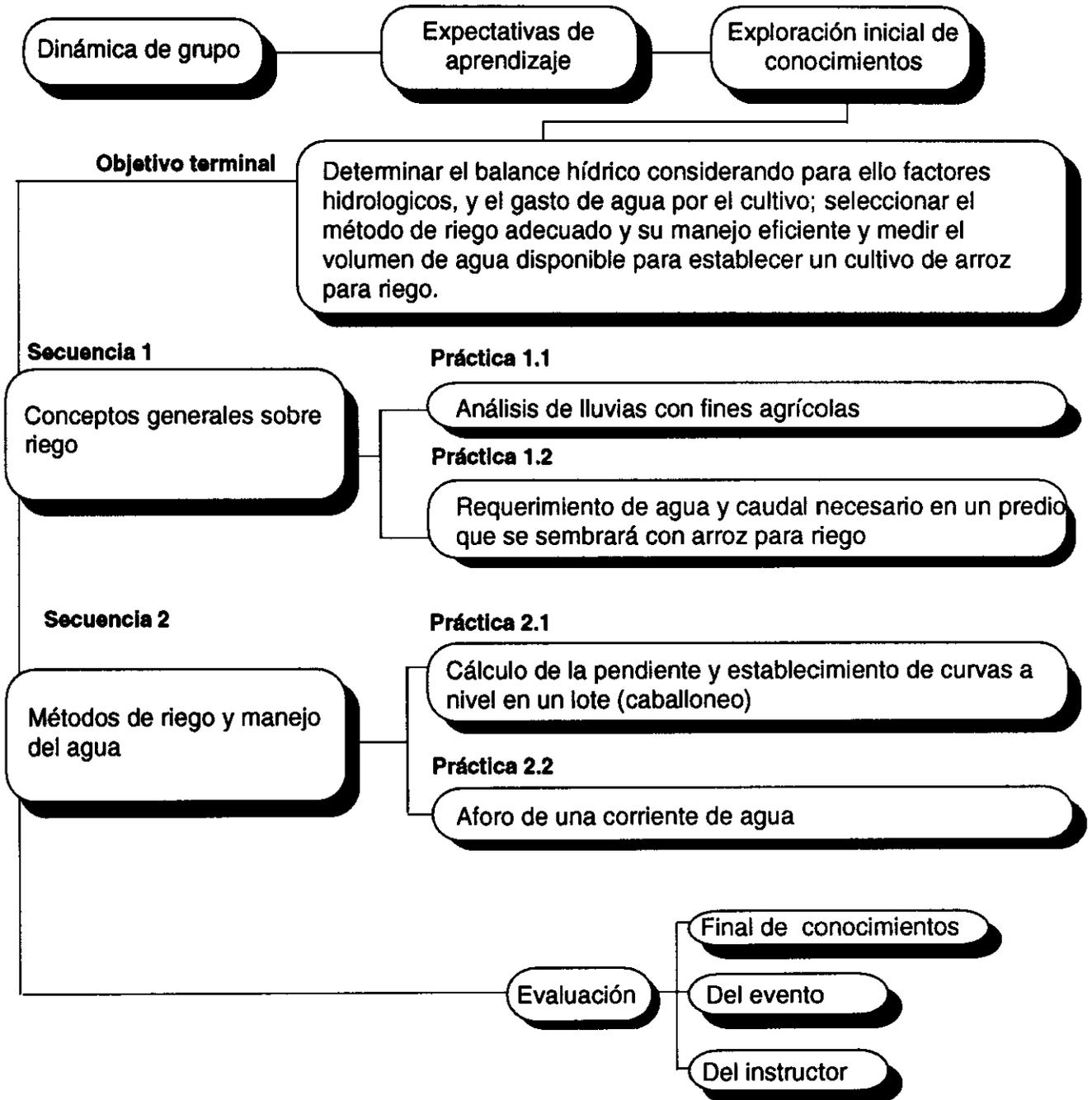
Antes de usar la Unidad, cerciórese de que sus componentes (páginas de contenido, diapositivas y transparencias) se encuentren en buen estado y estén en la secuencia adecuada; familiarícese con ellos; asegúrese de contar con el equipo necesario para proyectar las diapositivas y transparencias; compruebe su buen funcionamiento; ponga en práctica los recursos metodológicos de la Unidad, midiéndoles el tiempo de exposición, para que pueda llevar a cabo todos los eventos de instrucción (preguntas, respuestas, ejercicios, presentaciones, etc.). Prepare los sitios y materiales que necesite para las prácticas de campo, y finalmente asegúrese de tener a mano todos los elementos necesarios para la instrucción.

Durante el uso de la Unidad, tenga siempre presente que los participantes en el curso son los protagonistas de su propio aprendizaje; por lo tanto, anímelos a participar activamente. Revise continuamente el flujograma de actividades programadas y el tiempo que ha destinado para cada una, con el fin de asegurar su cumplimiento; evite las discusiones personales innecesarias para que pueda cumplir con los objetivos de la Unidad; escriba las observaciones que, según su criterio, permiten mejorar el contenido y la metodología de la Unidad; haga énfasis en los objetivos específicos para aumentar la concentración de la audiencia; centre la atención de los participantes en los puntos principales y en la relación que tienen todos los subtemas con el objetivo terminal de la Unidad.

Para desarrollar cada secuencia, el instructor discutirá con los participantes los objetivos específicos, luego expondrá el contenido técnico, y por último introducirá las prácticas y ejercicios en el aula y en el campo. A los participantes se les hará una evaluación formativa, y al final del taller se realizará la evaluación total del evento.

Después de usar la Unidad, cerciórese de que todos sus elementos queden en buen estado y en el orden adecuado; obtenga información de retorno con respecto a la eficacia de la Unidad como instrumento de aprendizaje; responda a las inquietudes de la audiencia y haga las preguntas que considere convenientes. Insista en la consulta de la bibliografía recomendada y en la búsqueda de información más detallada sobre los temas del contenido que hayan despertado mayor interés en la audiencia. Finalmente, después de transcurrido el tiempo necesario, evalúe la forma en que se está haciendo el riego en el cultivo del arroz en la zona de influencia de quienes recibieron la capacitación; la aplicación de ésta en los lotes de los productores le indicarán su utilidad y el grado de aprendizaje obtenido.

# Flujograma para el estudio de esta Unidad<sup>1</sup>



1/ El flujograma muestra la secuencia de pasos que el instructor y la audiencia deben dar para lograr los objetivos.

## Dinámica de grupo



Para lograr una mayor integración entre los participantes del evento, el instructor les dará la siguiente motivación:

“Se había pensado hacer una rifa de una fumigadora de propulsión EPI, al finalizar esta Unidad. Sin embargo, la experiencia adquirida en cursos anteriores indica que la rifa debe hacerse al inicio del evento, pues garantiza la presencia de los participantes y permite planear el transporte del objeto rifado”.

Para tal efecto, se harán tantas papeletas o fichas como participantes haya en el momento de la rifa, y se numerarán en forma consecutiva. El instructor anotará previamente el número ganador, con tinta, en una ficha reservada, antes de que cada participante escoja su papeleta. Al ganador se le entregará un “atomizador para fumigar insectos caseros” que lleve la marca EPI (especial para inocentes).

Se acepta de antemano que el instructor elija otra forma de introducción, especialmente cuando los participantes hayan compartido varios días de trabajo en equipo o cuando otro instructor haya realizado un ejercicio similar. También se puede prescindir de ella.

## Expectativas de aprendizaje

### **Orientación para el instructor**

En el cuestionario titulado Expectativas de Aprendizaje, los participantes pueden expresar sus intereses o lo que esperan del contenido técnico de esta Unidad. Este resultado será cotejado con los objetivos de la capacitación. Las preguntas deben responderse en forma individual; al terminar, cada participante se reunirá con sus compañeros de grupo para compartir sus respuestas. El grupo escogerá un relator quien tendrá a su cargo la presentación de las expectativas del grupo.

Con base en las presentaciones realizadas por los relatores, el instructor clasificará en un papelógrafo la información presentada. Cuando todos los relatores hayan hecho su presentación, el instructor separará las expectativas en tres clases:

- Las que coinciden plenamente con los objetivos de la Unidad.
- Las que tienen alguna relación con los objetivos de la Unidad.
- Las que se refieren a otros aspectos de la capacitación que no han sido considerados en esta Unidad.

# Expectativas de aprendizaje

## Instrucciones para el participante



El cuestionario que se presenta a continuación tiene como objetivo correlacionar sus expectativas con las de sus compañeros y con los objetivos de la Unidad. Cuando haya contestado a las preguntas reúñase con sus compañeros de grupo, comparta con ellos las respuestas y nombren un relator para presentar las conclusiones del grupo.

Tiempo: 20 minutos

Nombre: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

Edad: \_\_\_\_\_

Nivel académico: \_\_\_\_\_

Institución o Entidad: \_\_\_\_\_

### Responsabilidad actual en su trabajo

- Investigación
- Extensión
- Docencia
- Administración
- Otros

1. ¿Cómo se enteró del curso y qué lo motivó a asistir a este evento?

---

---

---

2. ¿Qué expectativas tiene usted acerca de lo que aprenderá con el estudio de esta Unidad?

Expectativas institucionales: \_\_\_\_\_

---

---

---

Expectativas individuales: \_\_\_\_\_

---

---

---

3. ¿Cómo piensa utilizar lo que aprenda? \_\_\_\_\_

---

---

---

## Exploración inicial de conocimientos

### **Orientación para el instructor**

A continuación se presenta un cuestionario con una serie de preguntas que tienen relación con el contenido técnico de la Unidad. Al contestar estas preguntas, los participantes permitirán que se evalúen los conocimientos que tienen sobre los temas principales de la Unidad.

Una vez que los participantes hayan contestado el formulario, el instructor dará las respuestas correctas sin entrar en mayores detalles o explicaciones sobre ellas.

Al concluir el estudio de la Unidad se hará una evaluación final de conocimientos para comparar los resultados de ésta con la exploración inicial. De esta manera se podrá tener una indicación del progreso logrado por los participantes.

## Exploración inicial de conocimientos

### Instrucciones para el participante



Las respuestas que dé a este cuestionario le ayudarán a conocer cuánto sabe acerca de los aspectos más importantes de esta Unidad. Cuando lo haya respondido, usted podrá comparar sus respuestas con las que le presente el instructor, y estimar los conocimientos con que usted inicia el estudio de este tema.

Tiempo: 15 minutos

Nombre: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

1. Señale cuál de los cinco parámetros siguientes no tiene importancia en el aprovechamiento del agua de riego en arroz:
  - a. Textura
  - b. Presión osmótica
  - c. Capacidad de retención de humedad
  - d. Presión de vapor
  - e. Porosidad del suelo

2. Enuncie tres componentes del gasto de agua en un cultivo de arroz:

---

---

---

---

3. Enumere tres parámetros que se tienen en cuenta al hacer un balance hídrico: \_\_\_\_\_

---

---

---

4. ¿Cuáles son los tres componentes de la lámina de agua en el riego de arroz? \_\_\_\_\_

---

---

---

5. Enuncie las características importantes del suelo que condicionan la implementación de un sistema de riego por inundación: \_\_\_\_\_

---

---

---

6. Mencione tres métodos de aforo que usted conozca: \_\_\_\_\_

---

---

---

## **Exploración inicial de conocimientos - Información de retorno**

### **Orientación para el instructor**

Una vez que los participantes hayan contestado las preguntas del cuestionario, el instructor procede de la siguiente manera:

1. Presenta las respuestas correctas (en papelógrafo, acetato u hojas impresas).
2. Permite que los participantes comparen sus respuestas con las que él ha presentado.
3. Discute brevemente las respuestas sin profundizar demasiado en cada una de ellas.

Para que sea más dinámico este ejercicio, los cuestionarios se pueden intercambiar entre los participantes para revisarlos. El instructor cuenta los individuos que contestaron acertadamente cada una de las preguntas; de esta manera sabrá si es mayor o menor el número de participantes que poseen un conocimiento previo de los diferentes tópicos por tratar.

También es recomendable que el instructor ponga a disposición de los participantes las referencias bibliográficas específicas (texto, capítulo, página) en las que se fundamentan las respuestas.

## Exploración inicial de conocimientos - Información de retorno



Pregunta No.	Respuesta
1	d. Presión de vapor
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Escorrentía</li> <li>• Percolación profunda</li> <li>• Infiltración lateral</li> <li>• Pérdidas por conducción</li> <li>• Evapotranspiración</li> </ul>
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precipitación</li> <li>• Riego</li> <li>• Almacenamiento</li> <li>• Evapotranspiración</li> <li>• Excesos</li> </ul>
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lámina almacenada</li> <li>• Lámina de llenado</li> <li>• Lámina de embalse</li> </ul>
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Topografía plana</li> <li>• Suelos de textura fina</li> <li>• Profundidad del suelo</li> <li>• Bajo a moderado contenido de Fe</li> <li>• Calidad del agua</li> </ul>
6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Correntómetro</li> <li>• Flotadores</li> <li>• Canaletas</li> <li>• Vertederos</li> <li>• Orificios</li> <li>• Químico</li> <li>• Radioactivo</li> </ul>

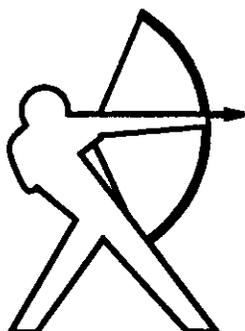
UNIDAD DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

## Objetivos

### Terminal

- ✓ Al finalizar el estudio de la presente Unidad, los participantes estarán en capacidad de determinar el balance hídrico, considerando para ello factores hidrológicos, y el gasto de agua por el cultivo; seleccionar el método de riego adecuado y su manejo eficiente, y medir el volumen de agua disponible para establecer un cultivo de arroz para riego.

### Específicos



Al finalizar el evento, los participantes estarán en capacidad de:

- ✓ Calcular, a partir de una serie de datos pluviométricos, la probabilidad de ocurrencia de lluvias durante el período de desarrollo del cultivo.
- ✓ Estimar los componentes del gasto de agua en un cultivo de arroz, teniendo en cuenta las características físicas del suelo y el manejo del agua.
- ✓ Calcular, en el estudio de un caso, el requerimiento de agua y el caudal necesario en un predio donde se establecerá un cultivo de arroz para riego.
- ✓ Seleccionar el método de riego más adecuado, de acuerdo con las características del suelo, la pendiente y la disponibilidad de agua, en el estudio de un caso.
- ✓ Calcular el caudal que pasa por un canal utilizando dos cosas: un aforador (flotador o correntómetro) y medir la sección transversal del canal.

## Introducción



Para tener un efectivo conocimiento de la función del riego en el arroz, es importante analizar tanto los requerimientos de agua de la planta y su relación con el ambiente como el gasto de agua que hace el cultivo.

Por otra parte, interesa analizar los efectos que el riego ejerce sobre aspectos tales como la nutrición de la planta, la presencia de malezas en el cultivo, las plagas y enfermedades, y también sobre el mismo gasto de agua. Además, se requiere conocer los diferentes sistemas de manejo del agua y las formas en que se puede determinar el requerimiento total de agua y medir el caudal disponible.

Como medida de control del aprendizaje, se incluyen en cada secuencia prácticas que permiten la autoevaluación y el refuerzo de puntos que no hayan quedado claros.

# **Secuencia 1**

**Conceptos  
generales sobre  
riego**

# Contenido

	Página
Objetivos .....	1-7
Información .....	1-9
• Definición .....	1-9
• Parámetros hidrodinámicos usados en riego .....	1-9
• Textura .....	1-9
• Estructura .....	1-11
• Densidad .....	1-12
• Densidad real .....	1-12
• Densidad aparente .....	1-12
• Porosidad .....	1-13
• Humedad de los suelos .....	1-15
• Agua gravitacional .....	1-15
• Agua capilar .....	1-15
• Agua higroscópica .....	1-16
• Agua disponible para las plantas .....	1-16
• Determinación de la capacidad de campo .....	1-16
• El punto de marchitamiento permanente .....	1-17
• Humedad disponible .....	1-17
• Patrón de extracción de agua del suelo por las plantas ..	1-19
• Infiltración .....	1-19
• Medición de la infiltración para el diseño de riego	1-21
• Medición de la infiltración para riego por inundación .....	1-21
• Conductividad hidráulica .....	1-22

- Hidrología ..... 1-24
  - Análisis de la precipitación con fines agrícolas ..... 1-24
  - Análisis de frecuencia de la precipitación ..... 1-25
- Gasto de agua ..... 1-26
  - Evapotranspiración ..... 1-26
    - Evapotranspiración potencial ..... 1-26
    - Evapotranspiración real ..... 1-26
  - Percolación ..... 1-28
  - Infiltración lateral ..... 1-30
  - Escorrentía final ..... 1-30
- Balance hídrico ..... 1-31
- Cálculo de la lámina de riego ..... 1-32
- Bibliografía ..... 1-38
- Ejercicio 1.1 Análisis de lluvias con fines agrícolas ..... 1-39
  - Objetivo
  - Recursos necesarios
  - Instrucciones
  - Hojas de trabajo
  - Información de retorno
- Ejercicio 1.2 Requerimiento de agua y caudal necesario en un predio que se sembrará con arroz para riego. .... 1-46
  - Objetivo
  - Recursos necesarios
  - Instrucciones
  - Hojas de trabajo
  - Información de retorno
- Resumen de la Secuencia 1 ..... 1-52

# Flujograma Secuencia 1

## Conceptos generales sobre riego

### Objetivos

- Calcular, a partir de una serie de datos pluviométricos, la probabilidad de ocurrencia de lluvias durante el período de desarrollo del cultivo.
- Estimar los componentes del gasto de agua en un cultivo de arroz, teniendo en cuenta las características físicas del suelo y el manejo del agua.
- Calcular, en el estudio de un caso, el requerimiento de agua y el caudal necesario en un predio donde se establecerá un cultivo de arroz para riego.

### Contenido

- Definición
- Parámetros hidrodinámicos usados en riego
- Hidrología
- Gasto de agua
- Balance hídrico
- Cálculo de la lámina de riego

### Bibliografía

### Ejercicio 1.1

#### Análisis de lluvias con fines agrícolas

- Objetivo
- Recursos necesarios
- Instrucciones
- Hoja de trabajo
- Información de retorno

### Ejercicio 1.2

#### Requerimiento de agua y caudal necesario en un predio que se sembrará con arroz para riego

- Objetivo
- Recursos necesarios
- Instrucciones
- Hoja de trabajo
- Información de retorno

### Resumen Secuencia 1

## Objetivos



Al finalizar el estudio de esta secuencia el participante estará en capacidad de:

- ✓ Calcular, a partir de una serie de datos pluviométricos, la probabilidad de ocurrencia de lluvias durante el período de desarrollo del cultivo.
- ✓ Estimar los componentes del gasto de agua en un cultivo de arroz, teniendo en cuenta las características físicas del suelo y el manejo del agua.
- ✓ Calcular, en el estudio de un caso, el requerimiento de agua y el caudal necesario en un predio donde se establecerá un cultivo de arroz para riego.

## Información

### Definición

El riego se define como la aplicación artificial de agua al terreno con el fin de suministrar al cultivo la humedad necesaria para el crecimiento y desarrollo óptimo de las plantas.

### Parámetros hidrodinámicos usados en riego

#### Textura

La textura de un suelo se define como la distribución de los tamaños de las partículas de un terreno agrícola, que van desde las de arcilla, de menos de 0.002 mm, hasta las piedras de 50 mm de diámetro.

La mayor parte de los materiales del suelo se componen de arena, limo y arcilla, como se indica en los Cuadros 1.1. y 1.2.

Cuadro 1.1. Clasificación internacional de los componentes del suelo.

Fracción	Diámetro efectivo de partículas (mm)
Arena gruesa	2 - 0.2
Arena fina	0.2 - 0.02
Limo	0.02 - 0.002
Arcilla	< 0.002

Cuadro 1.2. Clasificación de los componentes del suelo hecha por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA).

Fracción	Diámetro efectivo de partículas (mm)
Arena muy gruesa	2 - 1
Arena gruesa	1 - 0.5
Arena mediana	0.5 - 0.25
Arena fina	0.25 - 0.1
Arena muy fina	0.1 - 0.05
Limo	0.05 - 0.002
Arcilla	< 0.002

La proporción de los diversos tamaños de partículas en la muestra se determina por dos métodos: el análisis mecánico y el análisis de humedad.

La distribución de las partículas mayores puede determinarse mediante pruebas de cedazo o tamiz, y la de las partículas más pequeñas haciendo pruebas basadas en la ley de Stokes. Cuando se determina la distribución de tamaños de las partículas, resulta útil clasificar el suelo en uno de varios tipos, utilizando el triángulo de suelos USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) (Figura 1.1).

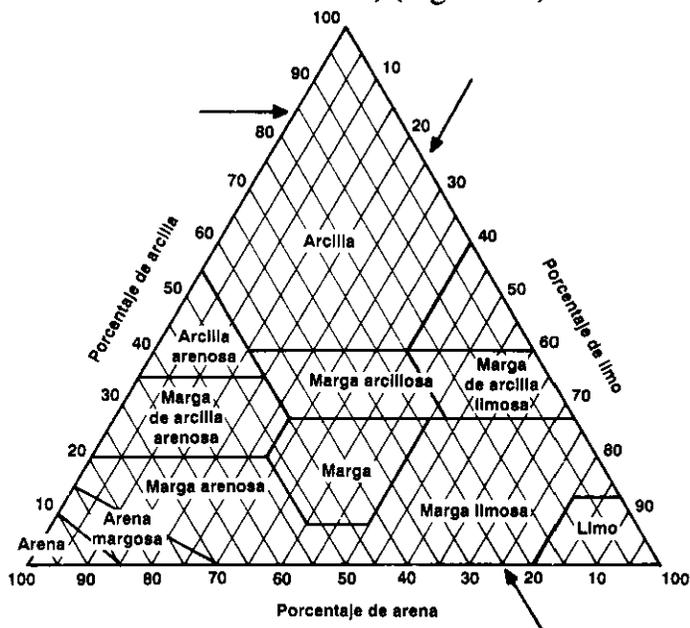


Figura 1.1. Triángulo de suelos USDA para clasificar suelos.

## Estructura

Hay grupos de partículas individuales de tierra que se pueden adherir unas a otras, para formar agregados. La estructura de un suelo consiste en la disposición de las partículas individuales y de los agregados, y de su relación mutua. Por consiguiente, la formación de los sistemas capilares se ve afectada por la estructura.

El ambiente de las plantas también es modificado por la estructura, porque el sistema poroso influye en la capacidad de retención de agua del suelo, en su aireación, en su drenaje, y en la tendencia a la erosión del suelo. El suelo necesita poros grandes para la aireación y la facilidad de admisión del agua, poros de tamaño mediano para el desplazamiento del agua a través de él, y poros pequeños para almacenar la humedad.

La estructura del suelo se mantiene, y se mejora, mediante prácticas adecuadas de cultivo y de riego, y puede destruirse con rapidez si el manejo del suelo es inadecuado.

La estructura se puede clasificar básicamente como simple, donde no hay planos de deposición, o compuesta, donde se distinguen claramente esos planos. La estructura de granos simples, como las arenas, con poca cantidad de materia orgánica, y la estructura masiva, como las arcillas de caolinita, son buenos ejemplos de la clasificación anterior. Las arcillas de montmorillonita son representativas de las estructuras compuestas. En la Figura 1.2 se muestran otras formas más detalladas.

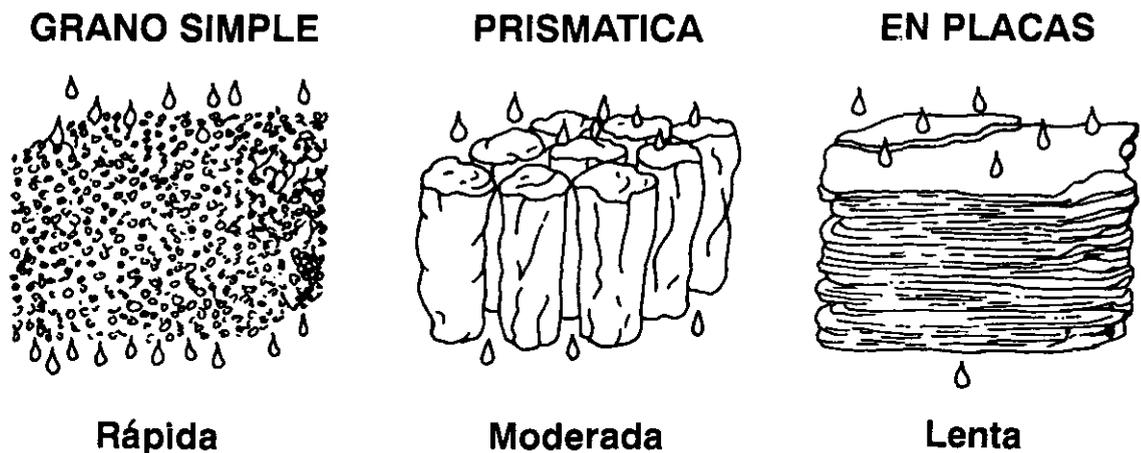


Figura 1.2. Tipos de estructura de los suelos con diferentes clases de percolación

## Densidad

### Densidad real

La densidad real de un suelo es una cantidad sin dimensión que se define como el cociente entre el peso de cierta cantidad de partículas de suelo y el de un volumen de agua igual al de esas partículas. Esta densidad expresa el valor de la masa por unidad de volumen, y se mide en  $\text{g/cm}^3$ . El peso específico de la mayoría de los minerales que forman un suelo varía de 2.5 a 5.0  $\text{g/cm}^3$ . En general, los suelos están compuestos de un número reducido de minerales, tales como el cuarzo y el feldespato. La densidad real de los suelos que tienen un bajo porcentaje de materia orgánica varía muy poco, aproximándose mucho a 2.65  $\text{g/cc}$ , que es el peso específico del cuarzo. Algunos suelos de regadío, que contienen gran cantidad de materia orgánica, tienen un peso específico entre 1.5 y 2.0  $\text{g/cm}^3$ , según la materia mineral que contengan.

### Densidad aparente

La densidad aparente de un suelo se define como el cociente entre el peso de un volumen dado de suelo "seco", incluido el espacio de los poros, y el peso de un volumen igual de agua. Este cociente se denomina también "peso volumétrico" del suelo. La densidad aparente carece de dimensión, puesto que es el cociente entre el peso de un volumen de suelo seco y el peso de un volumen igual, pero de agua. Dado que, aproximadamente, un gramo de agua ocupa un volumen de 1  $\text{cm}^3$ , a temperaturas normales, las cifras que expresan las dos densidades (aparente y real) son prácticamente idénticas.

La densidad aparente está influida por la estructura del suelo -es decir, por la disposición de las partículas de éste, por la textura, y por la compactación. La densidad aparente es una propiedad del suelo de gran importancia para los cultivadores en cuyas tierras hay riego, como se explicará con más detalles cuando se estudie la capacidad de los suelos para retener el agua de riego.

Cuando se hace más compacto un suelo de peso específico conocido aumenta su peso aparente, porque se reduce el espacio entre las partículas del suelo, y disminuye por tanto el volumen del espacio poroso. Cuando se trabaja con un suelo de regadío, es necesario conocer la densidad aparente del suelo, para calcular el agua de riego, puesto que es imposible medir, por medios directos, el volumen de agua que existe en forma de humedad en un volumen dado de suelo. Es preciso por tanto calcular el peso del agua que hay en un peso dado de suelo, anotando la pérdida de peso que experimenta éste con el secado; esta cifra se transforma luego a porcentaje en peso, y así se obtiene un porcentaje en volumen utilizando el peso específico.

De esta forma se puede determinar el volumen del agua contenida en un volumen dado de suelo.

El método más utilizado para hallar la densidad aparente se basa en la obtención de una muestra de suelo de volumen conocido, que se consigue en la práctica introduciendo un tubo de bordes cortantes en el terreno, que recoge en su interior una muestra no compactada. En algunos casos se excavan zanjas, o se hacen agujeros, y se extrae un bloque de terreno; en otros casos se perfora el suelo con un barreno y la muestra así obtenida se somete a secado y se pesa posteriormente. El volumen se calcula ubicando el agujero en el terreno y colocando en él un tubo flexible de plástico o de goma que se llena de agua; luego se extrae el tubo y se mide el volumen del agua.

## Porosidad

El volumen de una esfera de un centímetro de diámetro es de  $0.524 \text{ cm}^3$ . Si la esfera se coloca en una caja en forma de cubo, que tenga de capacidad un centímetro cúbico, el espacio no ocupado por la esfera será  $0.476 \text{ cm}^3$ , o sea, un 47.6% del volumen total. El mismo espacio no ocupado quedará entre cualquier número de esferas de un diámetro cualquiera si se las coloca en columna vertical. Si las bolas se disponen oblicuamente, el porcentaje de espacio ocupado por aire será del 25.9%. Estas dos disposiciones de las bolas muestran que un cambio en la posición relativa de las partículas esféricas puede determinar una considerable variación del volumen de poros, aunque no muestran el intervalo máximo de esa variación en el suelo.

Hay una gran diversidad en el tamaño y en la forma de las partículas del suelo, y estas diferencias influyen en que la superficie de contacto sea mayor o menor, y en la disposición de las partículas pequeñas entre las grandes; ambas cosas determinan el porcentaje total del espacio poroso que, por convenio, se representa por la letra  $n$ . En general, los suelos de textura gruesa, las gravas y los suelos arenosos tienen un porcentaje de espacio poroso más pequeño, y los franco-arcillosos y arcillosos tienen un porcentaje superior. No es extraño que la variación del espacio poroso en los suelos regados sea de 35% a 56%. Para calcular el espacio poroso  $n$ , es necesario conocer los pesos específicos real y aparente del suelo. El cociente del aparente dividido por el real da el espacio ocupado por el suelo, y éste restado de la unidad, da el espacio poroso.

El espacio poroso, en porcentaje, está expresado por la ecuación:

$$n = 100 \left( 1 - \frac{A_s}{R_s} \right)$$

donde;  $n$  = espacio poroso, en porcentaje

$A_s$  = densidad aparente

$R_s$  = densidad real, aproximadamente igual a 2.65 para la mayoría de los terrenos cultivados.

El término porosidad equivale al de espacio poroso, y es muy utilizado en mecánica del suelo; se define como la relación entre el volumen del espacio vacío (espacio ocupado por el aire y el agua) en un suelo, y el volumen total de ese suelo, incluido el del agua y el del aire.

El espacio poroso tiene un papel importante en el valor productivo de los suelos ya que influye en la capacidad de retención del agua, en el movimiento del aire y del agua, y en el enraizamiento de las plantas en el terreno. Cuando se reduce el espacio poroso de un terreno productivo en un 10%, el movimiento del aire, del agua, y el de las raíces encuentra grandes dificultades, y el crecimiento vegetativo resulta seriamente afectado.

Cuando el suelo recibe agua, por medio de las lluvias o del riego, su capa superficial se satura porque los poros del suelo están llenos de aire. A continuación, el agua se desplaza hacia abajo por la fuerza de gravedad y por la capilaridad. Cuando se añade más agua, aumenta la profundidad de la saturación.

Si se suspende el suministro de agua, ésta tiende todavía a descender a través del suelo, de tal modo que se produce un drenaje. Al examinar la masa del suelo, se descubrirá que ciertas cantidades de agua permanecen en la tierra ocupando gran parte del espacio de los poros. La explicación de esto es que la matriz del suelo puede ejercer una fuerza que se opone a la gravedad, impidiendo de ese modo que haya un drenaje completo. Esta fuerza es principalmente, la tensión superficial.

## Humedad de los suelos

Hay cierta cantidad de humedad que no está a disposición de las plantas; es conveniente por tanto clasificar las diversas formas de humedad que se presentan en un suelo, así:

### Agua gravitacional

Ocupa los poros mayores del suelo y drena bajo la influencia de la gravedad. El límite superior del agua gravitacional es aquel en que el suelo se encuentra saturado, o sea, cuando los poros están completamente llenos de agua. Por consiguiente, la capacidad de saturación es igual a la porosidad del suelo, y puede expresarse como

$$P = \frac{100(S - V)}{S}$$

donde P = porcentaje de porosidad respecto al volumen

S = densidad de la muestra del suelo (g/cm<sup>3</sup>)

V = densidad de la masa seca del suelo (g/cm<sup>3</sup>)

Si la porosidad del suelo es de 50% respecto al volumen, entonces la capacidad de saturación se podrá expresar como 500 mm de agua por metro (1000 mm) de suelo. En otras palabras, la cantidad de agua retenida, a la humedad de saturación, en un metro de profundidad del suelo, ocupa 500 mm.

El agua gravitacional drena de la zona de las raíces, a menos que se lo impida una barrera; ésta puede ser una tabla freática elevada o un estrato duro de suelo. El proceso de drenaje dura menos de un día en los suelos de arena gruesa y de 3 a 4 días en los suelos de arcilla pesada. Debido a la desaparición relativamente rápida de esta agua de drenaje, no se incluye por lo común en la cantidad de agua disponible para las plantas; sin embargo, debe dejarse cierto margen, en los cálculos del ciclo de riego, en el tiempo que necesita el suelo para su drenaje hasta el límite inferior del agua gravitacional.

### Agua capilar

El agua capilar es la que retienen los poros por la tensión superficial y la que queda retenida entre las partículas del suelo. El límite superior de esta agua es aquel en que toda el agua gravitacional ha drenado; se dice entonces que el suelo está a capacidad de campo, la cual se considera normalmente como el límite superior del agua disponible para las plantas. El agua de capilaridad es la fuente principal de agua de los vegetales.

## Agua higroscópica

Esta agua es retenida como una película delgada alrededor de las partículas del suelo de manera tan firme, que no se encuentra a disposición de las plantas, excepto, quizá, en los casos de extrema sequía.

## Agua disponible para las plantas

Se considera que la cantidad de agua disponible para las plantas está entre la capacidad de campo (el límite superior) y un límite inferior en que la humedad del suelo es retenida tan firmemente que la planta no puede obtenerla con suficiente rapidez para poder sobrevivir. Aunque se han dado numerosas definiciones de este límite, se utilizará con fines prácticos la de punto de marchitamiento permanente. Este es el contenido de humedad del suelo en que las plantas se marchitan permanentemente, o sea, que no recuperan su turgencia aunque se añada agua al suelo. El punto de marchitamiento permanente se puede definir de manera más útil mediante la succión del suelo que por medio del contenido de humedad. Ciertos experimentos han demostrado que ese punto corresponde a una succión de 15 bar para la mayoría de las especies cultivadas.

## Determinación de la capacidad de campo

El suelo en cuestión se humedece hasta cerca de la saturación *in situ*, y se deja que drene durante dos o tres días. Para evitar la evaporación de la superficie, es preciso cubrir el terreno.

Inicialmente se toman muestras del perfil del suelo tan intactas como sea posible, y se determina su contenido de humedad secándolas en un horno a 105°C. Una temperatura más elevada destruiría la materia orgánica y se exageraría la pérdida de humedad.

A continuación, se calcula la capacidad de campo a partir de la siguiente ecuación.

$$\text{Capacidad de campo, \%} = \frac{\text{Pérdida de peso}}{\text{Peso final en seco}} \times 100$$

Se necesitan unas cuantas precauciones. Debe dejarse un período suficientemente largo entre el riego y el muestreo, para alcanzar el estado de humedad estacionario. El muestreo continuo de los suelos indicará el progreso del drenaje. Cuando se encuentra en el suelo una tabla freática, la histéresis puede afectar los resultados desde un estrato más profundo que puede estar sufriendo un ciclo de humectación, a diferencia de lo que sucede en los estratos superiores. Si no existe ninguna tabla freática, la succión, en lugar de la gravedad, influirá en la humedad de los horizontes más bajos del perfil del suelo.

**El punto de marchitamiento permanente**

Para obtener rápidamente el punto de marchitamiento, emplear el aparato de placa de presión; éste determina características de humedad del suelo. Se somete la muestra a una presión de 15 bar, se registra el contenido final de humedad del suelo, y se calcula luego el punto de marchitamiento permanente como en la ecuación anterior.

El método alternativo, si se dispone de tiempo, consiste en hacer crecer cualquier planta que tenga síntomas claros de marchitamiento en una maceta que contenga una muestra del suelo. El período de crecimiento, antes del reposo, deberá ser lo suficientemente largo para permitir que las raíces se distribuyan a través de la masa del suelo y que se desarrollen varias hojas.

Cuando se alcanza esta etapa, se sella la superficie del suelo para evitar la evaporación, dejando la planta sin riego hasta que las hojas tengan síntomas claros de marchitamiento. A continuación, se pone la maceta en una cámara húmeda durante la noche, y en ese tiempo los síntomas de marchitamiento desaparecerán, si no son permanentes. Si hay recuperación, entonces, se pone la maceta en el exterior y se repiten las observaciones, hasta que se produzca un marchitamiento permanente. El contenido de humedad se determina desecando el suelo y retirando las raíces de la muestra, para encontrar así la masa final del suelo seco.

**Humedad disponible**

La humedad disponible es el contenido de agua en el nivel de capacidad de campo, menos el del punto de marchitamiento permanente; se expresa como porcentaje del peso seco del suelo. Para el cálculo de la profundidad de riego, estas cifras deben transformarse en milímetros de agua.

Sea una columna de suelo húmedo cuya sección transversal tiene área unitaria. La masa total se compone del suelo secado al horno y del agua que contenía, o sea,

$$W_{10} = (D \times A) + (d \times I)$$

donde; D = profundidad del suelo

A = densidad en seco de la masa del suelo (g/cc)

d = profundidad equivalente del agua en el suelo (en las mismas unidades que D)

I = densidad del agua (tomada como 1 g/cc)

Cuando el suelo se seca en el horno, su peso es (D x A) y el peso del agua perdida es (d x I).

Si el contenido de humedad que se determina en porcentaje, es M, entonces,

$$M (\%) = \frac{d \times 100}{DA} \quad \text{o} \quad d = \frac{MDA}{100}$$

Si se requiere d en mm por metro de suelo, entonces,

$$d = 10MDA$$

En los Cuadros 1.3 y 1.4 se dan los resultados típicos de los análisis anteriores.

Cuadro 1.3. Resultados de pruebas para determinar la capacidad de campo y el punto de marchitamiento permanente.

Componente principal del suelo	Contenido de humedad (porcentaje por peso) en:	
	Capacidad de campo	Punto de marchitamiento permanente
Arcilla	45	30
Marga arcillosa	40	25
Marga arenosa	28	18
Arena fina	15	8
Arena	8	4

Cuadro 1.4. Resultados típicos de las pruebas en que se determina el agua disponible en diferentes suelos.

Componente principal del suelo	Agua disponible (mm/m de suelo)
Arcilla	135
Marga arcillosa	150
Marga arenosa	120
Arena fina	80
Arena	55

**Patrón de extracción de agua del suelo por las plantas**

En general, en un suelo uniforme hay mayor desarrollo de las raíces en los estratos superiores del suelo que en cualquier otro punto de éste. Este hecho influye en el patrón de extracción de agua del perfil del suelo por la planta. En un régimen de riego, cuando se mantiene la humedad del suelo en un nivel alto, la extracción de agua del suelo por las plantas es similar al representado en la Figura 1.3.

A medida que los estratos superiores se van secando debido a la extracción de agua por las plantas, el patrón de extracción se modificará por la succión que tiene lugar en cada estrato.

En un suelo de distintos estratos, la relación de humedad disponible/profundidad unitaria, y el patrón de extracción y el desarrollo de las raíces son diferentes del patrón anterior.

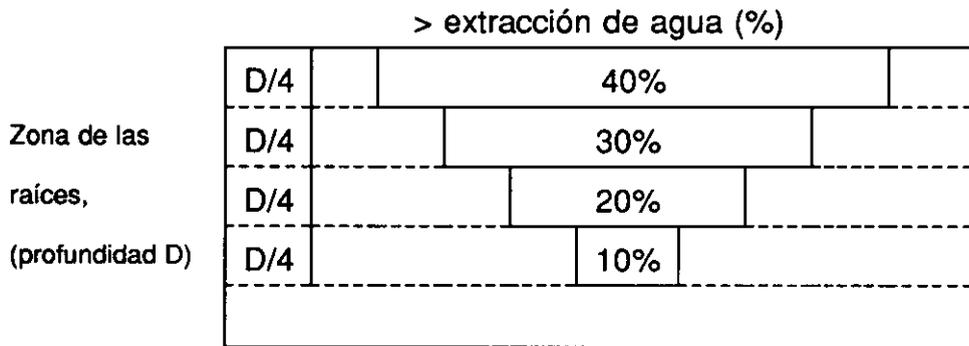


Figura 1.3. Patrón de extracción de agua de suelos homogéneos por las raíces de las plantas.

**Infiltración**

Una variable muy importante en el diseño de los sistemas de riego es la velocidad con que el agua puede desplazarse al interior de la masa del suelo, para volver a llenar la zona de las raíces.

El índice de infiltración del suelo es la velocidad máxima con que el agua entrará en la masa de tierra, a través de la superficie. Básicamente, las características de infiltración en un suelo se determinan por su textura y su estructura; pero son afectadas también por otros factores (Figura 1.4).

Al aumentar el tiempo de humedecimiento del suelo, disminuye el índice de infiltración; por lo común, éste se acerca a un valor constante que, en el caso de las arcillas pesadas, puede llegar a cero.

Una de las ecuaciones generales para calcular el índice de infiltración I es:

$$I = (aT^n + b), \text{ mm/h}$$

donde a, b y n son constantes, y T es el tiempo de humedecimiento. Para los suelos que tienen un índice terminal de infiltración igual a cero, el valor de b es cero.

Por consiguiente, la infiltración se ve afectada por el contenido de humedad del suelo: cuanto más secos se encuentren los estratos más profundos del suelo, tanto mayor será el gradiente de potencial entre el frente de humedecimiento y la masa de suelo situada más abajo y, por ende, tanto más rápidamente se producirá la absorción del agua.

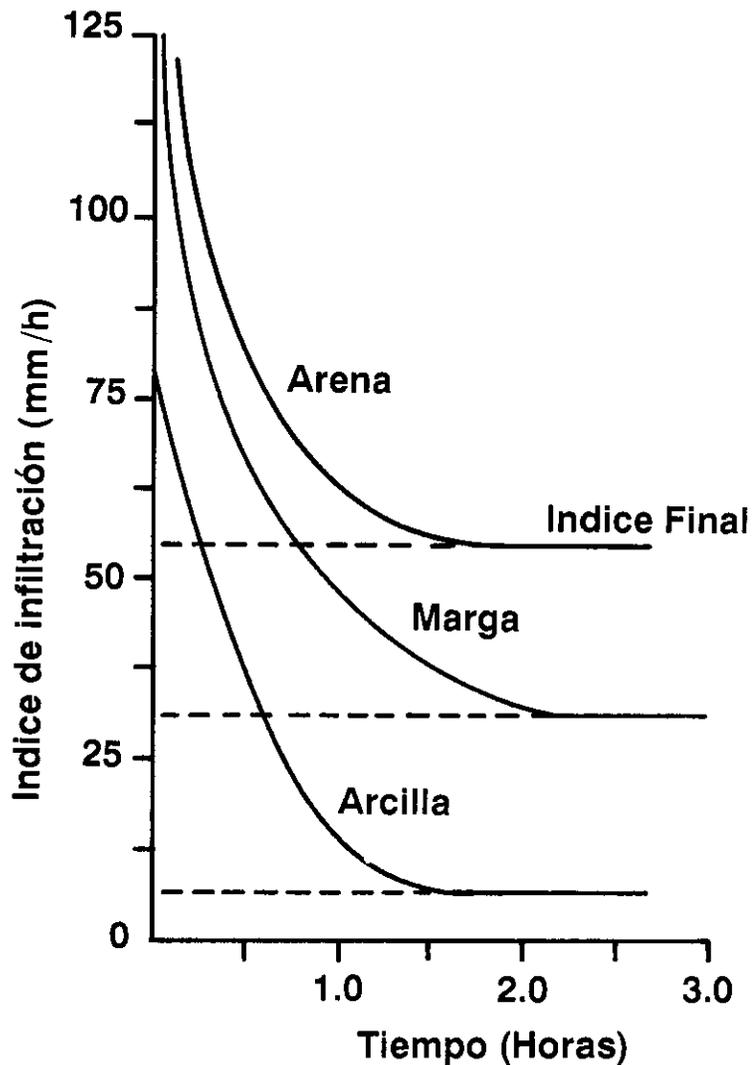


Figura 1.4. Índices típicos de infiltración de varios suelos.

Medición de la infiltración para el diseño de riego

Hay tres formas principales de regar un terreno (Figura 1.5): por inundación de toda la superficie, por inundación de parte de la superficie, o por aspersión. El método utilizado influye en la medida del índice de admisión de agua en el suelo.

Por consiguiente, cuando se diseña un sistema de riego, el método empleado para medir el índice de infiltración en el suelo debe simular, hasta donde sea posible, el mecanismo de absorción de agua durante la aplicación.

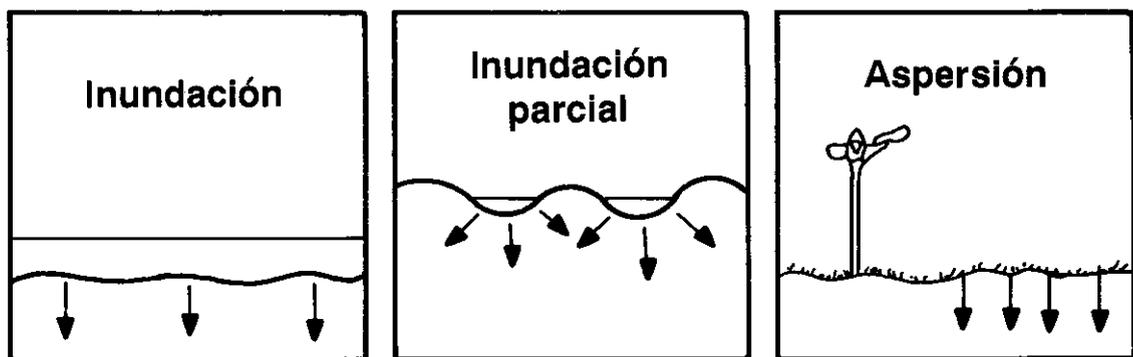


Figura 1.5. Infiltración en tres métodos de riego.

Medición de la infiltración para riego por inundación

Se podrá utilizar un modelo simple de infiltrómetro sin que sea necesario llevar a cabo un muestreo representativo (Figura 1.6).

El infiltrómetro que se utiliza con mayor frecuencia consta de dos cilindros concéntricos; el interior tiene un diámetro de aproximadamente 0.4 m y el exterior de 0.5 m. El agua se mantiene al mismo nivel en cada cilindro: 25 mm por encima de la superficie del suelo, o más arriba, si el nivel del agua tiene probabilidad de elevarse más durante el riego. El agua que se infiltra del anillo exterior, impide la filtración lateral del agua del cilindro central. Al medir la tasa a que recibe agua el cilindro central, se estima el índice de infiltración y se determina también la absorción acumulativa de agua con el tiempo.

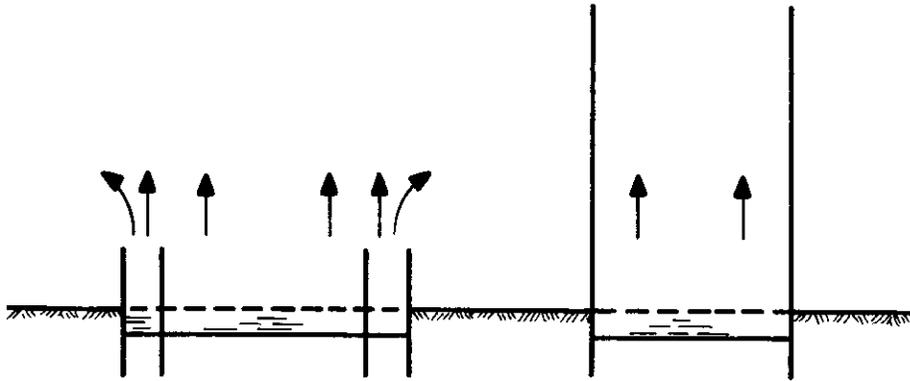


Figura 1.6. Dos tipos de infiltrómetro.

### Conductividad hidráulica

Usando el equipo de la Figura 1.7, podemos demostrar experimentalmente que el incremento de energía potencial por unidad de distancia, o  $\Delta\phi/\Delta X$  en la figura, aumenta tanto como la cantidad de agua que fluye a través de la muestra.  $\Delta\phi/\Delta X$  se llama gradiente de potencial. Este se incrementa haciendo mayor la diferencia de altura vertical entre  $H_a$  y  $H_b$ , o reemplazando la columna de suelo por otra más corta.

Encontramos asimismo que si el área de la columna ( $A$ ) aumenta, entonces el flujo ( $Q$ ) también lo hace. La combinación de estas proporcionalidades experimentales nos lleva a la ley de Darcy, que viene expresada por la siguiente ecuación:

$$Q = -KA \frac{\Delta\phi}{\Delta X} \text{ cm}^3/\text{seg}^{-1}$$

La ley de Darcy es análoga a la de Ohm de electricidad. En esta ecuación,  $K$  es una constante conocida como conductividad hidráulica y definida como el flujo de agua que, en la unidad de tiempo, atraviesa un suelo de sección igual a la unidad con un gradiente de potencial también unitario. Si éste viene dado en cm, entonces la conductividad hidráulica se expresará en unidades de velocidad:  $\text{cm}\cdot\text{seg}^{-1}$  y  $\text{pulgada}\cdot\text{día}^{-1}$ . El signo menos de la ecuación se debe a que el movimiento se realiza desde el potencial más alto al más bajo, de aquí que  $\Delta\phi/\Delta X$  sea negativo. Cuando consideramos el movimiento de la masa de agua a través de un suelo saturado, el potencial osmótico, si es que está presente, es generalmente constante y no contribuye al gradiente de potencial.

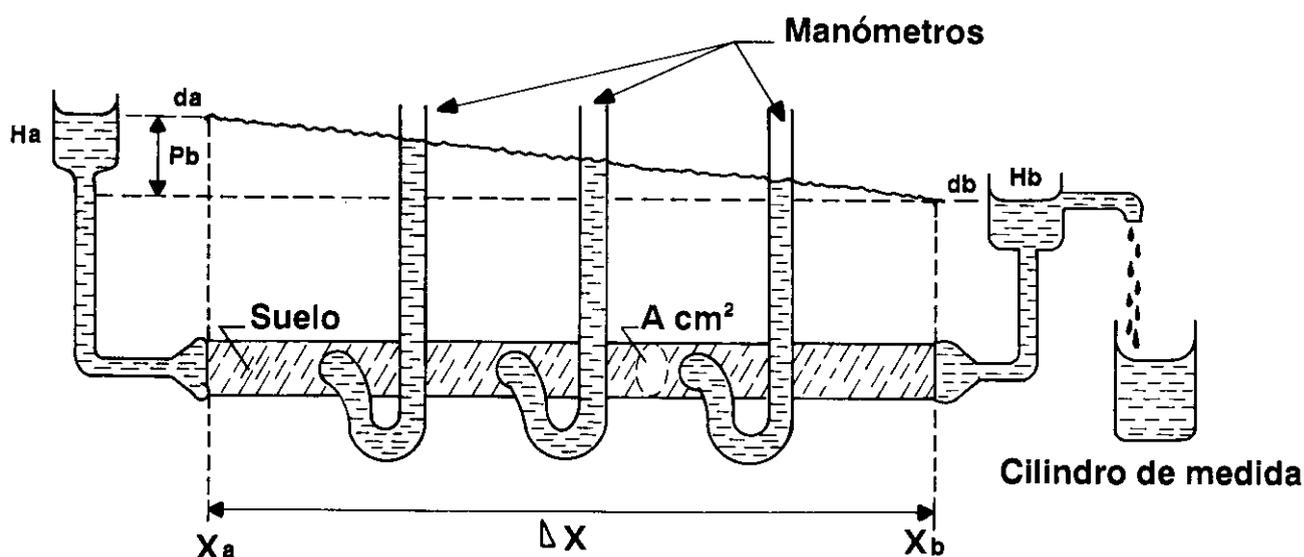


Figura 1.7. Prueba de la conductividad hidráulica en una columna horizontal de suelo saturado:  $H_a$  es la altura constante de la boca de entrada, y  $H_b$  la altura de la de salida, que está unida al colector. La diferencia vertical en altura de estas dos columnas representa el incremento de energía potencial  $\Delta\phi$  a lo largo de una longitud  $\Delta X$ . Las alturas de agua en los manómetros, distribuidas en la columna, indican que hay una variación regular del potencial total con la distancia a lo largo de la columna desde  $X_a$  a  $X_b$ . El área de la sección transversal de la columna de suelo es  $A \text{ cm}^2$ .

Este experimento se realiza en un suelo saturado y es conveniente llamar a su conductividad  $K_{max}$ , porque es el valor máximo que se puede obtener en un suelo, y es además una característica especial de cada suelo. El valor de  $K_{max}$  depende del número y tamaño de los poros que conducen el agua en cada suelo, y por esto depende de la estructura de éste. Normalmente, un suelo arenoso saturado tendrá un valor de  $K_{max}$  más alto que un aluvión puro; éste tendrá una porosidad total mayor que aquél, pero el aumento en el número de poros no compensa la pequeñez de éstos.

Los valores de  $K_{max}$ , medidos directamente en el campo, varían desde  $1 \times 10^{-2}$  cm.seg<sup>-1</sup> a  $1 \times 10^{-6}$  cm.seg<sup>-1</sup>, o de 14 a  $1.4 \times 10^{-3}$  pulgada.hora<sup>-1</sup>. La unidad pulgada/hora<sup>-1</sup> se usa normalmente en trabajos de desecación y riego. Valores mayores que 1 pulgada/hora<sup>-1</sup> irían asociados con suelos excesivamente desecados, y valores de  $10^{-2}$  pulgada.hora<sup>-1</sup> a suelos de mal drenaje.

## Hidrología

### Análisis de la precipitación con fines agrícolas

La precipitación es una de las fuentes de agua de los cultivos, que contribuye a restituir el agua usada en la evapotranspiración de aquéllos. Ahora bien, sólo una porción es utilizada por los cultivos en su proceso productivo, y ésta es denominada precipitación efectiva.

Una parte de la precipitación es interceptada por la vegetación, otra parte se infiltra y se incorpora en la zona de raíces del suelo, otra se pierde por percolación profunda, y una última parte se pierde por escorrentía.

El asistente técnico encargado del diseño de un sistema de riego, y de su operación, se enfrenta al problema de estimar la parte del total de la evapotranspiración que será suministrada por la precipitación, y la parte que será suministrada por el riego.

A causa de la mala distribución de las lluvias y de la baja probabilidad de recurrencia, es necesario emplear altas probabilidades de ocurrencia de lluvias, para aproximarse así más a la realidad en la evaluación del factor lluvia como parte del volumen de agua requerida por el cultivo.

A continuación se describe el procedimiento que debe seguirse para efectuar el análisis de frecuencia de la precipitación, a partir de ciertos datos.

## Análisis de frecuencia de la precipitación

- Ordene los datos de precipitación en forma descendente, colocando el mayor valor en primer lugar (número de orden)
- Calcule la frecuencia de excedencia:

$$F = \frac{r}{n+1}$$

donde  $r$  = Número de orden

$n$  = Número total de años

- Halle el período de retorno:

$$T = 1/F$$

donde  $F$  = frecuencia en años de un evento

- Calcule la media de la precipitación para el período dado:

$$Est(\mu) = \bar{P} = \frac{\sum^n P_i}{n}$$

- Calcule la desviación estándar:

$$Est(\delta) = Sp = \sqrt{\frac{(P - \bar{P})^2}{(n-1)}}$$

- Tome un papel de probabilidad normal, y sitúe los puntos ( $F$ ,  $P$ )
- Cuando se utiliza papel de probabilidad, un buen ajuste de la línea recta se obtiene cuando ésta pasa por tres puntos:  $P$ ,  $P + \delta$  y  $P - \delta$ , los cuales corresponden a una frecuencia de 50%, 84.15%, y 15.85%, o viceversa. Sitúe estos puntos y trace la recta.
- Deduzca la precipitación esperada empleando la frecuencia estimada, para el diseño de su proyecto de riego; comúnmente se utilizan probabilidades entre el 70% y el 80%.

## Gasto de agua

Los componentes del gasto de agua en un cultivo de arroz están dados básicamente por la evapotranspiración, las pérdidas por percolación profunda, y la escorrentía final.

## Evapotranspiración

### Evapotranspiración potencial

Evapotranspiración potencial (ETP) es la máxima cantidad de agua transpirada en un tiempo dado por un cultivo verde, corto, de cobertura uniforme y con óptimo abastecimiento de agua (Penman 1948, citado por Doorenbos y Pruitt, 1986). Para calcularla existen diversas formas, a saber:

- **Métodos empíricos:** consisten en fórmulas cuyo soporte son parámetros meteorológicos para estimar la ETP. Podemos mencionar las de Thornth-Waite, Blaney- Criddle, Hargreaves, Grassi-Christiansen y Penman, citados por Doorenbos y Pruitt (1986); esta última se considera la más completa porque simula el proceso físico de la evapotranspiración.
- **Métodos directos:** se pueden mencionar el del lisímetro, el de integración, el gravimétrico, el de entradas, consumos y salidas, y el micrometeorológico

### Evapotranspiración real

Evapotranspiración real (ET) es la cantidad de agua transpirada por un cultivo de características específicas cuando éste dispone de humedad suficiente para su desarrollo en condiciones reales de oferta de humedad. Cuando la cantidad de agua transpirada es máxima en todas las fases de desarrollo del cultivo, la evapotranspiración real se denomina uso consuntivo (UC).

La relación entre la máxima cantidad de agua transpirada en condiciones reales (UC) y la máxima cantidad de agua transpirada en condiciones óptimas (ETP) se denomina coeficiente de cultivo (Kc). Por lo tanto,

$$Kc = \frac{UC}{ETP}$$

Podemos afirmar entonces que el valor de Kc varía con la fase de desarrollo del cultivo y nos indica la relación porcentual entre el uso consuntivo y la demanda de referencia (ETP).

En el Cuadro 1.5 se observan los valores de la evapotranspiración real y de Kc, determinados por dos métodos diferentes.

**Cuadro 1.5. Requerimiento de evapotranspiración real (mm/día) y coeficiente Kc para el cultivo del arroz.**

Fracción del período de crecimiento (%)	Método 1		Método 2	
	Et (mm/día)	Kc	ET (mm/día)	Kc
01-10	3.75	0.73	3.86	0.96
11-20	3.92	0.89	3.33	0.87
21-30	4.00	1.05	2.59	0.77
31-40	9.58	2.25	2.76	0.77
41-50	8.50	2.08	2.88	0.95
51-60	7.33	1.47	3.06	0.92
61-70	9.17	2.21	4.47	0.98
71-80	6.67	1.25	3.98	1
81-90	2.92	0.53	3.54	1
91-100	1.25	0.32	3.76	0.93

Lugar: Saldaña C.I. Turipaná-ICA  
 Año: 1980 - 1983  
 Método: Lisímetro, Evapotranspirómetro  
 Investigación: C. Valdez, M. Palacios

El promedio de uso consuntivo durante el ciclo vital de la planta en los períodos lluviosos ha sido establecido por de Datta (1975) entre 3 y 5 mm de lámina promedio por día, mientras que para este mismo autor, el consumo en los períodos secos es de 5 a 7 mm en promedio. De otra parte, Ongkingco y Levine (1975) establecen un consumo promedio de 4 a 6 mm/día para períodos húmedos y de 6 a 8 mm/día para períodos secos. En estas cifras se incluye tanto la evaporación como la transpiración (UC = ET).

La evaporación de agua que ocurre en el suelo es afectada por el ambiente, al igual que la transpiración, pero es inversamente proporcional al aumento de biomasa en la planta, o sea que la evaporación decrece a medida que aumenta la transpiración. El consumo por transpiración y evaporación se mide con un solo parámetro: la evapotranspiración (ET), como se observa en la Figura 1.8.

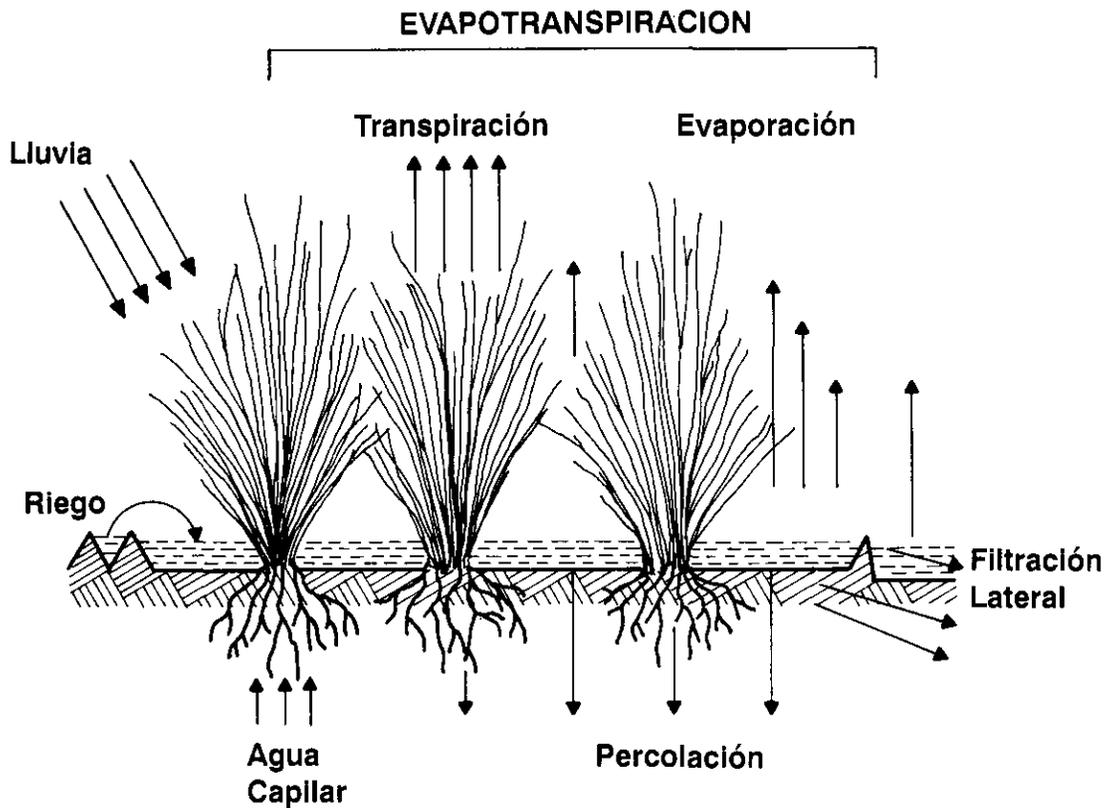


Figura 1.8. Diagrama del balance de agua en una parcela sembrada de arroz.

El uso consuntivo representa tan sólo una parte del gasto total de agua, ya que otros factores contribuyen en igual o mayor grado a dicho gasto, como son la percolación, la escorrentía lateral y las pérdidas de agua durante su conducción y aplicación.

## Percolación

La percolación, o pérdida de agua a través del perfil del suelo, alcanza a ser, en los suelos arenosos, más del doble del uso consuntivo. Este fenómeno depende de la textura y la estructura de la capa arable, y de la profundidad del nivel freático. De ahí que para el cultivo del arroz se seleccionen suelos arcillosos por su baja percolación. Se exceptúan algunos suelos arroceros de textura liviana que presentan un subsuelo impermeable. Además, la altura de la lámina de agua sobre el suelo correlaciona en forma positiva con la percolación: a mayor altura de esa lámina mayor pérdida de agua.

Los factores que condicionan la percolación son:

- La textura y estructura del suelo: suelos con alta proporción de grava, arena o limo permiten una pérdida grande de agua, lo contrario ocurre en los suelos finos de alto contenido de arcilla y con arreglos estructurales de bloques o láminas.
- La compactación del suelo, sea natural o artificial mediante el rodillo o el mismo fanguero, tiende a disminuir la percolación.
- La formación, o existencia, de capas endurecidas bajo el suelo (clay-pan o hard-pan), impide pérdidas grandes de agua y, en algunos casos, permite la presencia de una capa freática cerca de la superficie.
- Un factor de manejo es la altura de la capa de agua aplicada sobre el suelo (lámina de agua): a lámina alta corresponde una percolación igualmente alta y viceversa. Los sistemas de riego sin lámina, o por aspersión, minimizan la percolación.

Las pérdidas por percolación son generalmente mayores que el uso consuntivo, como puede observarse en el Cuadro 1.6 y en la Figura 1.9, que muestran las relaciones entre la percolación y la evapotranspiración, determinadas en los suelos del Distrito de Riego del Río Coello, en Espinal (Tolima).

**Cuadro 1.6** Consumo de agua en un cultivo de arroz (variedad Oryzica 1) debido a evapotranspiración y percolación profunda. C.I. Nataima, ICA.

Etapa del cultivo	ET-(l/seg-ha)		Percol. (l/seg-ha)		Total (m <sup>3</sup> /ha)	
	1983-B	1984-A	1983-B	1984-A	1983-B	1984-A
Establecimiento	0.61	0.36	-	0.28	1475.7	1548.3
Vegetativa	0.70	0.56	3.68	4.09	9460.8	10044.0
Reproductiva	0.73	0.76	2.20	2.47	7088.2	7814.0
Maduración	0.44	0.71	1.35	1.84	4949.0	4186.0
Promedio	0.61	0.60	1.70	1.95		
Total (113 días)					22,973.7	23,592.3

FUENTE: Caicedo, 1985.

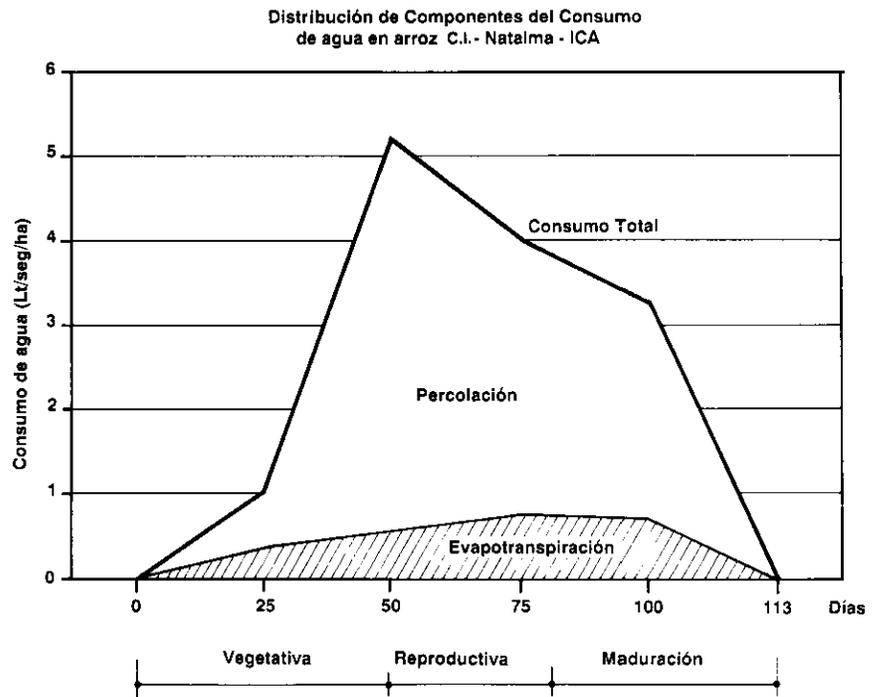


Figura 1.9. Distribución de componentes del consumo de agua en un cultivo de arroz en el C.I. Nataima, ICA.

### Infiltración lateral

La infiltración lateral está condicionada por el suelo: pendiente, textura y grado de nivelación, así como por factores de manejo tales como: altura de la lámina de agua, compactación y estado de los diques.

### Escorrentía final

Se denomina así el volumen de agua que es necesario evacuar del lote para realizar algunas labores del cultivo, tales como aplicación de herbicidas, fertilización y aireación del suelo, y para favorecer el anclaje de las plantas promoviendo un mejor desarrollo radicular.

A las pérdidas anteriores hay que sumar las que ocurren en la conducción del agua, que dependen de la distancia a la fuente de agua, de las características del sistema de conducción, y del mantenimiento del mismo.

## **Balance hídrico**

La necesidad de riego se refiere a la cantidad de agua, y al momento de su aplicación, que compensará los déficit de humedad del suelo durante el período vegetativo de un cultivo. Estas necesidades de riego quedan determinadas por la evapotranspiración del cultivo, menos el agua aportada por las precipitaciones, las aguas subterráneas y la acumulación de agua en el suelo debida a anteriores precipitaciones o aportaciones de aguas superficiales y subterráneas. Esa necesidad se expresa en milímetros por período vegetativo, a efectos de la planificación global y de la evaluación del balance hídrico de la cuenca, del proyecto o del lote. Referida a toda la superficie cultivada, forma la base para determinar el suministro de agua necesario y la calidad de las aguas disponibles. Se presenta como un plan de riego en profundidad o en intervalo entre dos riegos (mm, días o mm y días).

Las necesidades de riego tienen como fundamento el balance hídrico, cuyo intervalo o período debe responder a las distintas rotaciones del riego en el cultivo con el fin de llegar a un equilibrio óptimo entre las necesidades de riego y el agua disponible.

Para calcular el balance hídrico se requieren los siguientes datos:

- Precipitación normal: análisis de la probabilidad de lluvia durante el tiempo del cultivo.
- Evapotranspiración potencial: calculada por diferentes métodos (Penman, Thornthwaite, etc.).
- Coeficiente de cultivo (Kc): representa la evapotranspiración del cultivo en condiciones adecuadas para obtener de él un rendimiento óptimo.

Con los tres datos anteriores se calculan las necesidades hídricas del cultivo.

- Reservas hídricas del suelo o cantidad de agua almacenada por el suelo.

De la comparación entre las necesidades hídricas y las reservas de agua del suelo se puede deducir el exceso o el déficit hídrico de un cultivo.

A continuación se presenta un ejemplo del balance hídrico de un cultivo localizado en Marfa La Baja (Bolívar); se parte de los siguientes datos:

Epoca de siembra: segunda década del mes de enero<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup>Una década es igual a 10 días del mes.

Precipitación: Cuadro 1.7

Evapotranspiración potencial (ETP): Cuadro 1.7

Período vegetativo: 120 días

Profundidad efectiva del suelo: 30 cm

Textura del suelo: franco-arcilloso

Agua disponible, % = Cuadro 1.3

Capacidad de almacenamiento del suelo: profundidad efectiva x agua disponible, %

Porcentaje de saturación: 60%

Coefficiente del cultivo (Kc): Cuadro 1.5

Período del balance hídrico: Por décadas<sup>1/</sup>

Infiltración básica del suelo: 0.028 cm/h

Balance hídrico (Cuadro 1.8); para su cálculo, se sigue el siguiente proceso:

- Determine la precipitación con probabilidad del 75% para cada década (Cuadro 1.7).
- Calcule la evapotranspiración potencial en los mismos períodos (Cuadro 1.7).
- Seleccione el coeficiente del cultivo para cada período (Cuadro 1.5)
- Determine la capacidad de almacenamiento del suelo.
- Proceda a tabular las instrucciones obtenidas en los cuatro puntos anteriores y obtenga el balance hídrico para cada década del mes.

## **Cálculo de la lámina de riego**

La lámina de riego (LR) de un cultivo de arroz está dada por la siguiente expresión:

$$LR = RR + LS + LE + \text{Pérdidas}$$

cuyos términos son:

LR = Lámina de riego (mm)

RR = Requerimientos de riego o balance hídrico (mm)

LS = Lámina necesaria para saturar el suelo (mm)

LE = Lámina de embalse (mm)

Pérdidas = Escorrentía, percolación, conducción

Cuadro 1.7. Precipitación y ETP en la Estación San Pablo. María la Baja, Bolívar

Mes	Década	Precipitación (mm)	
		P =.75	ETP (mm)
Enero	1	0.0	37.8
	2	0.0	38.8
	3	0.0	44.8
Febrero	1	0.0	42.6
	2	0.0	43.7
	3	0.0	35.2
Marzo	1	0.0	44.2
	2	0.0	44.7
	3	0.0	49.3
Abril	1	0.0	44.9
	2	0.7	43.9
	3	21.3	42.0
Mayo	1	31.4	40.0
	2	26.7	39.0
	3	33.9	42.7

Cuadro 1.8. Balance hídrico por décadas.

	Enero			Febrero			Marzo			Abril			Mayo		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
ETP	37.8	38.8	44.8	42.6	43.7	35.2	44.2	44.7	49.3	44.9	43.9	42.0	40.0	39.0	42.7
Kc	0.0	0.96	0.89	0.81	0.77	0.81	0.94	0.92	0.97	0.98	1.0	1.0	0.93	0.0	0.0
UC	41.6	37.2	39.9	34.5	33.6	28.5	41.5	41.1	47.8	44.0	43.9	42.0	37.2	0.0	0.0
P (.75)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	21.3	31.4	26.7	33.9
ALM.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DEF.		37.2	39.9	34.5	33.6	28.5	41.5	41.1	47.8	44.0	43.2	20.7	5.8	0.0	0.0
EXC.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

El balance hídrico nos da los requerimientos de agua para todo el ciclo vegetativo. Se obtiene al sumar los déficit de todas las décadas (417.8 mm).

Con los datos empleados para el cálculo del balance hídrico, y adoptando una lámina de embalse de 5 cm, en secamientos periódicos según el patrón del Cuadro 1.9, determinar la lámina para cada fase del cultivo y el agua total requerida para todo el ciclo vegetativo (Figura 1.10).

Cuadro 1.9 Plan de manejo de la lámina de embalse

Fase	No. de inundaciones		Epoca de embalse (d.d.s.)	Duración inundación (días)	Lámina aplicada (mm)
	1	Total			
Vegetativa	1	2	20-35	15	5
	1		40-50	10	5
Reproductiva	1		55-65	10	5
	1	2	70-90	20	5
Maduración	1	1	90-105	15	
Total		5		70	20

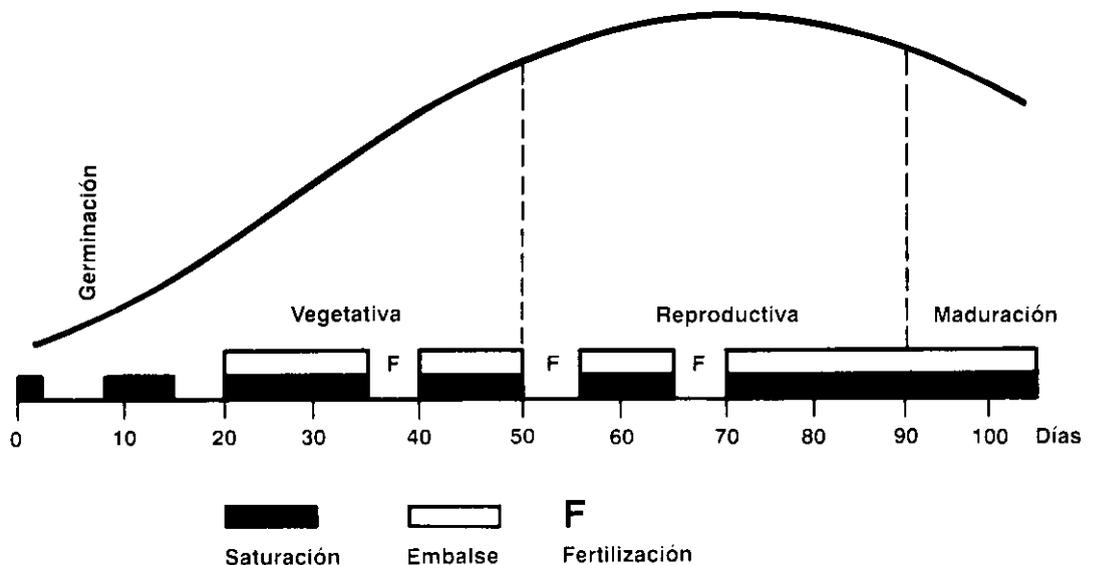


Figura 1.10 Práctica de manejo del riego y épocas de embalse en un cultivo de arroz.

- Lámina de saturación

$$LS = \frac{\% H. sat. - \% H.pmp}{100} \times P. ef.$$

LS = Lámina saturación (mm)

% H. sat. = Humedad volumétrica a saturación

% H. pmp = Humedad volumétrica a punto de marchitez (Cuadro 1.3)

P. ef. = Profundidad efectiva del suelo (mm).

$$LS = \frac{(60-25)}{100} * 30cm$$

$$LS = 10.5cm$$

- Pérdidas por percolación

El agua que se pierde por percolación puede determinarse conociendo la infiltración básica del suelo y el tiempo que permanece el cultivo bajo inundación.

De acuerdo con lo anterior, la lámina percolada es la siguiente:

- Fase vegetativa

$$\begin{aligned} \text{Lámina percolada} &= \text{infiltración básica} \times \text{tiempo} \\ &= 0.028 \text{ cm/hr} \times 25 \text{ días} \times 24 \text{ hr/día} \\ &= 16.8 \text{ cm} \end{aligned}$$

- Fase reproductiva

$$\begin{aligned} \text{Lámina percolada} &= 0.028 \text{ cm/hr} \times 30 \text{ días} \times 24 \text{ hr/día} \\ &= 20.2 \text{ cm} \end{aligned}$$

- Fase de maduración

$$\begin{aligned} \text{Lámina percolada} &= 0.028 \text{ cm/hr} \times 15 \text{ días} \times 24 \text{ hr/día} = \\ &= 10.1 \text{ cm} \end{aligned}$$

- Haciendo un manejo adecuado del agua, se obtiene una eficiencia alta en la aplicación del riego; se logra, en gran parte, reduciendo o eliminando las pérdidas por escorrentía al final de los lotes (suspensión de la renovación permanente de la lámina de inundación). Para el caso del ejemplo suponemos que escorrentía = 0.

La lámina de riego será la suma de los diferentes componentes del gasto, así:

$$LR = RR + LS + LE + LP$$

$$RR \text{ (Balance hídrico)} = 417.8 \text{ mm}$$

$$LS = 105.0 \text{ mm}$$

$$LE = 200.0 \text{ mm}$$

$$LP = 471.0 \text{ mm}$$

$$\text{Lámina de riego} = 1193.8 \text{ mm}$$

Volumen requerido por hectárea:

- Lámina de 1 mm representa 10 m<sup>3</sup>/ha
- Por tanto = 1193.8 x 10 = 11.938 m<sup>3</sup>/ha

## Bibliografía

- CAICEDO, A.M. 1985. Manejo del agua en el cultivo del arroz bajo riego. En: Memorias del V Seminario Nacional de Ingenieros Agrícolas. Medellín.
- COLLIS, G.N. et al. 1971. Suelos, atmósfera y fertilizantes. Fundamentos de Agricultura Moderna. Ed. Aedos. Barcelona.
- DE DATTA, S.H. et al. 1975. Manejo de agua y necesidades de riego en arroz. En: Cultivo de Arroz: Manual de producción. Escuela de Agricultura, Universidad de Filipinas. México, Limusa. p.121-133.
- DOORENBOS, J; PRUITT, W.O. 1986. Crop water requirements. FAO irrigation and drainage. Paper No.24. Roma.
- FEDEARROZ (Federación Nacional de Arroceros de Colombia). 1990. Curso nacional arrocero. Bogotá. p.136.
- ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). 1987. Manual de riego y drenaje: Requerimientos de agua de los cultivos. Bogotá.
- ISRAELSEN, O.W.; HANSEN, V.E. 1962. Irrigation, principles and practices. 3ra. edition. Wiley. New York. 447 p.
- ONGKINGCO, P.S.; LEVINE, G. 1975. Sistemas de riego para arroz. En: Cultivo de arroz: Manual de producción. Escuela de Agricultura, Universidad de Filipinas. México, Limusa, p. 206-212
- WITHERS, B.; VIPOND, S. 1982. El riego, diseño y práctica. Ed. Diana, México.
- TASCÓN, E.; GARCÍA, E. (Comps., eds.). 1985. Arroz: Investigación y producción. Cursos de capacitación dictados por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 696 p.
- TAYLOR, D.E. 1969. Fundamentos de la mecánica de suelos. Ed. Continental. México.

## **Ejercicio 1.1 Análisis de lluvias con fines agrícolas**

### **Objetivo**

- ✓ Calcular, a partir de una serie de datos pluviométricos, la posibilidad de ocurrencia de lluvias en un período dado.

### **Recursos necesarios**

- Datos de lluvia, de 10 o más años (hoja de trabajo 1)
- Formatos para análisis de frecuencia de precipitación (hoja de trabajo 2)
- Hojas de papel de probabilidad normal (hoja de trabajo 3)
- Calculadora
- Lápices
- Reglas
- Borradores

### **Instrucciones**

- Los participantes formarán grupos de cinco personas, y con la información suministrada por el instructor, deberán realizar los cálculos siguiendo la metodología descrita en la página 1-25 “Análisis de frecuencia de la precipitación”.

**Duración:** 1.5 horas.

- Datos de lluvia

En el cuadro adjunto se presentan los registros de precipitación observados en una estación meteorológica en el mes de enero, para un período de 20 años.

<b>Precipitación total mensual para enero</b>			
<b>Año</b>	<b>P(mm)</b>	<b>Año</b>	<b>P(mm)</b>
1966	61	1976	65
1967	61	1977	53
1968	68	1978	69
1969	86	1979	46
1970	75	1980	101
1971	105	1981	70
1972	48	1982	80
1973	35	1983	74
1974	64	1984	90
1975	47	1985	52

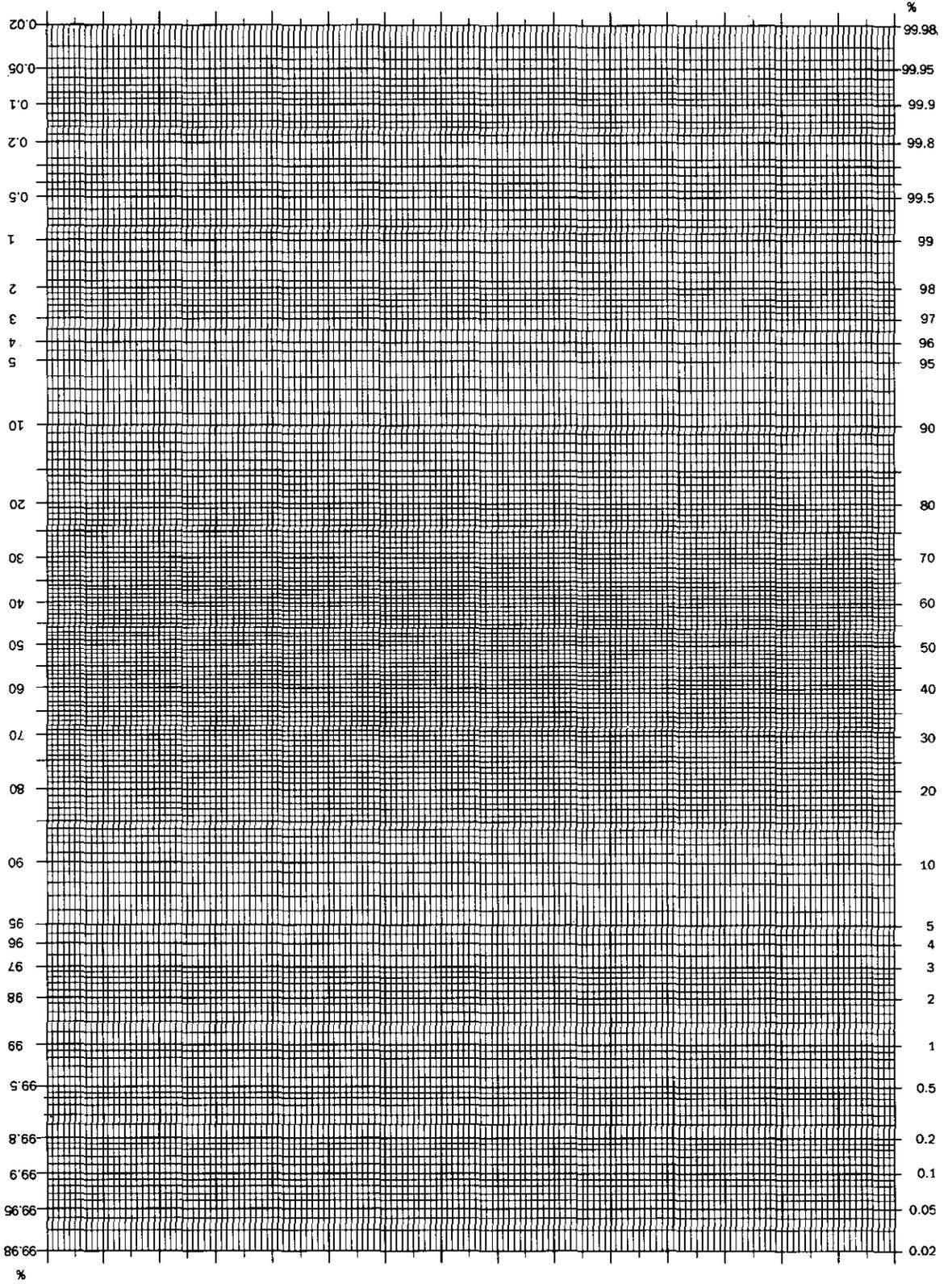
- Análisis de frecuencia de la precipitación

Localización \_\_\_\_\_

Realizado por \_\_\_\_\_

Mes \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_

Año	Precipitación (mm)	r (No. de orden)	Frecuencia $F = \frac{r}{n+1}$ (%)	Periodo retorno $T = \frac{1}{F} \times 100$ (años)	Observaciones
					n = $\Sigma P =$ P = n = $P + \delta n - 1 =$ $P - \delta n - 1 =$



## Ejercicio 1.1 - Información de retorno

- Análisis de frecuencia de la precipitación

Cálculo de probabilidades y períodos de retorno

Año	Precipitación (mm)	(No. de orden) $r$	Frecuencia $F = \frac{r}{n+1}$  (%)	Período Retorno $T = \frac{1}{F} \times 100$  (años)
1971	105	1	4.76	21
1980	101	2	9.52	10.5
1984	90	3	14.28	6.9
1969	86	4	19.05	5.2
1982	80	5	23.81	4.2
1970	75	6	28.57	3.5
1983	74	7	33.33	3.0
1981	70	8	38.10	2.6
1978	69	9	42.86	2.3
1968	68	10	47.62	2.1
1976	65	11	52.38	1.9
1974	64	12	57.14	1.8
1966	61	13	61.90	1.6
1967	61	14	66.66	1.5
1977	53	15	71.43	1.4
1985	52	16	76.19	1.3
1972	48	17	80.95	1.2
1975	47	18	85.71	1.2
1979	46	19	90.48	1.1
1973	35	20	95.24	1.0

$$\begin{aligned} \Sigma P &= 1350 \text{ mm} \\ P &= 67.5 \text{ mm} \\ \delta n-1 &= 18.51 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= 20 \\ P + \delta n-1 &= 86.01 \text{ mm} \\ P - \delta n-1 &= 48.99 \text{ mm} \end{aligned}$$

Procedimiento:

1. Ordenamiento de datos de mayor a menor.
2. Cálculo de la frecuencia para cada lluvia.
3. Cálculo del período de retorno.
4. Estimar la media empleando la siguiente fórmula:

$$Est(\mu) = \bar{P} = \frac{\sum^n P_i}{n} = \frac{1350}{20} = 67.5mm(\text{Calculadora})$$

5. Estimar la desviación estándar:

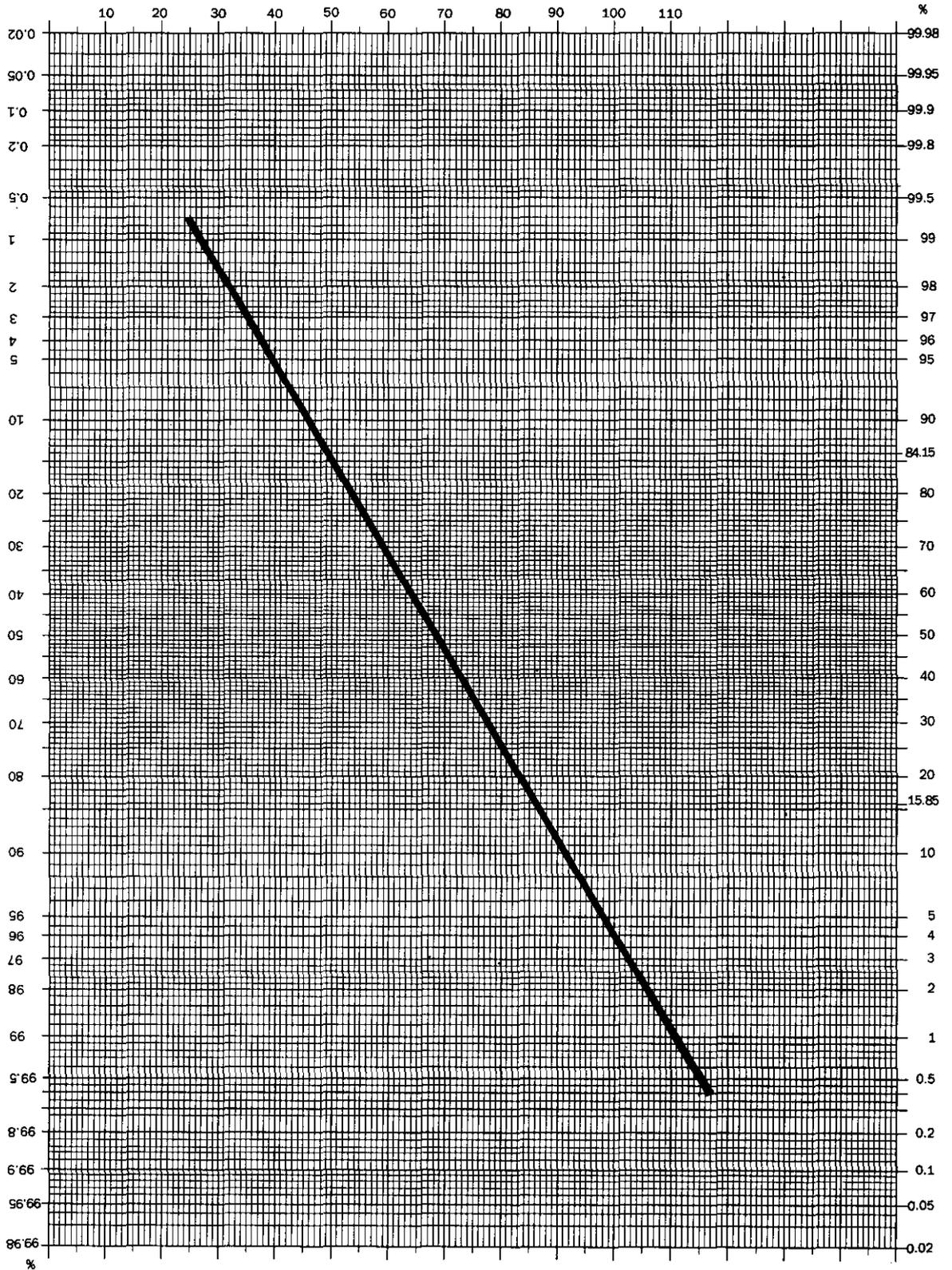
$$Est(\delta) = Sp = \sqrt{\frac{(P - \bar{P})^2}{(n-1)}} = 18.51mm(\text{Calculadora})$$

6. Localización de los puntos (F, P) sobre papel de probabilidad normal.
7. Ajuste de la línea recta.
8. En el cuadro siguiente, las precipitaciones esperadas, para diferentes frecuencias o probabilidades, serán:

Probabilidad (%)	90	80	70	60	30	20
Precipitación (mm)	44	52	58	63	77	33

**Ejercicio 1 1 - Información de retorno**

**Precipitación en Milímetros**



## **Ejercicio 1.2 Requerimiento de agua y caudal necesario en un predio que se sembrará con arroz para riego**

### **Objetivo**

- ✓ Estimar los requerimientos de agua y el caudal necesario para un predio que se sembrará con arroz para riego.

### **Recursos necesarios**

- Información básica sobre las características físicas del suelo, la época de siembra y las prácticas de manejo del agua de riego en la región.
- Información sobre la precipitación ( $P = 75\%$ ) y la evapotranspiración potencial (hoja de trabajo 1).
- Calculadora
- Lápices
- Regla, borrador

### **Instrucciones**

- Se formarán grupos de cinco personas, y con la información básica que el instructor suministre, se procederá a realizar los cálculos siguiendo la metodología descrita en las páginas 1-31 (“Balance hídrico”) y 1-32 (“Cálculo de la lámina de riego”).

**Duración:** 1.5 horas.

## **Información básica**

Localización:	C.I. Turipaná. Cereté (Córdoba)
Epoca de siembra:	Primera década de marzo
Precipitación:	Hoja de trabajo 1
Evapotranspiración potencial:	ETP (Hoja de trabajo 1)
Período vegetativo:	110 días
Profundidad efectiva:	40 cm
Textura del suelo:	Arcillosa
Agua disponible (%):	Ver Cuadro 1.3
Período del balance hídrico:	Una década
Infiltración básica del suelo:	0.016 cm/hora
Area para sembrar:	7 hectáreas

- Prácticas de manejo y épocas de embalse.

Ver Figura 1.10

- Precipitación y evapotranspiración potencial (ETP) en el C.I. TURIPANA - ICA

<b>Mes</b>	<b>Década</b>	<b>Precipitación (P = 75%, mm)</b>	<b>ETP (mm)</b>
Marzo	1	15	38.6
	2	12	39.3
	3	7	35.9
Abril	1	28	37.6
	2	32	38.8
	3	29	40.6
Mayo	1	53	44.7
	2	38	39.8
	3	33	35.4
Junio	1	10	37.6
	2	7	35.1
	3	5	34.3

## Ejercicio 1.2 - Información de retorno

Cálculo del balance hídrico decadal

Mes	Marzo			Abril			Mayo			Junio		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III*
ÉTP	38.6	39.3	35.9	37.6	38.8	40.6	44.7	39.8	35.4	37.6	35.1	
Kc	0.96	0.87	0.79	0.77	0.88	0.94	0.95	0.99	1.0	1.0	0.95	
UC	37.1	34.2	28.4	29.0	34.1	38.2	42.5	39.4	35.4	37.6	33.3	
P (75%)	15	12	7	28	32	29	53	38	33	10	7	
ALM.	0	0	0	0	0	0	10.5	9.1	6.7	0	0	
DEF.	22.1	22.2	21.4	1.0	2.1	9.8	0	0	0	20.9	26.3	
EXC.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

\* No se tomaron datos

Capacidad de almacenamiento (ALM.) = Profundidad efectiva x agua disponible

$$ALM = 40cm \frac{(45-30)}{100} =$$

$$= 40 \text{ cm} \times 0.15$$

$$= 60 \text{ mm}$$

- El balance hídrico indica los requerimientos de agua del cultivo durante todo su ciclo vegetativo. Se obtiene sumando los déficit de todas las décadas (125.2 mm).
- Cálculo de la lámina de riego (LR)

$$LR = RR + LS + LE + \text{Pérdidas}$$

LR = Lámina de riego (mm)

RR = Requerimientos de riego según balance hídrico (mm)

LS = Lámina necesaria para saturar el suelo (mm)

LE = Lámina de embalse (mm)

Pérdidas = Percolación, escorrentía, conducción, etc. (mm)

- Lámina de saturación:

$$LS = \frac{\%H_{sat} - \%H_{pmp}}{100} \text{ Prof. efectiva}$$

$$LS = \frac{48-15}{100} (40cm) \frac{10mm}{1cm}$$

- Lámina de embalse

Fase	No. de inundaciones		Epoca de embalse (d.d.s.)	Duración inundación (días)	Lámina aplicada (mm)
		Total			
Vegetativa	1		20-35	15	5
	1	2	40-50	10	5
Reproductiva	1		55-65	10	5
	1	2	70-90	20	5
Maduración	1	1	90-105	15	
Total		5		70	20

- Pérdidas por percolación

- Fase vegetativa:

$$\begin{aligned} \text{Lámina percolada} &= \text{Infiltración básica} \times \text{tiempo} \\ &= 0.16 \text{ mm/hr} \times 25 \text{ días} \times 24 \text{ hr/día} \\ &= 96 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Fase reproductiva:

$$\begin{aligned} \text{Lámina percolada} &= 0.16 \text{ mm/hr} \times 30 \text{ días} \times 24 \text{ hr/día} \\ &= 115.2 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Fase de maduración:

$$\begin{aligned} \text{Lámina percolada} &= 0.16 \text{ mm/hr} \times 15 \text{ días} \times 24 \text{ hr/día} \\ &= 57.6 \text{ mm} \end{aligned}$$

Suponiendo que escorrentía = 0 y efectuando un manejo adecuado del agua, la lámina de riego será la suma de los diferentes componentes, así:

$$L R = 125.2 \text{ mm} + 132 \text{ mm} + 200 \text{ mm} + 268.8 \text{ mm} = 726.0 \text{ mm}$$

-Volumen total requerido para 7.0 hectáreas

$$V_t = 726.0 \text{ mm} \left( \frac{10 \text{ m}^3/\text{ha}}{1 \text{ mm}} \right) 7 \text{ ha}$$

$$V_t = 50820 \text{ m}^3$$

## Resumen de la Secuencia 1

El agua es un recurso no renovable que día a día es más escaso y costoso; dada la creciente demanda de alimentos, es necesario tomar conciencia de que son necesarios la planificación, el manejo y el control eficiente de dicho recurso.

El riego se define como la aplicación artificial del agua a un terreno con el fin de suministrar al cultivo la humedad que satisfaga las necesidades de las plantas para que su crecimiento y desarrollo sean óptimos.

Para hacer una buena planificación del riego, es necesario conocer tanto la disponibilidad de agua como las necesidades hídricas reales del cultivo que se establecerá. Igualmente, deben conocerse ciertas propiedades de los suelos que expresan su calidad en su estado natural; ellas permiten tomar una decisión acerca de la conveniencia de explotarlos bajo riego.

# **Secuencia 2**

**Métodos de riego y  
manejo del agua**

## Contenido

	Página
Objetivos .....	2-7
Información .....	2-9
• Métodos de riego .....	2-9
• Métodos superficiales o por gravedad .....	2-9
• Métodos subsuperficiales .....	2-9
• Métodos de presión .....	2-9
• Riego por superficie .....	2-9
• Hidráulica del riego por superficie .....	2-9
• Criterios de selección .....	2-12
• Establecimiento del riego .....	2-15
• Diques en contorno .....	2-15
• Melgas rectangulares sin pendiente .....	2-19
• Manejo del agua de riego .....	2-19
• Inundación continua con lámina estática .....	2-19
• Riego continuo con lámina variable .....	2-20
• Riego rotacional .....	2-20
• Riego corrido .....	2-20
• Efecto del agua en el cultivo .....	2-25
• Efecto del agua en la nutrición .....	2-25
• Efecto del agua sobre las malezas .....	2-27
• Efecto del agua sobre los insectos plaga .....	2-30
• Efecto del agua sobre las enfermedades .....	2-31
• Medición del agua de riego .....	2-32
• Unidades de medida del agua .....	2-32

	Página
• Velocidad de salida del agua por un orificio .....	2-32
• Velocidad media .....	2-35
• Métodos de aforo .....	2-36
• Aforo con molinete .....	2-36
• Aforo con flotadores .....	2-38
• Conducto aforador Parshall .....	2-40
Bibliografía .....	2-41
Práctica 2.1. Cálculo de la pendiente y establecimiento de curvas a nivel en un lote (caballoneo). .....	2-43
• Objetivo	
• Recursos necesarios	
• Instrucciones	
• Información de retorno	
Práctica 2.2. Aforo de una corriente de agua .....	2-47
• Objetivo	
• Recursos necesarios	
• Instrucciones	
• Hoja de trabajo	
• Información de retorno	
Resumen de la Secuencia 2 .....	2-50
Evaluación final de conocimientos .....	2-51

## Flujograma Secuencia 2

### Métodos de riego y manejo del agua

#### Objetivos

- Seleccionar el método de riego más adecuado de acuerdo con las características del suelo, la pendiente y la disponibilidad de agua, en el estudio de un caso.
- Calcular el caudal que pasa por un canal utilizando dos cosas: un aforador (flotador o correntómetro) y medir la sección transversal del canal.

#### Contenido

- Métodos de riego
- Riego por superficie
- Efecto del agua en el cultivo
- Medición del agua de riego

#### Bibliografía

#### Práctica 2.1

- Cálculo de la pendiente y establecimiento de curvas a nivel en un lote (caballoneo)
- Objetivo
  - Recursos necesarios
  - Instrucciones
  - Información de retorno

#### Práctica 2.2

- Aforo de una corriente de agua
- Objetivo
  - Recursos necesarios
  - Instrucciones
  - Hoja de trabajo
  - Información de retorno

#### Resumen Secuencia 2

## Objetivos



Al finalizar el estudio de esta Secuencia el participante estará en capacidad de:

- ✓ Seleccionar el método de riego más adecuado de acuerdo con las características del suelo, la pendiente y la disponibilidad de agua, en el estudio de un caso.
- ✓ Calcular el caudal que pasa por un canal utilizando dos cosas: un aforador (flotador o correntómetro) y medir la sección transversal del canal.

## Información

### **Métodos de riego**

El agua se aplica a los cultivos por los tres métodos que se describen a continuación.

### **Métodos superficiales o por gravedad**

Mediante estos métodos el agua es distribuida en un lote gracias a la pendiente del terreno o al gradiente hidráulico o a ambas. Los métodos más conocidos de riego por superficie son: inundación controlada, inundación incontrolada, y por surcos.

### **Métodos subsuperficiales**

El agua es aplicada por debajo de la superficie del suelo, y asciende hasta ella por la capilaridad. El agua puede venir entonces desde un canal de suministro lateral o por infiltración desde lotes adyacentes generalmente más altos.

### **Métodos de presión**

Son aquellos en que la topografía del terreno no limita su uso, puesto que el agua es conducida al lote en conductos cerrados y a presión, con cabezas hidráulicas superiores a dos metros. Entre los comúnmente utilizados están la aspersión y el goteo.

### **Riego por superficie**

Por ser el que suele emplearse para regar el arroz, se estudiará aquí este método de riego.

### **Hidráulica del riego por superficie**

En el riego por superficie, el agua escurre por pequeños cauces (surcos) o se extiende como una lámina delgada que cubre íntegramente un terreno (la melga).

Hidráulicamente, los surcos y las melgas funcionan de manera semejante a los canales; la diferencia fundamental estriba en que, mientras en éstos se intenta conducir el máximo caudal posible a distancias considerables con la mínima pérdida por infiltración, en los surcos y melgas, en cambio, lo que se intenta lograr es que en un corto recorrido se infiltre toda el agua aplicada.

En los canales, despreciando las pérdidas por infiltración, puede decirse que el caudal se mantiene constante en toda su longitud; en el riego por superficie, en cambio, el caudal es variable porque decrece a medida que aumenta la distancia. Esto plantea complejos y peculiares problemas que dificultan, en parte, la aplicación de los conceptos de la mecánica de fluidos, debiendo recurrirse a ensayos en el terreno para dimensionar las parcelas.

Se han logrado no obstante, aproximaciones bastante aceptables utilizando la Fórmula de Manning para el cálculo de la velocidad; el caudal que se aplicará, por tanto, a un surco o a una melga, es:

$$Q = AV$$

$$Q = \frac{1}{n} ARh^{2/3} S_0^{1/2}$$

$$Rh = \frac{A}{P}$$

Donde:

Q = Caudal en m<sup>3</sup>/s [L<sup>3</sup> T<sup>-1</sup>]

A = Sección de escurrimiento en m<sup>2</sup> [L<sup>2</sup>]

V = Velocidad en m/s [L T<sup>-1</sup>]

Rh = Radio hidráulico en m [L]

S<sub>0</sub> = Pendiente en m/m [L L<sup>-1</sup>]

n = Coeficiente de Manning

P = Perímetro mojado en m [L]

La sección de escurrimiento A, el perímetro mojado P, y el radio hidráulico, Rh, son de más difícil definición en los surcos que en los canales, dada la irregularidad del contorno del área por las obstrucciones, la tortuosidad y, en determinadas condiciones, el efecto de la vegetación. Si se supone que el surco presenta una sección parabólica, entonces:

$$A = \frac{2}{3} hT$$

$$P = \frac{T}{2} \left[ \sqrt{1+C_1^2} + \frac{1}{C_1} \ln(C_1 + \sqrt{1+C_1^2}) \right] = \frac{T}{2} X$$

Donde:

$h =$  Tirante del agua (flecha)

$T =$  Base superior del agua (cuerda)

$C_1 =$  Relación  $4 h/T$

En una melga,  $A = w \times D_o$ , donde  $w$  es el espaciamiento entre dos caballones sucesivos y  $D_o$  es el espesor con que fluye el agua al ingresar en la melga. Además, como ocurre en los cauces cuya anchura es muy grande respecto al espesor del flujo, el radio hidráulico  $R_h$  es igual a  $D_o$ ; la ecuación inicial puede expresarse entonces así:

$$Q = \frac{1}{n} w D_o^{5/3} S_o^{1/2}$$

o también:

$$\frac{Q}{w} = \frac{1}{n} D_o^{5/3} S_o^{1/2}$$

Cuando la pendiente en la dirección del flujo es de valor cero, puede reemplazarse  $S_o$  por la relación  $D_o/X$ , obteniéndose la siguiente ecuación:

$$\frac{Q}{w} = \frac{1}{n} D_o^{5/3} \frac{D_o^{1/2}}{X}$$

El valor del coeficiente de aspereza  $n$  ha sido determinado empíricamente; en el riego por surcos los valores de  $n$  están entre 0.021 y 0.035, según la forma del surco y el caudal aplicado. En el riego por melgas, los valores de  $n$  varían según la densidad de la vegetación, la velocidad y la altura de la lámina aplicada; por ello, para calcular melgas cubiertas de pastos en pleno desarrollo, el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos recomienda un valor de  $n = 0.150$ .

## Criterios de selección

La elección del método de riego más conveniente es importante para conseguir los máximos beneficios del riego, que se manifiestan en el aumento de la producción del cultivo.

Si se emplea un método inadecuado, pueden producirse fallas en el riego y, posiblemente, serios daños en el terreno. El abuso del agua de riego puede ocasionar erosión al suelo, encharcamiento, acumulación de salinidad en el suelo, y un gasto inútil del capital invertido en la instalación del sistema de riego.

Cada sistema de riego es adecuado para ciertas circunstancias limitantes, las cuales gobiernan su empleo. Un conocimiento a fondo del suelo, de su topografía, del abastecimiento de agua, y de otros factores que puedan influir en el riego, contribuirán a seleccionar el método apropiado.

De ahí la importancia de que, a medida que se obtienen variedades más productivas y se desarrollan prácticas de cultivo más eficientes, se desarrollen también métodos más eficientes para usar el agua de riego.

El Cuadro 2.1 muestra las condiciones generales en que operan los diversos métodos de riego superficial. Estas pueden servir como guía para tomar una decisión respecto al método de riego que debe utilizarse en un caso particular. Del cuadro se deduce que los métodos más adecuados para regar en el arroz son las melgas rectangulares y los diques en contorno.

Cuadro 2.1 Aptitud, limitaciones y ventajas de los métodos de riego por superficie

Método	Apto para:	Limitaciones	Ventajas
Surcos rectos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Todos los cultivos en hileras</li> <li>2. Todos los suelos con riego</li> <li>3. Pendiente hasta 3%, óptima. 0.2%</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Requerimientos moderados de mano de obra para riego.</li> <li>2. Algo de pérdidas por escurrimiento; generalmente se requiere para aplicación uniforme del agua.</li> <li>3. Peligro de erosión pluvial con pendientes fuertes.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aplicación uniforme del agua.</li> <li>2. Alta eficiencia en la aplicación del agua.</li> <li>3. Equipos de control, como tubos, sifones y compuertas, disponibles a bajo costo.</li> </ol>
Surcos en contorno	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Todos los cultivos en hileras</li> <li>2. Todos los suelos con riego</li> <li>3. Pendiente entre 2% y 15%, mejor en pendiente de 8%.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Requerimientos elevados de mano de obra.</li> <li>2. Ofrece peligro de erosión en terrenos muy pendientes.</li> <li>3. No es conveniente en suelos arenosos o que se agrietan al secarse.</li> <li>4. Difícil para labores culturales y de cosecha.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. No requiere más que un trabajo de emparejamiento del terreno.</li> <li>2. Bajos costos de mantenimiento.</li> </ol>
Corrugaciones	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cultivos de siembra densa</li> <li>2. Todos los suelos irrigables.</li> <li>3. Pendiente hasta 10%.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Requerimientos de mano de obra para riego medianamente elevados.</li> <li>2. Se requieren recorridos cortos en suelos de alta velocidad de infiltración.</li> <li>3. Terreno disparejo: favorece el deterioro de la maquinaria agrícola.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aumento de eficiencia y uniformidad en relación con el método por desbordamiento en terrenos ondulados.</li> <li>2. Mejora la inundación de las melgas en tierras nuevas.</li> <li>3. Se puede regar con caudales reducidos.</li> </ol>

Cuadro 2.1 Continuación

Método	Apto para:	Limitaciones	Ventajas
Melgas rectangulares	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cultivos de siembra densa</li> <li>2. Todos los suelos irrigables, en especial aquéllos con muy alta o muy baja infiltración.</li> <li>3. Pendiente hasta 0.6%, óptima 0.2%.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Requiere trabajos importantes de nivelación.</li> <li>2. Requiere caudales relativamente bajos.</li> <li>3. Los suelos poco profundos no pueden ser nivelados económicamente.</li> <li>4. Costo inicial relativamente alto.</li> <li>5. Puede afectar la producción de cultivos sensibles a la inundación.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Alta eficiencia de aplicación si hay buen proyecto y operación del riego independiente del tipo de suelo.</li> <li>2. Eficiente en el uso de la mano de obra durante el riego.</li> <li>3. Bajos costos de mantenimiento.</li> <li>4. Buen control de mantenimiento.</li> <li>5. Buen control de la erosión por riego o por lluvia.</li> </ol>
Diques en contorno	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Especialmente para cultivos de arroz, pastos y cereales.</li> <li>2. Textura de suelo: de media a fina.</li> <li>3. Pendiente inferior a 1%, preferiblemente menor de 0.5%.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se requieren grandes caudales (&gt;1200 m<sup>3</sup>/ha por cosecha).</li> <li>2. No se puede utilizar en cultivos sensibles a la inundación.</li> <li>3. Los caballones estorban las labores de cultivo y de cosecha.</li> <li>4. La calidad del agua debe ser de buena a excelente para evitar acumulación de sales.</li> <li>5. Baja eficiencia de aplicación del agua.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. No requiere más que el trabajo de emparejamiento del terreno.</li> <li>2. Bajos costos de mantenimiento.</li> <li>3. Distribución uniformes del agua.</li> <li>4. Drenaje total bueno.</li> </ol>
Desbordamiento	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cultivos de siembra densa (pastos y cereales).</li> <li>2. Todos los suelos irrigables.</li> <li>3. Pendiente hasta de 10%.</li> <li>4. Terrenos ondulados y suelos poco profundos donde la nivelación no es posible.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Subdivide el campo.</li> <li>2. Requerimientos elevados de mano de obra para el riego.</li> <li>3. Baja eficiencia de aplicación del agua.</li> <li>4. Desigual distribución del agua en el suelo.</li> <li>5. Posible peligro de erosión.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Bajo costo inicial.</li> <li>2. Adaptable a una amplia gama de caudales del agua.</li> <li>3. Requiere pocas estructuras permanentes.</li> <li>4. El caudal escurrido de áreas más altas puede recolectarse y usarse de nuevo en áreas bajas.</li> </ol>

## Establecimiento del riego

### Diques en contorno

Este método consiste en la materialización de las curvas a nivel del terreno mediante diques o caballones que delimitan franjas no uniformes en cuanto a su superficie y dimensiones, principalmente la anchura; a continuación se describe el proceso para trazar y operar el método.

- Preparación (de buena a excelente) del lote.
- Eliminar irregularidades de la superficie.
- Alisar y compactar la superficie para facilitar el avance del agua y proteger el suelo de la erosión.
- Determinar sobre el plano, o directamente en el terreno, la pendiente del lote.
- Considerando la pendiente, el intervalo vertical entre dos caballones contiguos oscilará entre 5 y 10 cm, según sea mayor o menor la pendiente del lote.

#### *Determinación de la pendiente:*

- Matemáticamente, la pendiente se determina mediante la siguiente fórmula:

$$P = \sqrt{(P_{n-s})^2 + (P_{w-e})^2}$$

P = pendiente resultante

P<sub>n-s</sub> = pendiente norte - sur

P<sub>w-e</sub> = pendiente oeste - este

- En un lote la pendiente se determina así:

Se localiza un eje de abscisas que se marca con estacas cada 20 ó 30 m en sentido transversal a la pendiente dominante del lote (ej: No. 1); luego, situándose en una estaca intermedia, se localiza otro eje perpendicular al primero y dividido en segmentos iguales a los del primer ejemplo (20 ó 30 m), se extiende en toda la longitud que le permita el lote (ej: No. 2).

Con un nivel de precisión se toman lecturas del relieve sobre cada estaca de los dos ejes anteriores; si el relieve permite efectuar todas las lecturas desde una misma estación del nivel de precisión, se puede adoptar como altura instrumental 10, lo cual facilita el cálculo de las cotas de los puntos representados por cada una de las estacas de los ejes.

Dibuje, en escala aproximada sobre papel cuadriculado, los ejes localizados en el lote, y escriba en él las cotas correspondientes a cada estaca.

Uniendo estacas de un eje con estacas del eje normal se obtienen líneas cuya pendiente se calcula restando el menor valor del mayor y dividiendo este resultado por la distancia entre las dos estacas.

Ejecutando la misma operación con diferentes estacas, se obtienen valores de la pendiente de cada una de las líneas. La pendiente del lote será el valor que se presente con mayor frecuencia. En la Figura 2.1 se da un ejemplo del procedimiento mencionado.

### *Distancia vertical*

La diferencia de cotas entre las curvas a nivel sucesivas se denomina intervalo de nivel o distancia vertical entre dos planos de nivel.

La altura de los caballones debe ser igual a la suma de la distancia vertical entre caballones, más la profundidad de la lámina de embalse, más un borde libre no inferior a 5 cm; además, cuando no están compactados los caballones, se deben adicionar por lo menos otros 5 cm (Figura 2.2).

### *Trazado de las curvas en el campo*

Utilizando un nivel de precisión y una mira, se trazan las curvas a nivel en el terreno con una diferencia de altura entre curva y curva de 5 a 10 cm, según la pendiente.

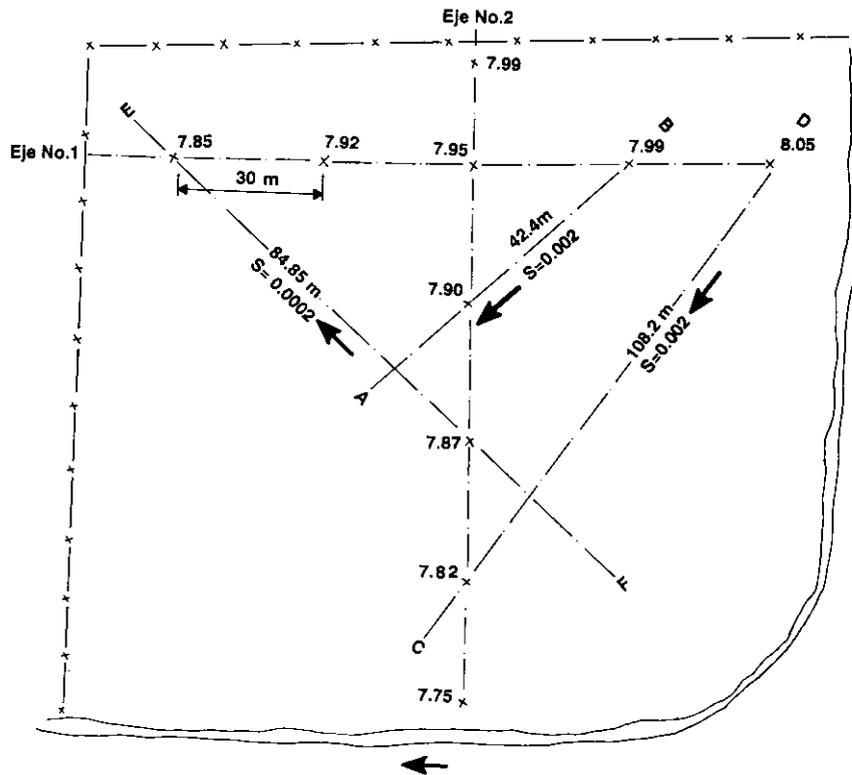


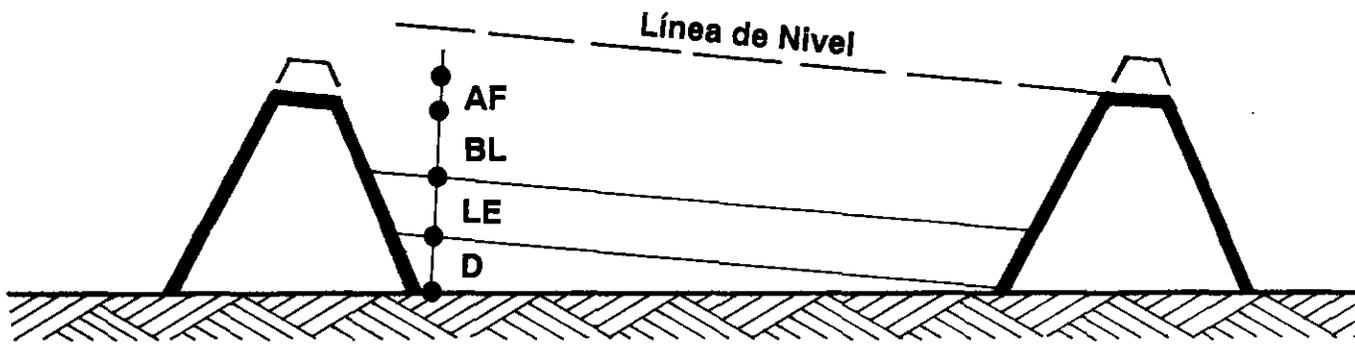
Figura 2.1. Determinación de la pendiente de un lote.

$$\text{Pendiente-línea-AB} = \frac{7.99 - 7.90}{42.4} = 0.002$$

$$\text{Pendiente-línea-CD} = \frac{8.05 - 7.82}{108.2} = 0.002$$

$$\text{Pendiente-línea-EF} = \frac{7.87 - 7.85}{84.85} = 0.0002$$

La pendiente predominante será igual a 0.002.



- D = Distancia vertical entre dos curvas o caballones
- LE = Lámina de embalse
- BL = Borde libre
- AF = Asentamiento final

Figura 2.2. Altura inicial del caballón.

Para el trazado, el portamira recorrerá el lote buscando los puntos de igual altura, y el topógrafo los registra en su aparato, haciendo la señal correspondiente; dichos puntos se marcan con cal, con papel o amontonando suelo con una pala. Una vez demarcada la primera curva, el portamira deberá subir o bajar en el terreno para localizar la segunda curva, que debe estar de 5 a 10 cm más alta o más baja que la anterior. Se continúa operando de la misma manera hasta terminar el lote.

Para evitar confusiones, se recomienda que, a medida que se localizan los puntos de cada curva, se unan éstos con el caballoneador para evitar así unir puntos de curvas diferentes.

### **Melgas rectangulares sin pendiente**

El trazado de las melgas (piscinas) se estudió en la Unidad de Aprendizaje "Adecuación de suelos para el cultivo del arroz para riego", de esta misma serie.

A manera de recuento tenemos los siguientes pasos:

- Levantamiento altimétrico del lote.
- Diseño sobre el plano de las melgas y los canales.
- Trazado en el campo de los diques que dividen las melgas y los canales.
- Nivelación a cero de las melgas.

La eficiencia del riego para este método, cuando el riego se hace de canal a melga y el drenaje de melga a canal, se encuentra entre 80 y 90%.

Si el operario del riego no utiliza los canales para llevar el agua a cada melga, habrá deficiencias en el riego.

### **Manejo del agua de riego**

El agua es uno de los factores más importantes en la producción de arroz. Afecta el carácter físico de las plantas, el nivel de los nutrimentos del suelo, y la naturaleza y capacidad de crecimiento de las malezas. El nivel de rendimiento de grano depende de la interacción de esos efectos. Esta interacción es compleja y está condicionada por el microclima local, el suelo y las prácticas de manejo. Presentaremos, por tanto, los efectos generales y las necesidades asociadas a estas prácticas, que pueden emplearse para estimar efectos probables, en situaciones locales específicas, sobre el rendimiento, las características del crecimiento de las plantas de arroz, las necesidades de agua del cultivo, el manejo dado a éste y otras prácticas agronómicas.

Mencionemos algunas prácticas de manejo del agua.

### **Inundación continua con lámina estática**

En este método el agua se aplica permanentemente a las melgas manteniendo su altura constante. Exige una buena adecuación del terreno, buen control del riego, y potencial en las plantas para alcanzar rendimientos óptimos. Cuando la lámina es baja (2.5 cm), las plantas tienden a ser de menor tamaño, con mayor número de hijos, y con menor tendencia al vuelco; se requiere entonces una óptima nivelación, un eficiente control de malezas, y de 6 mil a 8 mil m<sup>3</sup> de agua/ha para un ciclo de 100 días de riego. Cuando la lámina de agua es intermedia (2.5 a 7.5 cm) se pueden obtener rendimientos altos aunque haya problemas

menores de malezas y no se haga una nivelación muy afinada; el requerimiento de agua está aquí entre 7 mil y 10 mil m<sup>3</sup>/ha. Con láminas mayores que 10 cm, hay mejor control de malezas, menor número de hijos por planta, y mayores pérdidas de agua por percolación y filtración lateral; las plantas tienden a ser altas con predisposición al vuelco, es menor su rendimiento, y los requerimientos de agua son mayores que 10.000 m<sup>3</sup>/ha.

#### **Riego continuo con lámina variable**

En este sistema estaría incluida la mayor parte del arroz para riego en el país. La variación de la lámina obedece a la nivelación deficiente, es decir, hay pendiente dentro de las melgas y habrá aplicaciones escalonadas del riego que permitan cambios de altura de la lámina en ellas. Cuando no hay problemas por la nivelación, y la frecuencia de aplicación es la adecuada sin que permita que el suelo se seque, el potencial de rendimiento será alto. El consumo de agua es muy variable, reportándose valores superiores a los 15.000 m<sup>3</sup>/ha por ciclo vegetativo.

#### **Riego rotacional**

Se diferencia del anterior en que la frecuencia de aplicación es amplia, permitiendo secar el suelo entre los riegos. Las plantas son más cortas y las malezas resultan favorecidas. Algunos ensayos muestran que cuando se deja secar el suelo y se lo inunda de nuevo, la cantidad de agua utilizada es mayor y el rendimiento puede reducirse, especialmente cuando hay déficit de humedad durante la fase reproductiva

#### **Riego corrido**

Este sistema se utiliza en Colombia en los suelos que no son sometidos a nivelación. Se practica este método levantando pequeños diques con tractor o pala para la distribución del agua, siguiendo las curvas de nivel. El agua se aplica en el sitio más alto del lote y se lleva de una franja a otra cuando hay rebosamiento en los caballones. El método no permite embalsar, o sea, tener una lámina de agua, salvo en los sitios bajos al lado de los caballones o en áreas con mínima pendiente. En los lotes inclinados existe el riesgo de erosión por el agua, especialmente cuando se rompen los diques altos y el daño continúa en el sentido de la pendiente formando abanicos fuertemente erosionados.

Existen dos variaciones en este método: el agua se aplica continuamente sin permitir que el suelo se seque, o el agua se aplica en forma rotacional y el cultivo puede sufrir deficiencia hídrica, especialmente en las partes altas del terreno. En ambos casos hay potencial para obtener rendimientos altos, pero en el segundo puede haber mermas en estos, especialmente en

las épocas secas. Las malezas son un factor crítico en los dos submétodos. Requiere asimismo mano de obra especializada en el manejo del agua, y hay pérdidas altas por escorrentía.

Se han efectuado varios trabajos que permiten observar el efecto de las diferentes prácticas de manejo del agua en el rendimiento. En el Cuadro 2.2 se resume un trabajo realizado en el IRRI; en él observamos que láminas de 2.5 a 5 cm dan diferencias significativas en el rendimiento respecto a láminas cuyas alturas continuas eran de 10 a 20 cm tanto en la estación seca como en la húmeda. No hay consistencia con respecto al efecto del drenaje en diferentes períodos.

Cuadro 2.2. Efectos de la altura del agua y del drenaje (7 días) en la producción en siembra directa. Adaptado de IRRI, 1971\*.

Altura del agua (cm)	Manejo	Rendimiento t/ha	
		Estación Seca	Estación húmeda
2.5	Inundación continua	6.4 bc	-
2.5	Inundación continua, con drenaje de una semana	6.7 abc	-
5	Inundación continua	6.5 abc	5.2 a
5	Inundación continua. Drenaje en el máximo macollamiento	6.9 ab	-
5	Inundación continua. Drenaje en el máximo macollamiento.(1 mes continuo)	6.4 bc	-
5	Drenaje hecho dos semanas antes de la aparición de las panículas	6.2 c	-
10	Inundación continua	6.3 c	4.9 ab
20	Inundación continua	5.8 d	4.0 c
-	Lluvia	-	5.2 a

\* Suelos fangueados.

El Cuadro 2.3 muestra los resultados encontrados en un ensayo realizado en el CIAT. Se puede apreciar que durante la época húmeda no se encontró diferencia significativa en el rendimiento entre tratamientos de lámina de agua, sin esta lámina de agua, y con diferentes períodos de aplicación; por su parte, el agua aplicada como riego fue menor donde no se utilizó lámina de agua. En la época seca hay diferencias significativas

respecto al agua aplicada y al rendimiento cuando se aplica riego con lámina de 5 cm y cuando se hace riego sin lámina.

**Cuadro 2.3.** Efecto de la lámina de agua (aplicación rotacional) en el rendimiento de arroz y en la cantidad de agua aplicada. (Adaptado de Tascón, 1985).

Manejo	Epoca húmeda		Epoca seca	
	Agua aplicada	Rendimiento	Agua aplicada	Rendimiento
5 cm cada 3 ó 4 días	5030 a	8571 a	6654 ab	7723 a
5 cm cada 7 días	4353 a	7687 a	6616 ab	7262 a
10 cm cada 14 días	4650 a	7586 a	8286 a	6775 ab
0 cm cada 7 días	2092 b	7586 a	3646 b	5917 b

En el Cuadro 2.4 se muestran los resultados de un ensayo realizado en el IIRI por trasplante, en el cual alternan los períodos de inundación. Se observa que el tratamiento con inundación permanente tuvo el ciclo de cultivo más corto, el máximo rendimiento, y un consumo de agua inferior, o igual, al de todos los tratamientos, excepto en aquellos donde el riego se suspendió definitivamente. Es importante observar que el déficit de agua en la fase vegetativa alarga el ciclo de cultivo.

López y Caicedo realizaron en 1988, en la zona de Espinal, un trabajo en que compararon láminas de agua, renovación de las láminas y períodos de drenaje, con el fin de observar el efecto de diferentes manejos del agua con que se riega el arroz en el rendimiento de éste.

No hubo diferencia significativa entre los rendimientos obtenidos con las diferentes láminas de agua aplicadas. Esto quiere decir, que cualquiera de ellas puede aplicarse en tal caso, por la facilidad del manejo y por la economía de recursos, se recomienda la de 5 cm. Tampoco se presentaron diferencias significativas entre los rendimientos de los tratamientos de renovación de lámina y de períodos de drenaje (Cuadro 2.5).

Cuadro 2.4. Rendimiento de grano de la variedad IR-8 y uso del agua de riego con diferentes prácticas de manejo en tanques sin fondo, en la estación seca. (IRRI, citado por Tascón, 1985).

T	Manejo del agua				Días a madurez	Rendimiento t/ha	Uso de agua mm
	MM	IP	E	M			
i	_____				123	7.16	1147
i	s		i		127	6.31	1178
i	_____s				124	6.09	904
i	_____s				124	5.87	730
s	_____i				131	5.84	1435
s	_____i				133	4.68	1438
s	_____i				145	3.72	1121
s	_____				152	1.84	432

T = trasplante; MM = máxima producción de macollas; IP = inicio de la panícula; E = aparición de la panícula; M = madurez  
s = secado del suelo; i = inundación continua.

Cuadro 2.5. Efecto de diversas láminas de inundación, de la renovación de la lámina, y de los períodos de drenaje en el rendimiento del arroz (var. Oryzica 1), en el C.I. Nataima (ICA). Espinal, Tolima.<sup>1/</sup>

Tratamiento	Rendimiento (kg/ha)		
	1983-B	1984-A	
Láminas (cm)	5	6142	6319
	10	6160	6195
	15	6138	6160
Renovación (l/sg./ha)	0.0	6288	6252
	1.5	6032	6204
	3.0	6285	6218
Período de drenaje (días)	Ninguno	5944	6202
	5 (de 50 a 55)	6335	6225
	10 (de 50 a 55 y de 65 a 70)	6204	6246

<sup>1/</sup> Fuente: López y Caicedo, 1988.

En un trabajo de investigación realizado por Gallardo (1985) en Palmira, para determinar la influencia de dos prácticas de manejo del agua de riego (lámina rotacional de 5.0 cm y saturación permanente) se concluyó que los suelos bajo saturación permanente pueden dar rendimientos similares de arroz a los obtenidos en los suelos en que se mantiene una lámina rotacional de 5.0 cm. Los volúmenes de agua aplicada en cada caso fluctuaron entre 9427 m<sup>3</sup>/ha (saturación permanente) y 17,183 m<sup>3</sup>/ha (lámina rotacional de 5.0 cm); este último valor representó un exceso de 82% respecto al agua mínima requerida para obtener buenos rendimientos.

En el Distrito de riego de Rfo Recio, en Lérica (Tolima), se hizo un experimento en que se evaluaron dos métodos de riego (riego corrido o tradicional y melgas en curvas a nivel), y dos caudales de drenaje (0 y 1.5 l/seg./ha) para determinar su efecto en la eficiencia del riego y en las pérdidas de suelo causadas por el agua. En los Cuadros 2.6 y 2.7 se resumen los resultados del experimento. Se observa allí que la eficiencia del riego en el método de melgas en curvas a nivel, sin escurrimiento, fue de 58%, mientras que en el método de riego corrido con escurrimiento la eficiencia, 16%, fue muy baja.

**Cuadro 2.6** Eficiencia de riego de los métodos de melgas en curvas a nivel y de riego corrido en el cultivo del arroz. Lérica, Tolima, 1987A.

Método	Agua total aplicada (m <sup>3</sup> )	Eficiencia de riego (%)
MSE	8958.3	58
MCE	9234.1	56
CSE	9220.4	57
CCE	33630.0	16

MSE = melgas sin escurrimiento  
MCE = melgas con escurrimiento

CSE = corrido sin escurrimiento  
CCE = corrido con escurrimiento

Cuadro 2.7 Pérdidas de suelo causadas por dos métodos de riego. Lérica, Tolima, 1987A. (Adaptado de Villareal, 1987).

Método	Pérdidas (t/ha - año)			
	1 <sup>er</sup> riego	2 <sup>do</sup> riego	3 <sup>er</sup> riego	Total
Melgas a nivel	0.06	0.01	0.003	0.073
Riego corrido	7.2	2.2	1.4	10.8

Nota: Se determinaron pérdidas sólo en los 3 primeros riegos, ya que una vez macollado el cultivo se reduce considerablemente la erosión.

Las pérdidas de suelo fueron del orden de 10.8 t/ha.año para el método tradicional y 0.07 t/ha.año para el de melgas en curvas a nivel; la primera (riego corrido) equivaldría a una pérdida aproximada de 7 mm de la capa de suelo cada año.

### Efecto del agua en el cultivo

El agua de riego no sólo contribuye a la mejor adaptación de la planta sino que tiene efectos en el suelo y en los fertilizantes aplicados, además de que restringe el ataque de las malezas, plagas y enfermedades que afectan el cultivo.

### Efecto del agua en la nutrición

El agua no sólo atiende las necesidades básicas de la planta, sino que afecta el aprovechamiento de los nutrimentos naturales del suelo y de los fertilizantes que se aplican a éste. También interviene en la lixiviación de nutrimentos y sales, en la formación de algunas sustancias tóxicas, y en la neutralización de elementos como el aluminio que, en exceso, son dañinos para el cultivo.

Se ha demostrado que la inundación del suelo aumenta la disponibilidad de elementos tales como el silicio y el fósforo. El zinc, por el contrario, tiende a disminuir con la inundación y ésta puede causar problemas al cultivo en suelos relativamente deficientes en ese elemento.

El nitrógeno del aire se disuelve en el agua de inundación, y puede ser fijado por algas y bacterias, que lo transforman en nitrógeno orgánico. Este, y el proveniente de los residuos de las cosechas, pueden sufrir una mineralización hasta transformarse en amonio que es un compuesto utilizable por la planta de arroz.

Si en la capa oxidada del suelo está presente el ion amonio, ya sea porque existía en el suelo o porque llegó allí con el fertilizante, se puede oxidar hasta convertirse en nitrato; estos nitratos pueden ser tomados por las plantas o descender hasta la capa reducida, en donde quedarán inmobilizados como materia orgánica o se perderán por lixiviación o denitrificación (León y Arregocés, 1985).

Cuando se fertiliza el cultivo con fórmulas amoniacaes en época de sequía, la demora en la aplicación del riego puede originar la pérdida parcial o total del compuesto aplicado, con perjuicio de la productividad (Cuadro 2.8).

Cuadro 2.8. Efecto del anegamiento retardado en la respuesta a una aplicación de nitrógeno de 100 kg/ha (Tascón, 1985).

Demora en la inundación (días)	Rendimiento (kg/ha)
0	6.923
3	6.200
6	6.064
9	5.400
0, sin nitrógeno	5.800

Estos datos nos muestran que una demora de más de tres días en aplicar el riego originó descensos notables en la eficiencia, en el rendimiento, que indican (comparando con el testigo) la pérdida total del nutrimento aplicado cuando la demora fue de nueve días. Por otra parte, el agua de riego cuando existe un adecuado drenaje, puede contribuir a eliminar, por lixiviación o por transformación de los minerales tóxicos a la planta, especialmente los compuestos de sodio y los carbonatos. En cambio, en ausencia de drenaje las aguas de riego tienden a acumular sales que perjudican las plantas y el suelo.

En los suelos alcalinos, el agua ayuda a la liberación del hierro, corrigiendo así deficiencias temporales de este elemento; no obstante, este mismo fenómeno hace que en los suelos ácidos con alto contenido de hierro se incremente la forma férrica, que resulta tóxica para la planta de arroz, por lo cual en estos suelos el manejo del riego deberá ser diferente.

En los suelos ácidos en que el aluminio es alto y causa toxicidad, el riego transforma este elemento en formas no tóxicas, haciendo posible el cultivo.

La inundación de suelos con alto contenido de materia orgánica y con pobre drenaje puede originar la formación de compuestos tóxicos, tales como el gas metano y el anhídrido sulfuroso, los cuales inhiben el desarrollo del cultivo. Se reconocen estos fenómenos por un mal olor característico y porque las raíces del cultivo se toman de color negro (Cuadro 2.9).

### **Efecto del agua sobre las malezas**

Hay un buen número de especies de malezas con diferente capacidad de adaptación a diversas condiciones de humedad. El manejo adecuado del agua en el cultivo del arroz permite, en muchos casos, reducir a unas pocas especies las plantas que compiten con el cultivo. Además, en las especies que toleran la inundación, como las gramíneas, la germinación y el establecimiento se inhiben por la presencia de una lámina de agua. En el Cuadro 2.10 se presenta una clasificación convencional de las malezas del cultivo; son cinco grupos, según su adaptación a las condiciones de humedad del suelo, que van del suelo aeróbico (secano alto) hasta el de sumersión permanente.

**Cuadro 2.9. Efectos del agua de riego en la nutrición de las plantas de arroz.**

<b>Condición inicial</b>	<b>Resultante</b>
• Inundación del suelo	Aumento de la disponibilidad de silicio o fósforo.
• Inundación del suelo	Disminuye la disponibilidad de zinc, cobre y potasio.
• Inundación del suelo	Transformación de compuestos de nitrógeno a formas amoniacales, y mayor estabilidad
• Suelos con manejo de agua: inundación - secado	El amonio pasa a nitrato, y se lava o pasa a amoníaco, y se presentan pérdidas de N por volatilización.
• Aplicación al cultivo de compuestos amoniacales y demora en la aplicación del riego (sequía)	Pérdida parcial o total del nitrógeno aplicado.
• Aplicación de riego en presencia de drenaje adecuado	Eliminación del exceso de sales solubles.
• Aplicación de riego y ausencia de drenaje	Acumulación de sales.
• Riego en suelos alcalinos	Liberación de hierro y corrección de deficiencias temporales de éste.
• Riego en suelos ácidos con alto contenido de hierro	Incrementa la forma ferrosa ocasionando toxicidad a la planta.
• Riego en suelos ácidos con contenido alto de aluminio donde hay toxicidad de éste	Disminución de la concentración y de la toxicidad del aluminio.
• Inundación de suelos con alto contenido de materia orgánica y pobre drenaje	Origina compuestos tóxicos como el gas metano, e incrementa la toxicidad del Fe y el Mn; habrá anhídrido sulfuroso si el contenido de Fe es bajo.

Cuadro 2.10. Clases de malezas según la condición de humedad del suelo, en el sistema de producción de arroz.

Grupo	Condición de humedad del suelo		
	Seco	Húmedo	Inundado
1	_____		
2	_____		
3	_____		
4		_____	
5			_____

**GRUPO 1:** Plantas típicas de cultivos de secano. Plantas temporales con escasa capacidad de soportar inundación. Ej: *Portulaca* sp. *Sorghum* spp. y *Amaranthus* spp.

**GRUPO 2:** Plantas de secano pero con mayor adaptación a la humedad; pueden tolerar inundaciones transitorias. Ej: *Eleusine indica*, *Rottboellia exaltata*, *Ipomoea* spp., *Cyperus rotundus*.

**GRUPO 3:** Plantas de gran adaptación a las diversas condiciones de humedad del suelo, generalmente presentes en cualquier sistema de cultivo de arroz e incluso en los de rotación. Ej: *Echinochloa colona*, *Eclipta alba*, *Cyperus iria*, *Ludwigia* spp.

**GRUPO 4:** Plantas semiacuáticas y acuáticas que requieren de suelos saturados de agua o de agua libre para su desarrollo. Ej: *Echinochloa crusgalli*, *Cyperus esculentus*, *C. niger*, *Ammania* sp. y *Heteranthera reniformis*.

**GRUPO 5:** Plantas netamente acuáticas. Ej: *Heteranthera limosa*, *Limnocharis flava* y *Sagittaria* spp.

En el IRRI, en Filipinas, se realizó un experimento para determinar la influencia que tiene la altura del agua sobre tres tipos principales de malezas (Figura 2.3). Se observa allí que la respuesta de las malezas al riego es diferencial, y que con una lámina alta son pocas las especies que pueden establecerse.

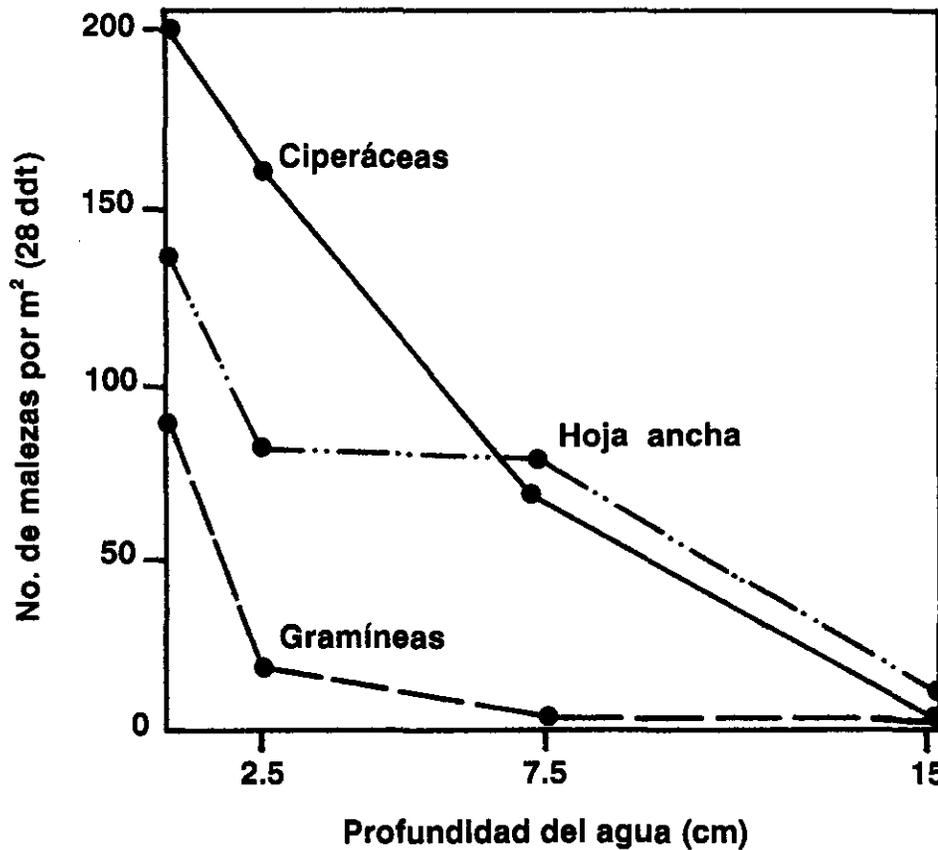


Figura 2.3. Efecto de la profundidad del agua en la población de malezas del arroz ddt=días después del trasplante (IRRI, 1968).

Efecto del agua sobre los insectos plaga

En condiciones aeróbicas, el número de especies de insectos que atacan las plántulas es muy grande, especialmente las plagas del suelo y los trozadores; pues bien, la mayor parte de ellas es afectada por la inundación y son pocas las especies dañinas que se han adaptado a la inundación del cultivo del arroz, como los gorgojos acuáticos y la mosca minadora (Cuadro 2.11).

Cuadro 2.11. Especies de insectos que atacan las plántulas de arroz.

Suelo drenado	Suelo inundado
<i>Agrotis ipsilon</i>	<i>Lissorhoptus</i> spp.
<i>Spodoptera frugiperda</i>	<i>Oryzophagus</i> spp.
<i>Phyllophaga</i> sp.	<i>Hydrellia</i> spp.
<i>Blissus</i> sp.	
<i>Scapteriscus</i> sp. ( <i>Gryllotalpa</i> sp.)	
<i>Euethela</i> sp.	
<i>Elasmopalpus</i> sp.	
Hormigas y comejenes	

En relación con las plagas aéreas de las plantas adultas, el riego no tiene mayor influencia en ellas; la excepción es el barrenador *Diatraea saccharalis*, que puede causar problemas a los cultivos de secano.

**Efecto del agua sobre las enfermedades**

Las dos enfermedades más comunes del cultivo del arroz en el trópico, la piricularia y la helmintosporiosis, presentan menor incidencia en los cultivos bien irrigados. Por el contrario, algunas prácticas inadecuadas de manejo del agua de riego contribuyen a crear condiciones favorables para el desarrollo de otras enfermedades, como es el caso de la pudrición o añublo de la vaina causada por el hongo *Rhizoctonia solani*. Resultados obtenidos en un experimento realizado en el municipio de Saldaña, en el Tolima, indican que la severidad de esta enfermedad aumenta en la medida en que la lámina de inundación es mayor, y que el rendimiento se reduce de manera equivalente (Cuadro 2.12).

Cuadro 2.12. Efecto de la lámina de inundación en el añublo de la vaina (*Rhizoctonia solani*) en el arroz. Saldaña, 1991B (Tomado de ICA, 1992).

Lámina (cm)	Severidad	Rendimiento (kg/ha)
0	3.486 a	7195.8
5	4.082 b	6587.5
10	4.596 c	6058.3

## **Medición del agua de riego**

El empleo eficaz del agua para riego depende en gran parte de su aforo. El aumento del consumo y del valor del agua disponible y la tendencia creciente de las empresas de riego a basar sus cobros en las cantidades de agua que se emplearán cada año, exigen la unificación de principios y métodos para el aforo de las aguas. No se pueden utilizar, para establecer un plan de riego, los datos que ligan el agua con el suelo y con las plantas, sin antes aforar el agua que existe.

## **Unidades de medida del agua**

Las unidades de medida del agua pueden agruparse en dos clases: las que miden un volumen específico de agua en reposo, y aquellas que miden un caudal. Las más usadas para el volumen de agua en reposo son el litro, el metro cúbico, el centímetro-hectárea y el metro-hectárea. Un centímetro-hectárea es un volumen de agua suficiente para cubrir una hectárea con un espesor de un centímetro, lo que equivale a  $100 \text{ m}^3$ . Un metro-hectárea de agua cubrirá una hectárea con un espesor de 1 metro, y equivale a  $10,000 \text{ m}^3$ .

Las medidas más corrientes de los caudales son el litro por minuto, el metro cúbico por segundo, el centímetro-hectárea por hora y el metro-hectárea por día.

La pulgada minera puede definirse como el volumen de agua que fluye a través de un orificio de 1 pulgada cuadrada de superficie ( $6.45 \text{ cm}^2$ ) situado en una superficie vertical a una altura dada. Los primeros mineros del Oeste de Estados Unidos utilizaron alturas de presión que oscilaban entre 10.16 y 17.78 cm. En la actualidad, los estados occidentales definen la pulgada minera en función de litros por segundo. Así, en California, Idaho, Kansas, Nuevo Méjico, Dakota del Norte, Dakota del Sur, Nebraska y Utah vale 0.56 litros/seg. En Arizona, el norte de California, Montana, Nevada y Oregon, su valor es de 0.70 litros/seg y en Colorado 0.74 litros/seg.

## **Velocidad de salida del agua por un orificio**

Cuando la presión en el interior de las cañerías de una instalación doméstica es elevada, el agua saldrá por un grifo abierto a gran velocidad, o lo hará lentamente cuando aquella sea baja. Si la presión interna del agua en el tubo fuese idéntica a la atmosférica exterior, el agua no fluiría. La magnitud de la presión en un punto cualquiera del interior de una masa de agua que tenga una superficie libre es proporcional a la profundidad a que se encuentra dicho punto bajo la superficie del agua. La velocidad de salida del agua a través de un orificio hecho en un recipiente (o en una pared colocada transversalmente

a una corriente) muy abajo de la superficie del agua, es mucho mayor que la que tendría si el orificio estuviese próximo a la superficie. En la práctica del riego, es muy importante saber exactamente la velocidad que adquirirá el agua al pasar por un orificio situado a cierta distancia vertical por debajo de la superficie del agua. La ley física fundamental que determina esta velocidad es la misma que rige la caída libre de los cuerpos en el vacío.

La velocidad de un cuerpo en caída libre, si suponemos nulo el rozamiento con el aire, se puede hallar conociendo la distancia vertical desde donde ha comenzado a caer hasta el punto en que se quiere saber su velocidad. De modo análogo, la velocidad del agua que sale por un orificio abierto en un recipiente, suponiendo que no existe rozamiento, se puede determinar conociendo la altura del volumen de agua que está encima del orificio. La ecuación que expresa esta importante ley de caída de los cuerpos, que se aplica también al flujo del agua, es:

$$V = \sqrt{2gh}$$

donde: V = velocidad, en metros por segundo

g = aceleración de la gravedad (o fuerza de gravedad por unidad masa) y vale 9.81 m/seg<sup>2</sup>

h = altura del agua, en metros, o presión que produce la descarga por el orificio

Si la dimensión vertical del orificio es muy grande, la velocidad del agua en su extremo inferior será notablemente mayor que en el superior. Para la presente exposición consideramos que las dimensiones del orificio son tan pequeñas, en relación con la altura del líquido, que la diferencia de velocidad en sus extremos superior e inferior resulta despreciable. Para aclarar el empleo de la ecuación anterior, supongamos que h = 1.2 m. (Figura 2.4). Entonces:

$$V = \sqrt{2 \times 9.81 \times 1.2} = 4.85 \text{ m/seg}$$

es decir, teóricamente, el agua deberá salir por un orificio que esté situado a 1.2 m por debajo de la superficie del líquido, a una velocidad de 4.85 m/sg. Debido a la resistencia por rozamiento, la velocidad real es algo menor que la teórica.

La cantidad de agua que fluye a través de un orificio, o por un canal, es directamente proporcional a la sección transversal del orificio o del canal, y a la velocidad del fluido; ese caudal del agua se expresa por la ecuación denominada de continuidad, que repetimos aquí por comodidad:

$$Q = A \times V$$

donde  $Q$  = caudal del agua, en  $m^3/sg$ .

$A$  = área de la sección transversal del cuerpo de agua que pasa por el canal o por el orificio, en  $m^2$ .

$V$  = velocidad media, en  $m/sg$ .

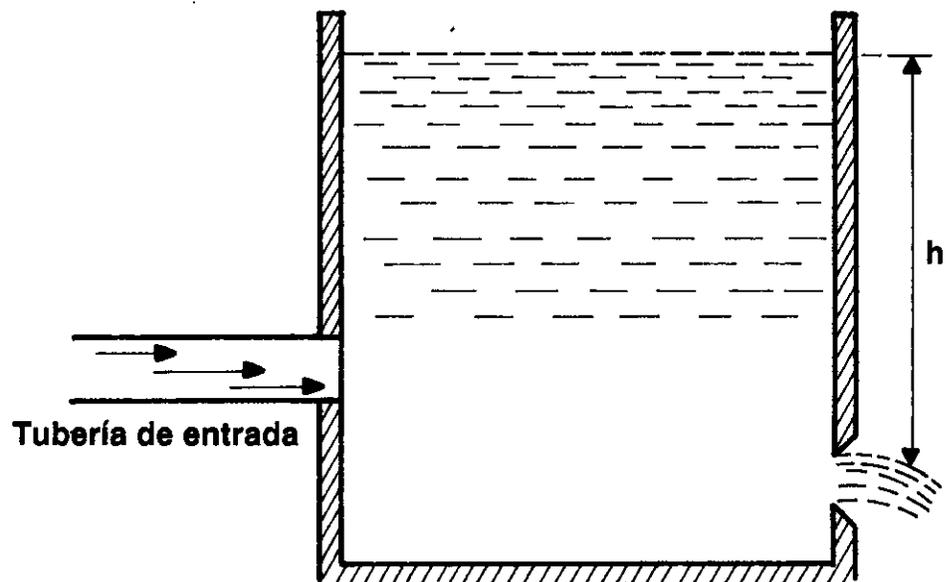


Figura 2.4. Salida del agua a través de un orificio situado bajo una altura de presión  $h$ .

La descarga teórica a través de un orificio puede determinarse sustituyendo el valor  $V$  de la ecuación de continuidad en la ecuación del caudal, es decir:

$$Q = A\sqrt{2gh}$$



Explorando una vertical A B se observa que, a medida que desciende el tubo de Pitot o el molinete, la velocidad registrada va aumentando hasta alcanzar un valor máximo, y de ese punto en adelante disminuye hasta que, al llegar al fondo, es mínima (Figura 2.5). Graficando las velocidades se obtiene, aproximadamente, una parábola cuyo vértice corresponde a la velocidad máxima, y se halla en un punto situado, más o menos, a la quinta parte de la distancia ( $0.2 d$ )  $d$  contando desde la superficie libre (A). Hay una velocidad media cuyo valor es tal que el área del rectángulo A E F B debe ser igual al área A E D B limitada por la parábola de las velocidades; esta velocidad media se ha observado aproximadamente a  $0.6$  de la profundidad  $d$  a partir de la superficie libre, y es más o menos  $80\%$  a  $90\%$  de la velocidad superficial.

Un valor aproximado de la velocidad media de las partículas de agua en una vertical se obtiene del promedio de las velocidades observadas a  $0.2$  y a  $0.8$  de la profundidad ( $d$ , en este caso). Por supuesto que será mejor hacer más observaciones en la vertical, a profundidades equidistantes.

Cuando se trata de aforar caudales que fluyen a alta velocidad, suelen hacerse varias observaciones en una misma vertical, por la dificultad de la operación; para obtener entonces la velocidad media basta multiplicar la velocidad superficial por un factor que generalmente es  $0.85$  (promedio de  $0.8$  y  $0.9$ ).

## Métodos de aforo

### Aforo con molinete

Para la práctica de aforo con molinete en un canal se dispone la sección, denominada de control, como se ilustra en la Figura 2.6.

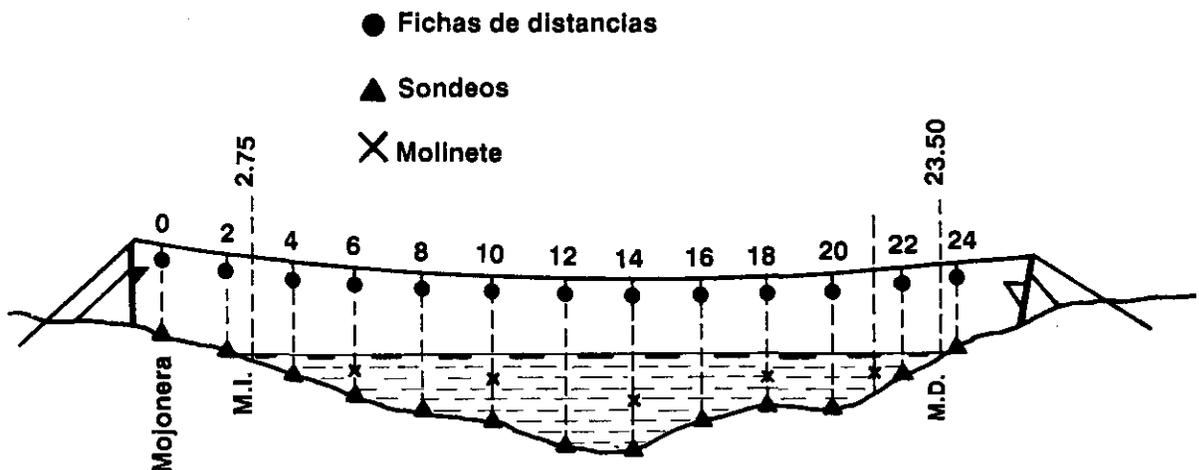


Figura 2.6. Aforo de un canal con molinete

Hay varios tipos de molinete, cada tipo con ligeras variantes. El principio en que se basa su funcionamiento es el siguiente: la velocidad de rotación de la hélice o rueda de copas (Figura 2.7) es directamente proporcional a la velocidad del agua en la corriente, y el número de revoluciones que da dicha rueda en el tiempo que dura la observación es transmitido a un registrador por medios mecánicos o eléctricos, y es contado por el observador con el auxilio de un sonador acústico (Anexo 6).

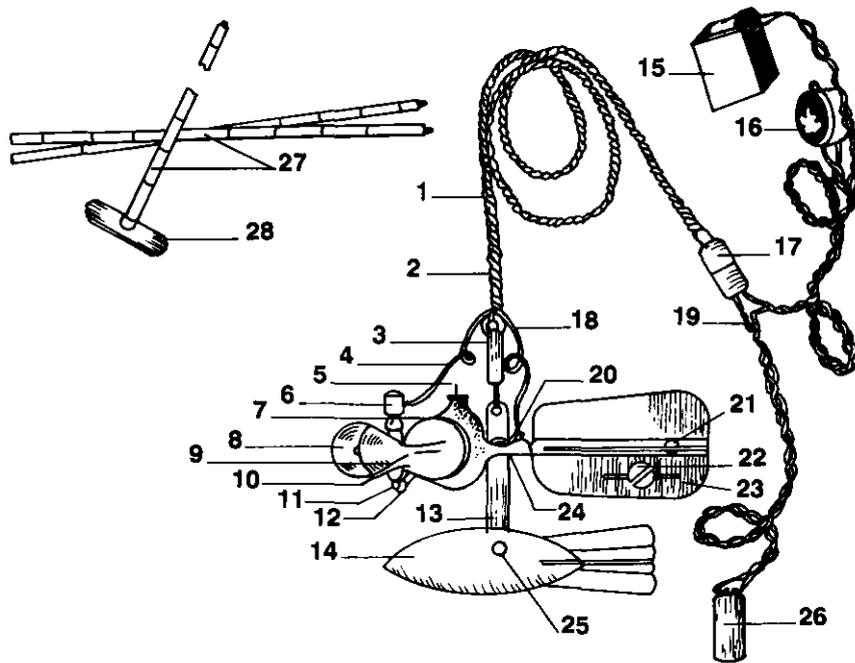


Figura 2.7. Correntómetro o molinete para medir la velocidad de una corriente de agua en un canal

- |   |                                       |
|---|---------------------------------------|
| 1. Cable de suspensión con dos conductores, forrado | 15. Registrador eléctrico             |
| 2. Empalme del cable con los alambres de conexión   | 16. Audífono                          |
| 3. Gancho de suspensión                             | 17. Conexión de clavijas              |
| 4. Conexión con el contacto                         | 18. Conexión con el molinete (tierra) |
| 5. Entrada con rosca para la varilla                | 19. Línea del audífono a la pila      |
| 6. Cámara de contactos                              | 20. Tornillo prisionero de la cola    |
| 7. Horquilla  | 21. Pasador de la lámina horizontal   |
| 8. Rueda de copas o hélice                          | 22. Contra peso de compensación       |
| 9. Tuerca de sujeción del eje                       | 23. Cola (lámina vertical)            |
| 10. Contratuerca del porta-pivote                   | 24. Pasador de articulación           |
| 11. Porta-pivote                                    | 25. Tornillo de la pesa               |
| 12. Cabeza del pivote                               | 26. Pila                              |
| 13. Solera de suspensión                            | 27. Varillas                          |
| 14. Escandallo                                      | 28. Platillo de apoyo                 |

## Aforo con flotadores

Para calcular la velocidad del agua en un cauce pueden utilizarse flotadores, los cuales, al ser impulsados por las partículas de agua, tomarán una velocidad similar a la de ellas. Este método es ideal para los canales donde el caudal es inferior a 300 l/seg.

La velocidad del viento afecta mucho los flotadores superficiales, por lo cual son más recomendables los flotadores subsuperficiales, o sea, los que van un poco por debajo de la superficie del agua.

Los flotadores se construyen con dos corchos retenidos por un tornillo de 3/16" de diámetro y de 4" a 5" de largo, y con un lastre para que el flotador sólo sobresalga de la superficie del agua un 20%; para hacerlo más visible, se pinta de amarillo o naranja (Figura 2.8).

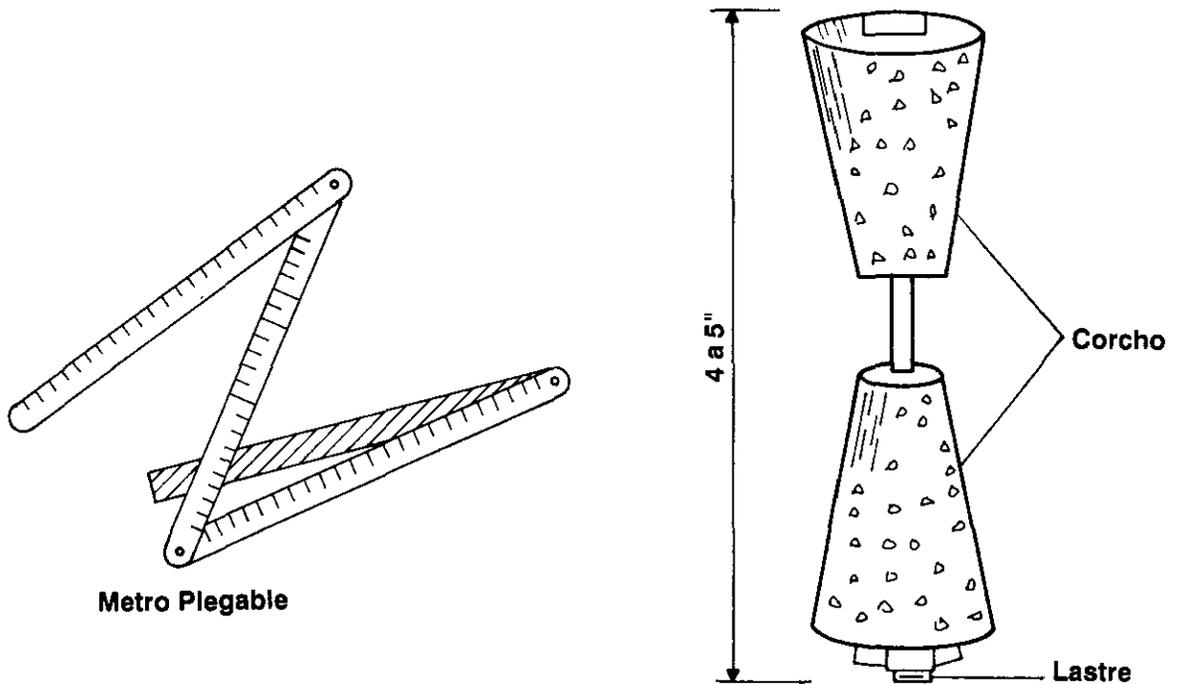


Figura 2.8. Flotador de corcho para aforar un caudal y metro plegable.

La velocidad de un flotador se obtiene determinando una distancia sobre una de las orillas del canal y tomando el tiempo que el flotador tarda en recorrerla; es conveniente escoger un tramo recto del canal, y de sección relativamente uniforme. El área de la sección de un canal trapezoidal, considerando que con el tiempo la sección adquiere forma parabólica, se ajusta a la fórmula  $A = \frac{2}{3} b \times h$ . El error en que se incurriría al asimilar la sección trapezoidal (talud 1:5:1) de un canal a una sección parabólica, si el canal conduce caudales inferiores a 300 l/seg, oscila entre 5% y 24%, estas cifras fueron obtenidas después de numerosas comparaciones entre caudales aforados con flotador y con micromolinete. También se conoce otro tipo de medidor como estructura de aforo; el conducto aforador Parshall (Anexo 4).

*Procedimiento:*

Para calcular la velocidad del molinete, se escoge un tramo mayor de 5 m y con un cronómetro se mide el tiempo que tarda el flotador en recorrer esa distancia, que ha sido previamente medida y marcada con estacas en los puntos extremos. Es conveniente soltar el flotador unos 2 m antes del primer punto de referencia y empezar a cronometrar tan pronto llegue a éste, es decir a la primera estaca, con el fin de darle tiempo al flotador para que se estabilice.

Presentaremos a continuación un ejemplo en que se hallará el caudal en un canal de características conocidas, y donde se determinó la velocidad del agua con un flotador:

- Tiempo recorrido del flotador: 25 segundos  
Velocidad en el tramo: 0.20 m/seg
- Ancho de la sección (b): 0.6 m  
Profundidad (h): 0.3 m  
Area: 0.12 m<sup>2</sup>
- Area de la sección: 0.120 m<sup>2</sup>  
Velocidad: 0.2 m/seg  
Caudal = 19 l/seg

El formulario en que se toma la información de campo se presenta en la Figura 2.9.

Conducto  
aforador Parshall

El medidor Parshall ha tenido gran aceptación como estructura de aforo.  
En el Anexo 7 discutimos sus ventajas y describimos su estructura.

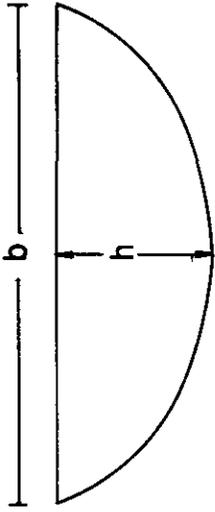
Aforo con flotador							
Propietario	Concepto	Tiempo (seg)	Ancho (b) (m)	Profundidad (h) (m)	Velocidad (m/seg)	Area (m <sup>2</sup> )	Caudal (l/seg)
Fecha: _____							

Figura 2.9. Registro de los datos cuando se hace un aforo con flotador.

## Bibliografía

- CAICEDO, A.M. 1985. Manejo del agua en el cultivo del arroz bajo riego. En: Memorias del V Seminario Nacional de Ingenieros Agrícolas. Medellin.
- GALLARDO, C. Y BARRETO, R. 1986. Resumen de resultados del proyecto de manejo de aguas en arroz. Documento preliminar. ICA, C.I. Palmira.
- ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). 1992. Manejo del agua en el cultivo del arroz y su efecto sobre el añublo de la vaina. Informe anual de actividades, Sección de Recursos Naturales. Centro de Investigación Nataima.
- IRRI (International Rice Research Institute). 1968. Annual report for 1968, Los Baños, Laguna, Filipinas, p. 206-212.
- IRRI (International Rice Research Institute). 1969. Annual report for 1969, Los Baños, Laguna, Filipinas.
- IRRI (International Rice Research Institute). 1971. Annual report for 1971, Los Baños, Laguna, Filipinas, p. 128-130.
- ISRAELSEN, O.W. Y HANSEN, V.E. 1962. Irrigation principles and practices. Wiley and sons. New York.
- GRASSI, C. 1976. Métodos de riego. CIDIAT, Mérida (Venezuela). p. 265.
- LEÓN, L.A. Y O. ARREGOCÉS. 1985. Química de los suelos inundados. En: Arroz: investigación y producción. Cursos de capacitación sobre arroz dictados por el CIAT. Compilado y editado por E. Tascón y E. García. Cali, Colombia. p. 287-305.
- LÓPEZ, J.V. Y CAICEDO, A.M. 1988. Manejo del agua en el cultivo del arroz. En: Compendio del curso sobre el cultivo del arroz. ICA/ FEDEARRROZ, Ibagué.
- TASCÓN J., E. 1985. Requisitos de agua y métodos de riego en el cultivo del arroz. En: Arroz: Investigación y Producción. Cursos de capacitación sobre arroz dictados por el CIAT. Compilado y editado por E. Tascón y E. García. Cali, Colombia. pp. 401-415.

TRUEBA C., S. 1971. Hidráulica. Ed. Continental, México. p. 287-300.

SERVICIO DE CONSERVACIÓN DE SUELOS DE LOS ESTADOS UNIDOS. 1977. Riego por diques en contorno. Ed. Diana, México, D.F.

VILLARREAL, A.B. *et al.* 1988. Interacción entre métodos de riego, escorrentía y fertilización nitrogenada del cultivo del arroz. Tesis (Ing. Agr.) Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia). p. 89.

## **Práctica 2.1 Cálculo de la pendiente y establecimiento de curvas a nivel en un lote (caballoneo)**

### **Objetivo**

- ✓ Calcular la pendiente de un lote y localizar las curvas a nivel para la construcción de los diques o caballones, con el fin de establecer el riego en un lote a sembrar con arroz.

### **Recursos necesarios**

- Lote de 4 o más hectáreas
- Nivel de precisión
- Mira topográfica de 4 m
- Cal agrícola (10 kg)
- Saco poroso (de tela)
- Tractor con caballoneador
- Estacas (100)
- Libreta de apuntes
- Lápices
- Hojas de papel cuadriculado
- Tablas de apoyo para escribir
- Calculadoras
- Reglas

### **Instrucciones**

1. Cálculo de las pendientes de un lote:

El instructor asignará a los grupos (conformados por 5 personas) la dirección del eje principal, y cada grupo aplicará la metodología descrita en el ejemplo de la página 2-15 (“Determinación de la pendiente en el lote”, Secuencia 2), localizando los ejes con estacas y calculando las pendientes del lote.

Duración: 1 hora

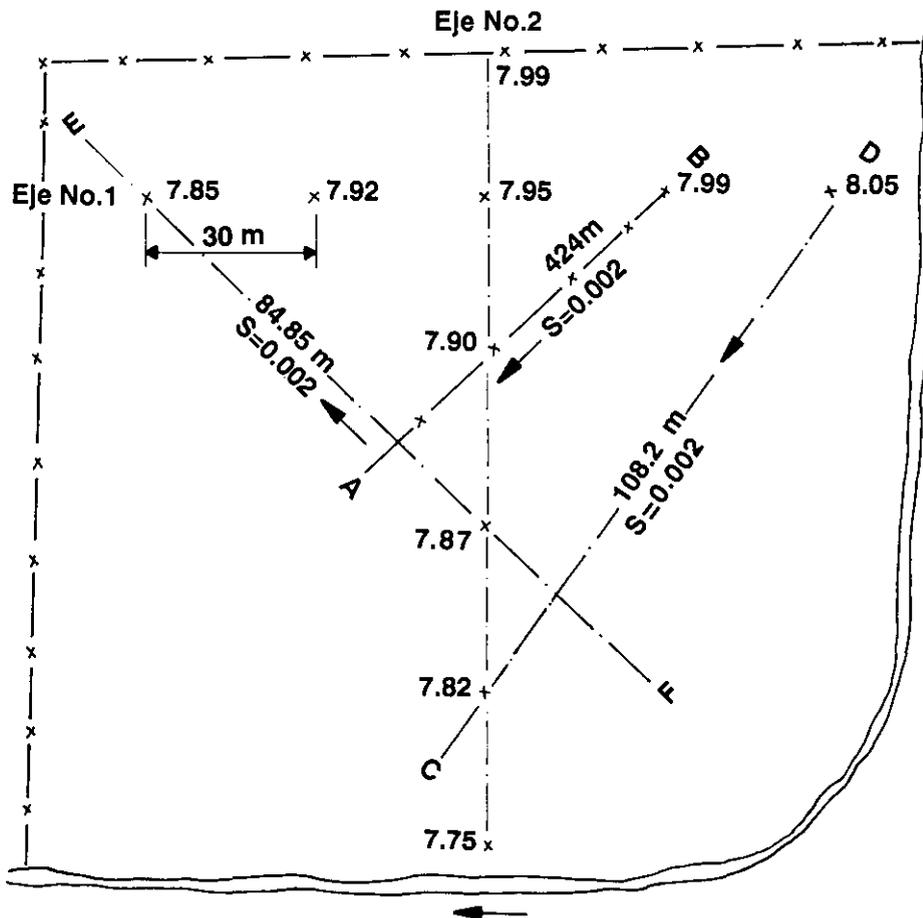
**2. Trazado de las curvas en el campo:**

El instructor asignará a cada uno de los grupos tanto el área para caballonear como la ubicación del nivel de precisión. Cada grupo procederá de la siguiente forma: un integrante tomará la mira, otro la cal en un saco, y los restantes harán las observaciones en el aparato. Cada uno de los cinco integrantes debe realizar las tres diferentes labores: lectura en el aparato, portamira, y marcación de las curvas con cal. Procediendo en la forma descrita en la página 2-16 (“Trazado de las curvas en el campo”, Secuencia 2), cada grupo debe trazar como mínimo cinco curvas.

**Duración: 2 horas**

## Práctica 2.1 - Información de retorno

1. Cálculo de las pendientes de un lote.



$$\text{Pendiente-Línea-AB} = \frac{7.99 - 7.90}{42.4} = 0.002$$

$$\text{Pendiente-Línea-CD} = \frac{8.05 - 7.82}{108.2} = 0.002$$

$$\text{Pendiente-Línea-EF} = \frac{7.87 - 7.85}{84.85} = 0.0002$$

La pendiente predominante será igual a 0.002

## 2. Trazado de las curvas a nivel en el campo.

Por la naturaleza misma de esta práctica, la información de retorno debe efectuarse directamente en el campo, una vez se hayan trazado los caballones; allí se discuten aspectos de su forma, de sus distancias vertical y horizontal, y de su misma distribución. Igualmente, se hará una discusión sobre el manejo del agua en el lote.

## Práctica 2.2 Aforo de una corriente de agua

### Objetivo

- ✓ Calcular el caudal de agua que pasa por un canal abierto utilizando un aforador (flotador o correntómetro, o los dos) y medir la sección transversal del canal.

### Recursos necesarios

- Canal abierto o corriente natural con flujo
- Corchos de dos o más pulgadas de largo (10)
- Tornillos de 4 a 5" de largo x 3/16" de diámetro (5)
- Cinta métrica
- Regla mayor de 1.0 m ó mira topográfica
- Molinete o correntómetro
- Formatos para registro de datos. Hoja de trabajo 1
- Calculadoras
- Lápices

### Instrucciones

- El instructor distribuirá los participantes en grupos de cinco personas, y asignará, a lo largo de la corriente que se medirá, secciones de aforo. Cada grupo, situado en su sección, procederá a determinar el área de dos o tres secciones hidráulicas distantes 10 ó 20 metros una de otra según el caso. A continuación, empleando un flotador construido con dos corchos y un tornillo, se procederá a determinar el tiempo empleado por el flotador en recorrer la distancia elegida entre los puntos extremos, donde se tomarán secciones del canal. Se debe repetir esta operación cuatro o cinco veces para obtener el tiempo promedio de recorrido del flotador entre ambas secciones. Usando luego el correntómetro, en cada una de las secciones se determinará la velocidad media del flujo.
- Con los datos registrados, tanto del flotador como del correntómetro, y con las áreas de las secciones, se procederá a hacer los cálculos en los formularios dados, para determinar el caudal correspondiente.

Duración: 1 hora

**INFORMACION DE RETORNO**

Sonda		Molinete			Velocidad		Sección			Gasto parcial	Notas	
Distancia del punto al origen (m)	Profundidad (m)	Profundidad de la observación		Número de revoluciones	Tiempo en seg.	En el punto (m/seg)	En la vertical (m/seg)	Anchura (m)	Profundidad media (m)	Área en (m <sup>2</sup> )	Gasto (m <sup>3</sup> /seg)	
		Método	(m)									

## Práctica 2.2 - Información de retorno

Sonda		Molinete			Velocidad			Sección			Gasto parcial	Notas	
Distancia del punto al origen (m)	Profundidad (m)	Profundidad de la observación		Número de revoluciones	Tiempo en seg.	En el punto (m/seg)	En la vertical (m/seg)	Anchura (m)	Profundidad media (m)	Area en (m <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> /seg)		
		Método	(m)										
<b>1 FLOTADOR</b>													
0.00	0.00	SEC-CION 1	DIS-TANCIA ENTRE SEC-CIONES					0.20	0.050	0.010			
0.20	0.10							0.20	0.185	0.037			
0.40	0.27							0.20	0.245	0.049			
0.60	0.22							0.20	0.195	0.039			
0.80	0.17									$\Sigma = 0.135$		64.8 lps	
0.00	0.00	SEC-CION 2	20 MTS		40.00								
0.20	0.12					42.00			0.20	0.060	0.012		
0.40	0.30					45.00			0.20	0.210	0.042		
0.60	0.24					39.00			0.20	0.270	0.054		
0.75	0.16					41.00			0.15	0.200	0.030		
			D = 20	$\bar{T}$	41.40	0.480	m/seg		$\Sigma = 0.138$		66.2 lps		
									Caudal promedio		65.5 lps		
									Caudal real		52.4 lps		
<b>2 MOLINETE</b>													
						SEC-CION 1	0.387						
							0.384						
							0.386						
							0.388						
							$\bar{X}$	0.386				52.1 lps	
						SEC-CION 2	0.382						
							0.381						
							0.380						
							0.380						
							$\bar{X}$	0.380				52.4 lps	

## Resumen de la Secuencia 2

El éxito de un proyecto de riego depende de una buena planificación, y ésta implica un conocimiento profundo de los elementos que intervienen en el proyecto; depende también de que la programación y ejecución de éste se confíen al personal idóneo.

La elección del método de riego está influida por factores como el tipo de suelo, el cultivo, y la disponibilidad de agua. Estudiados y analizados éstos con criterio profesional se podrá diseñar y ejecutar proyectos apropiados para cada caso particular.

El agua de riego en el cultivo de arroz no sólo es necesaria para la formación de los tejidos de las plantas, sino que afecta directa o indirectamente, el medio en el cual se desarrollan éstas. Esto quiere decir que la disponibilidad de los nutrientes del suelo y el aprovechamiento o pérdida de los mismos están relacionados con el uso del agua de riego en el proceso productivo.

Igualmente, las malezas, las plagas o las enfermedades tendrán mayor o menor incidencia si el sistema de cultivo de arroz es de secano o con riego, respectivamente. El conocimiento de esta situación y su efecto en los componentes del proceso productivo harán que las prácticas de manejo sean oportunas y eficaces. En tales circunstancias se obtendrá probablemente una disminución de los costos de producción y un incremento de los rendimientos.

## Evaluación final de conocimientos

### Orientaciones para el instructor

Al finalizar el estudio de la Unidad de Aprendizaje, el instructor realizará la evaluación final de conocimientos. El propósito de ésta es conocer el grado de aprovechamiento logrado por los participantes, es decir, el grado hasta donde han cumplido los objetivos de la Unidad.

Una vez terminada la prueba, el instructor ofrecerá a los participantes la información de retorno. Hay dos maneras de hacer esta evaluación:

1. El instructor revisa las respuestas de los participantes, les asigna un puntaje y devuelve las pruebas a éstos. Inmediatamente dirige una discusión acerca de las respuestas. Este procedimiento se usa cuando la intención del instructor es hacer una evaluación global.
2. El instructor presenta las respuestas correctas a las preguntas para que cada participante las compare con aquellas que él dio. El participante se calificará y el instructor recoge la información de los puntajes obtenidos por todo el grupo. Enseguida dirige una discusión sobre las respuestas dadas por los participantes, haciendo énfasis en aquellas en que la mayoría de los participantes incurrieron en error. Este procedimiento se utilizará cuando la intención del instructor sea hacer una evaluación formativa.

Tanto de una manera como de la otra, el instructor debe comparar los resultados obtenidos en la exploración inicial con los de la evaluación final; de este modo evaluará el aprovechamiento general logrado por el grupo.

## Evaluación final de conocimientos

### Instrucciones para el participante

Esta evaluación contiene una serie de preguntas relacionadas con diferentes aspectos de la Unidad de Aprendizaje que usted ha terminado. Tiene por objeto conocer hasta dónde se han logrado los objetivos de la Unidad, y estimar el progreso alcanzado por los participantes durante la capacitación.

Nombre: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

Seleccione la respuesta acertada a cada una de las siguientes preguntas:

1. El uso consuntivo es modificado en mayor grado por:
  - a. Temperatura y humedad del aire
  - b. Transpiración y humedad del suelo
  - c. Desarrollo de la planta y transpiración
  - d. Desarrollo de la planta y ambiente
2. Las dos principales características del suelo tenidas en cuenta al seleccionar métodos de riego por superficie son:
  - a. Alto contenido de materia orgánica y topografía plana
  - b. Alta fertilidad y estructura granular
  - c. Pendiente del lote y tipo de cultivo
  - d. Infiltración básica y densidad real
3. La inundación favorece principalmente:
  - a. El rendimiento y la sanidad del cultivo
  - b. La nutrición y el control de malezas
  - c. La nutrición y la sanidad del cultivo
  - d. La altura de las plantas y la productividad

4. El manejo más adecuado del agua para obtener mayor eficiencia en la fertilización nitrogenada es:
  - a. Aplicar el fertilizante con lámina de agua y mantener la inundación
  - b. Aplicar el fertilizante en suelo drenado e inundar después del tercer día
  - c. Aplicar el fertilizante sobre suelo drenado e inundar un día después
  - d. Aplicar el fertilizante sobre lámina de agua y drenar un día después.
5. A lo largo del ciclo de crecimiento del cultivo, la evapotranspiración y el coeficiente  $K_c$  cambian de la siguiente manera:
  - a. La evapotranspiración y el coeficiente  $K_c$  crecen
  - b. La evapotranspiración decrece y el coeficiente  $K_c$  crece
  - c. La evapotranspiración crece y el coeficiente  $K_c$  decrece
  - d. La evapotranspiración y el coeficiente  $K_c$  son bajos al comienzo del ciclo, aumentan en sus etapas intermedias y bajan nuevamente al final de éste.
6. Los tres componentes principales del gasto de agua en el cultivo de arroz son:
  - a. Uso consuntivo, escorrentía y percolación
  - b. Percolación, transpiración y evaporación
  - c. Escorrentía, percolación y agua retenida
  - d. Uso consuntivo, lixiviación y escorrentía
7. Los dos grupos de malezas más afectados por la inundación del arroz son:
  - a. Gramíneas y ciperáceas
  - b. Gramíneas y hoja ancha
  - c. Ciperáceas y hoja ancha
  - d. Monocotiledóneas y dicotiledóneas

8. La enfermedad cuya incidencia aumenta con la inundación es:
- Piricularia
  - Hoja blanca
  - Añublo de la vaina
  - Helminthosporiosis
9. Los tres factores que hacen mayor economía del agua de riego son:
- Suelo apropiado, drenajes y lámina baja
  - Suelo apropiado, adecuación del terreno e inundación permanente con lámina baja
  - Nivelación, riego permanente y lámina baja
  - Adecuación, riego rotacional y lámina baja
10. En un canal trapezoidal de 0.25 m de fondo, una lámina de agua de 0.30 m de altura, con espejo de agua de 0.85 m, se midió la velocidad superficial del agua con un flotador en un tramo de 20 metros. El tiempo que necesitó el flotador para recorrer dicha distancia fue 1 minuto. ¿Cuál es el caudal que fluye en ese momento? Haga el cálculo.
- 100 l/seg
  - 44 l/seg
  - 32 l/seg
  - 55 l/seg

## Evaluación final de conocimientos - Información de retorno

Pregunta	Respuesta
1.	d
2.	c
3.	b
4.	c - d
5.	d
6.	a
7.	a
8.	c
9.	d
10.	b

# **Anexos**

## Anexos

	Página
Anexo 1. Evaluación del evento de capacitación .....	A-5
Anexo 2. Evaluación del desempeño de los instructores .....	A-8
Anexo 3. Evaluación de los instructores .....	A-10
Anexo 4. Vertederos .....	A-14
Anexo 5. Resumen de las fórmulas concernientes a orificios y vertederos .....	A-19
Anexo 6. Ejemplo de registro de aforo con molinete .....	A-20
Anexo 7. Conducto aforador Parshall.....	A-21
Anexo 8. Diapositivas que complementan la Unidad .....	A-24
Anexo 9. Transparencias para uso del instructor .....	A-25

## Anexo 1 Evaluación del evento de capacitación

Nombre del evento: \_\_\_\_\_ Evento N° \_\_\_\_\_

Sede del evento: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

### Instrucciones

Deseamos conocer sus opiniones sobre diversos aspectos del evento que acabamos de realizar, con el fin de mejorarlo en el futuro.

No necesita firmar este formulario; de la sinceridad en sus respuestas depende en gran parte el mejoramiento de esta actividad.

La evaluación incluye dos aspectos:

a) La escala 0, 1, 2, 3 sirve para que usted asigne un valor a cada una de las preguntas .

0= Malo, inadecuado.

1= Regular, deficiente.

2= Bueno, aceptable

3= Muy bien, altamente satisfactorio.

b) Debajo de cada pregunta hay un espacio para comentarios de acuerdo con el puntaje asignado. Refiérase a los aspectos POSITIVOS y NEGATIVOS y deje en blanco los aspectos que no aplican en el caso de este evento.

1.0 Evalúe los objetivos del evento:

1.1 Según hayan correspondido a las necesidades (Institucionales y personales) que usted traía

0 1 2 3

Comentario: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

1.2 De acuerdo con su logro en el evento

0 1 2 3

Comentario: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

2.0 Evalúe los contenidos del curso según ellos hayan llenado los vacíos de conocimiento que usted traía al evento.

0	1	2	3
---	---	---	---

Comentario: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

3.0 Evalúe las estrategias metodológicas empleadas:

3.1 Exposiciones de los instructores

0	1	2	3
---	---	---	---

3.2 Trabajos en grupo

0	1	2	3
---	---	---	---

3.3 Cantidad y calidad de los materiales de enseñanza

0	1	2	3
---	---	---	---

3.4 Sistema de evaluación

0	1	2	3
---	---	---	---

3.5 Prácticas en el aula

0	1	2	3
---	---	---	---

3.6 Prácticas de campo/laboratorio

0	1	2	3
---	---	---	---

3.7 Ayudas didácticas (papelógrafo, proyector, videos etc)

0	1	2	3
---	---	---	---

3.8 Giras/visitas de estudio

0	1	2	3
---	---	---	---

Comentario: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

4.0 Evalúe la aplicabilidad (utilidad) de lo aprendido en su trabajo actual o futuro

0	1	2	3
---	---	---	---

Comentario: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

5.0 Evalúe la coordinación local del evento

5.1 Información a participantes

0	1	2	3
---	---	---	---

5.2 Cumplimiento de horarios

0	1	2	3
---	---	---	---

5.3 Cumplimiento de programa

0	1	2	3
---	---	---	---

5.4 Conducción del grupo

0	1	2	3
---	---	---	---

5.5 Conducción de actividades

0	1	2	3
---	---	---	---

5.6 Apoyo logístico (equipos, materiales papelería)

0	1	2	3
---	---	---	---

Comentario: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

6.0 Evalúe la duración del evento en relación con los objetivos propuestos y el contenido del mismo

0	1	2	3
---	---	---	---

Comentario: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

7.0 Evalúe otras actividades y/o situaciones no académicas que influyeron positiva o negativamente en el nivel de satisfacción que usted tuvo durante el evento

7.1 Alojamiento

7.2 Alimentación

7.3 Sede del evento y sus condiciones logísticas

7.4 Transporte

0	1	2	3
0	1	2	3
0	1	2	3
0	1	2	3

Comentario: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

8.0 Exprese sugerencias precisas para mejorar este evento.

8.1 Académicas (conferencias, materiales, prácticas)

a. \_\_\_\_\_

b. \_\_\_\_\_

c. \_\_\_\_\_

8.2 No académicas (transporte, alimentación, etc)

a. \_\_\_\_\_

b. \_\_\_\_\_

c. \_\_\_\_\_

### ACTIVIDADES FUTURAS

9.0 ¿Durante el desarrollo de este curso los participantes planificaron la aplicación o la transferencia de lo aprendido al regresar a sus puestos de trabajo?

¿En qué forma? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

10.0 ¿Qué actividades realizará usted a corto plazo en su institución para transferir o aplicar lo aprendido en el evento? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

11.0 ¿De qué apoyo (recursos) necesitará para poder ejecutar las actividades de transferencia o de aplicación de lo aprendido? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## Anexo 2 Evaluación del desempeño de los instructores<sup>1</sup>

Fecha \_\_\_\_\_

Nombre del instructor \_\_\_\_\_

Tema(s) desarrollado(s) \_\_\_\_\_

### Instrucciones:

A continuación aparece una serie de descripciones de comportamientos que se consideran deseables en un buen instructor. Por favor, señale sus opiniones sobre el instructor mencionado en este formulario, marcando una "X" frente a cada una de las frases que lo describan.

Marque una **X** en la columna **SI** cuando usted esté seguro de que ese comportamiento estuvo presente en la conducta del instructor.

Marque una **X** en la columna **NO** cuando usted esté seguro de que no se observó ese comportamiento.

Este formulario es anónimo para facilitar su sinceridad al emitir sus opiniones:

### 1. Organización y claridad

El instructor...	SI	NO
1.1 Presentó los objetivos de la actividad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.2 Explicó la metodología para realizar la(s) actividad(es)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.3 Respetó el tiempo previsto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.4 Entregó material escrito sobre su presentación	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.5 Siguió una secuencia clara en su exposición	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.6 Resumió los aspectos fundamentales de su presentación	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.7 Habló con claridad y tono de voz adecuados	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.8 Las ayudas didácticas que utilizó facilitaron la comprensión del tema	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.9 La cantidad de contenido presentado facilitó el aprendizaje	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### 2. Dominio del tema

2.10 Se mostró seguro de conocer la información presentada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.11 Respondió las preguntas de la audiencia con propiedad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

<sup>1</sup> Para la tabulación y elaboración del informe acerca de la evaluación del desempeño de los instructores referirse al Anexo 3 en donde se encuentran las instrucciones

	<b>SI</b>	<b>NO</b>
2.12 Dio referencias bibliográficas actualizadas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.13 Relacionó los aspectos básicos del tema con los aspectos prácticos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.14 Proporcionó ejemplos para ilustrar el tema expuesto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.15 Centró la atención de la audiencia en los contenidos más importantes del tema	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
 <b>3. Habilidades de interacción</b>		
3.16 Estableció comunicación con los participantes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.17 El lenguaje empleado estuvo a la altura de los conocimientos de la audiencia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.18 Inspiró confianza para preguntarle	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.19 Demostró interés en el aprendizaje de la audiencia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.20 Estableció contacto visual con la audiencia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.21 Formuló preguntas a los participantes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.22 Invitó a los participantes para que formularan preguntas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.23 Proporcionó información de retorno inmediata a las respuestas de los participantes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.24 Se mostró interesado en el tema que exponía	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.25 Mantuvo las intervenciones de la audiencia dentro del tema	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
 <b>4. Dirección de la práctica<sup>2</sup> (Campo/Laboratorio/Taller/Aula)</b> La persona encargada de dirigir la práctica...		
4.26 Precisó los objetivos de la práctica	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.27 Seleccionó/acondicionó el sitio adecuado para la práctica	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.28 Organizó a la audiencia de manera que todos pudieran participar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.29 Explicó y/o demostró la manera de realizar la práctica	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.30 Tuvo a su disposición los materiales demostrativos y/o los equipos necesarios	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.31 Entregó a los participantes los materiales y/o equipos necesarios para practicar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.32 Entregó a los participantes un instructivo (guía) para realizar la práctica	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.33 Supervisó atentamente la práctica	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.34 Los participantes tuvieron la oportunidad de practicar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

<sup>2</sup> Se evalúa a la persona a cargo de la dirección de la práctica. Se asume la dirección general de la misma por parte del instructor encargado del tema en referencia.

## Anexo 3 Evaluación de los instructores

### Instrucciones

La evaluación del instructor --en general, dirigida por él mismo-- representa una información de retorno valiosa que le indica cómo ha sido percibido por la audiencia. El formulario que aparece en el Anexo 2 (Evaluación del desempeño de los instructores) contiene un total de 34 ítems que se refieren a cuatro áreas sobre las cuales se basa una buena dirección del aprendizaje. Todo instructor interesado en perfeccionar su desempeño debería aplicar a los capacitandos un formulario como éste. En los cursos que cuentan con muchos instructores, y donde cada uno de ellos tiene una participación limitada, de dos horas o menos, será necesario aplicar -esta vez por parte del coordinador del curso- un formulario más breve. En todos los casos la información recolectada por este medio beneficiará directamente al instructor.

### Tabulación de datos y perfil de desempeño

En la página A-13 se presenta una reproducción de la hoja en que el instructor o el coordinador del curso escribe los datos que se obtienen del formulario de evaluación de instructores mencionado anteriormente (Anexo 2). Para esta explicación vamos a asumir que el formulario se ha aplicado a un total de 10 participantes.

Para tabular los datos se procede de la siguiente manera:

1. Por cada respuesta afirmativa se asigna un punto en la respectiva casilla. Sabiendo que fueron 10 los que contestaron el formulario, esto quiere decir que cada vez que se observen casillas con seis puntos o menos, el instructor podría mejorar en ese aspecto. Siguiendo el ejemplo, si el total de puntos para la primera fila de "Organización y Claridad" es 90 (100%) y un instructor es evaluado con un puntaje de 63 puntos (70%) indicaría que ésta es un área donde puede mejorar.
2. Con base en los datos de la tabulación se tramita el casillero central de la hoja, para establecer el porcentaje obtenido por el instructor en cada área evaluada.

En las casillas de 100% anote el puntaje que se obtendría si todos los participantes respondieran SI en todos los ítems. Para el caso de N = 10 tendríamos:

100%

90
60
100
90

En las casillas Número de Puntos se anota el puntaje "real" obtenido por el instructor en cada área, por ejemplo:

100%	No. puntos
90	45
60	40
100	80
90	60

Finalmente, se establece el porcentaje que el número de puntos representa frente al "puntaje ideal" (100%) y se escribe en las casillas de %.

Cuando n=10

100%	No. puntos	%
90	45	50
60	40	67
100	80	80
90	60	67

3. En la rejilla del lado derecho se puede graficar la información que acabamos de obtener para un instructor determinado. También se puede indicar, con una línea punteada, el promedio de los puntajes de los otros instructores en el mismo evento de capacitación:

Este perfil le indicaría al instructor un mejor desempeño en “habilidades de interacción” y su mayor debilidad en la “organización y claridad”. También le indicaría que en las cuatro áreas evaluadas su puntaje es menor que el promedio del resto de los instructores del mismo evento.

4. El coordinador del curso puede escribir sus comentarios y enviar el informe, con carácter confidencial, a cada instructor. Así, cada uno podrá conocer sus aciertos y las áreas en las cuales necesita realizar un esfuerzo adicional si desea mejorar su desempeño como instructor.

Una buena muestra para evaluar está constituida por 10 participantes. En un grupo grande ( $N = 30$ ) no todos los participantes deben evaluar a cada uno de los instructores. El grupo total puede así evaluar tres de ellos.

# Evaluación de los Instructores\*

## Informe

Nombre del instructor: \_\_\_\_\_ Tema(s): \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_ Desarrollado (s): \_\_\_\_\_

	Nº									100% Puntos			%				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	100%	Puntos	%	1	2	3	4	%
<b>Organización y Claridad</b>																	90
<b>Conocimiento del Tema</b>																	80
<b>Habilidades de Interacción</b>																70	
<b>Dirección de la Práctica</b>																60	
																50	
																40	

Comentarios del Coordinador \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\*Promedio de Instructores se indica con una línea roja

\_\_\_\_\_  
Firma Coordinador Curso

**Vertederos portátiles**

En ocasiones interesa medir corrientes de agua pequeñas en puntos en que los beneficios no compensan el gasto que supone una instalación permanente. Por ejemplo, el aforo esporádico del agua que escurre superficialmente por un campo, aunque sea muy interesante, difícilmente justificará la instalación permanente de un vertedero. En este caso bastará con una simple plancha de acero de forma semicircular, que tenga una escotadura en su arista recta en forma de vertedero. La escotadura puede ser rectangular, trapezoidal o triangular, según el tipo de vertedero que se desee. Mamparas de plástico o armaduras adosadas a los orificios o vertederos dan lugar a excelentes aparatos de medida.

**Vertederos sin contracción final**

El tipo de vertedero sin contracción final consiste simplemente en una pared colocada transversalmente en un canal rectangular y con un borde superior, o cresta, afilado, lo suficientemente alto como para producir una desviación total de la lámina de agua cuando la corriente pasa por encima de él. Las condiciones de exactitud son las mismas que en los vertederos estándar rectangulares con contracción final, excepto en lo referente a las contracciones laterales. Este tipo de vertederos puede utilizarse solamente en canales de sección transversal constante. Deben hacerse orificios de respiradero a través de la caja del vertedero, exactamente por debajo de la lámina de agua que rebosa. En caso de que falte aire a la presión atmosférica, la presión bajo la lámina de agua que cae producirá una succión que arrastrará hacia abajo la superficie del agua y aumentará el gasto.

**Normas generales para la colocación y empleo de vertederos**

- El vertedero debe colocarse en el extremo inferior de un embalse que sea lo suficientemente ancho y profundo como para introducir en el primero una corriente continua y suave, con una velocidad inferior a 0.15 m/seg, que equivale a la de las aguas casi tranquilas.
- El plano de simetría de la caja del vertedero debe ser paralelo a la dirección de la corriente.
- La pared del vertedero ha de ser perpendicular a la dirección de la corriente.

- La cresta del vertedero debe quedar perfectamente horizontal, de manera que la lámina de agua tenga el mismo espesor en toda su anchura, y toque la cresta en una sola línea de puntos.
- El borde aguas arriba debe ser afilado para que el agua que cae lo toque en un solo punto.
- La distancia de la cresta al fondo del embalse debe ser inferior al triple del espesor de la lámina de agua que rebosa sobre ella.
- La distancia desde las paredes del embalse de remanso a los extremos de la cresta deberá ser superior a dos veces el espesor de la lámina de agua.
- Para hacer aforos exactos se procura que el espesor de la lámina de agua sobre la cresta no sea superior a un tercio de la longitud de ésta.
- La profundidad del agua sobre la cresta no debe ser inferior a 5 cm; si fuera menor, resultaría muy difícil obtener resultados precisos con el limnómetro.
- La cresta debe estar a una altura tal que el agua caiga libremente y deje un espacio de aire por detrás de la lámina de agua rebosante, es decir, entre ésta y la pared. Si el agua más abajo del vertedero sube de nivel hasta superar la altura de la cresta, es imposible que haya caída libre del agua, y entonces se dice que el vertedero está sumergido. A menos que se hagan complicadas correcciones, los aforos con vertederos sumergidos no son dignos de confianza.
- El limnómetro o reglita debe colocarse en la cara de aguas arriba de la estructura del vertedero, a suficiente distancia hacia un lado de la corriente para que se encuentre en aguas tranquilas; o también en cualquier punto de la presa del vertedero o de la caja, con tal de que no le afecte la curvatura que forma la superficie del agua antes de alcanzar la cresta. El cero de la regla del vertedero y el de la reglita deben enrasarse con la cresta del vertedero; para hacerlo puede emplearse o bien un nivel de carpintero o un nivel de topografía para las bajas presiones.
- Para evitar arrastres del suelo y erosión de la acequia aguas abajo del vertedero por el agua del salto, se deberán proteger sus paredes con piedras u otros materiales.

## **Ventajas e inconvenientes de los vertederos**

Las ventajas de los vertederos como aforadores de agua son las siguientes: dan resultados exactos, su construcción es sencilla, no se obstruyen con mohos ni cuerpos flotantes y duran mucho tiempo.

Sus inconvenientes son: necesitan saltos grandes de agua, con considerable pérdida de altura, que hacen su empleo impracticable en terrenos nivelados; y acumulan grava, arena y limos aguas arriba del vertedero, lo que resta exactitud a las mediciones.

## **Orificios anegados**

La ventaja principal de los orificios anegados es la pérdida relativamente pequeña de altura, que hace aconsejable su empleo en canales y acequias de pendiente muy suave, en los que es difícil lograr saltos con la altura suficiente para instalar un vertedero. Además, estos orificios tienen casi todas las ventajas que poseen los vertederos.

Dos son sus inconvenientes más importantes: la acumulación de residuos flotantes; y la sedimentación, aguas arriba de la pared, de arena y lodo, que resta exactitud a los cálculos.

## **Cajas de vertederos y remansos**

Para poder emplear cada uno de los vertederos descritos más arriba, el canal o la acequia deben ensancharse y profundizarse un poco desde algunos metros aguas arriba del vertedero, con el fin de que el agua llegue a éste lentamente (en general, a una velocidad inferior a 0,15 m/seg); ésta corresponde al flujo a lo largo de un canal relativamente ancho. La porción ensanchada debe empalmar suavemente con el resto del canal, que es de menor sección. Deben evitarse las corrientes transversales inmediatas al vertedero y antes de él, aguas arriba, lo cual se logra colocando tabiques transversales al tablero. El vertedero puede emplazarse en un cajón de madera o de hormigón, como se indica en la Figura A.1, que puede colocarse en un ensanchamiento del cauce.

Cuando se utiliza un cajón el espacio preciso es menor, pero su limpieza es más difícil. Para mediciones temporales, el método más económico consiste en colocar un vertedero en un canal abierto.

La limpieza es más económica en los cauces abiertos, donde es posible emplear dragas. Los cauces deben protegerse, aguas abajo del vertedero, con piedras u otros materiales que eviten arrastres de suelo y socavones producidos por el agua que cae.

En los vertederos temporales hechos de madera, tanto el borde de la cresta como los bordes de sus aristas laterales pueden ser de madera.

En los permanentes, en cambio, rara vez puede emplearse la madera por la facilidad con que se alabea y por la rapidez con que sus bordes afilados se redondean y desgastan.

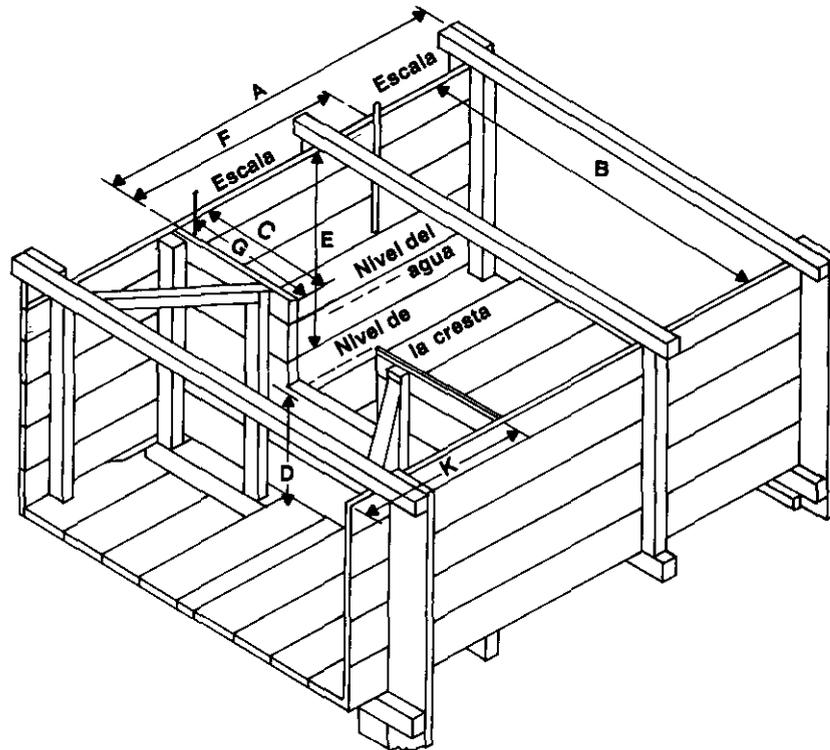


Figura A.1. La perspectiva acotada de una caja de vertedero (U.S.D.A. Farmers' Bul. 813, citado por Trueba, 1971).

### Medida de la altura de la lámina de agua en la cresta del vertedero

La medida de la altura de la lámina de agua en la cresta del vertedero se obtiene con una escala especialmente construida o con una simple regla (graduada) de carpintero. La regla debe colocarse aguas arriba de la presa y a una distancia de ella no inferior a cuatro veces la profundidad del agua en el punto en que se desborda la cresta, o también aguas arriba, en la esquina, cerca de la orilla, donde la velocidad es prácticamente cero. Debe colocarse así a causa de la curvatura de la superficie del agua en las proximidades de la cresta.

Dan buen resultado las escalas construidas de madera dura y graduadas en metros, centímetros y milímetros. El cero de estas escalas debe estar exactamente a nivel con la cresta de los vertederos rectangulares y trapezoidales o con el vértice de los triangulares. Si se emplea un embalse de anchura suficiente, la escala --o el estribo sobre el que va colocada la

reglita-- puede fijarse a la misma presa a una distancia del borde de la escotadura del vertedero no inferior a 2 H. Para nivelar el cero de la escala, o la parte superior del estribo, con la cresta, puede emplearse un nivel corriente de albañil ya que no es exacto el método de colocar la escala a nivel; se deja ascender el agua en el remanso hasta que comience a rebosar y se enrasa a cero en ese momento, en el cual la superficie del agua queda apreciablemente por encima de la cresta, antes de que comience a verterse. Los pequeños errores en la lectura de h, pueden conducir a otros más graves en el cálculo del gasto.

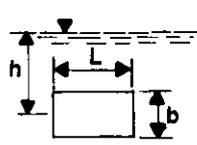
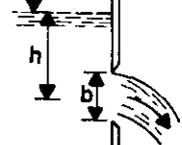
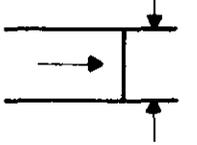
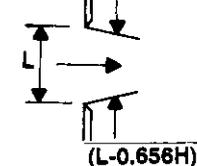
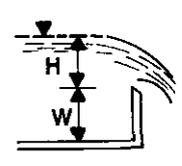
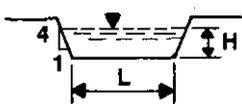
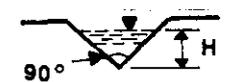
## **Limnómetros**

Los limnómetros deslizantes se emplean frecuentemente porque se consideran el método más exacto para determinar la profundidad (o nivel) del agua. Constan de dos partes: una varilla graduada móvil que lleva fijo un gancho para manejarla, y una parte fija con un trazo indicador; además tiene un nonio. La varilla móvil se eleva hasta que su extremo enrase con la superficie del agua, y su altura se lee frente al trazo marcado en la parte fija. Es preferible que la punta de la varilla esté algo roma a que esté muy afilada.

Para obtener un gráfico continuo de las alturas de la reglita, se emplean reglitas registradoras llamadas también limnógrafos. Las partes esenciales de estos instrumentos son: un flotador o instrumento indicador de la presión, un mecanismo trazador, y un reloj. En el mercado existen diversos tipos de limnógrafos.

Para obtener gran exactitud en la medida de la altura del agua, se emplean dispositivos aisladores del oleaje que consisten en una caja, o en un trozo de tubo, colocada verticalmente a un lado del canal, con el que se comunica por su parte inferior. Estos instrumentos sirven para eliminar el efecto de las olas y proporcionar así una superficie de agua tranquila. Para que estos dispositivos funcionen correctamente, la sección transversal de la caja o del tubo eliminador de oleaje debe ser 100 veces mayor que la del orificio o tubo por el que se comunica con el canal; hay que procurar además, que no se obture dicho tubo u orificio de comunicación por acumulación de la suciedad, ideando algún sistema eficaz de limpieza de todo el aparato. Cuando la corriente de agua tiene alta velocidad, se debe evitar el uso de dispositivos de este tipo que resalten del suelo.

## Anexo 5 Resumen de las fórmulas concernientes a orificios y vertederos

Medidor (con arista viva)	Vista		Fórmula
Orificio	 Vista frontal	 Vista lateral	$Q = 0.61 \times A \sqrt{2gh}$ $A = L \times b$
Vertedero rectangular (sin contracción)	 Vista desde lo alto		$Q = 1.84 LH$
Vertedero rectangular (con contracción)	 Vista desde lo alto $(L - 0.656H)$	 Vista lateral	$Q = 1.84 (L - 0.656 H) H$
Vertedero trapezoidal	 Vista frontal aguas abajo		$Q = 1.85 LH$
Vertedero rectangular de 90°	 Vista aguas abajo		$Q = 1.38 H$

## Anexo 6 Ejemplo de registro de aforo con molinete

Sonda		Molinete				Velocidad		Sección			Gasto parcial	N o t a s	
Distancia del punto al origen (m)	Profundidad (m)	Profundidad de la observación		No. de revoluciones	Tiempo (seg)	En el punto (m/seg)	En la vertical (m/seg.)	Anchura (m)	Profundidad media (m)	Area (m <sup>2</sup> )	Gasto (m <sup>3</sup> /seg)		
		Método	(m)										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
0.30	0.12	orilla agua margen derecha											
0.65	0.43	2/10	0.09	.10	67	0.109							
		8/10	0.34	5	50	0.077	0.093	0.70	0.407	0.285	0.027		
1.00	0.67												
1.40	0.80	(Sup 85%)	Sup	35	60	0.398	0.338	0.80	0.807	0.646	0.218		
1.80	0.95												
2.20	1.08	6/10	0.65	20	40	0.339	0.339	0.80	1.063	0.850	0.288		
2.60	1.16												
3.00	1.15	Sup.		25	48	0.360							
			0.25	30	53	0.387							
			0.45	25	46	0.376							
			0.65	25	51	0.340	0.332	0.80	1.15	0.920	0.305		
			0.85	20	47	0.294							
			1.05	20	59	0.234							
3.40	1.14												
3.80	0.93	6/10	0.56	15	42	0.251	0.251	0.80	0.817	0.654	0.164		
4.20	0.38												
4.45	0.65	6/10	0.39	10	44	0.160	0.160	0.50	0.417	0.203	0.032		
4.70	0.22	orilla agua margen izquierda											
										3.558	1.034		

## Anexo 7 Conducto aforador Parshall

El medidor Parshall ha tenido una gran aceptación como estructura de aforo debido a las grandes ventajas que ofrece, entre las cuales podemos enumerar las siguientes:

1. El diseño de la estructura es simple; por lo tanto, su construcción resulta barata especialmente si se lo sitúa en canales que deben estar provistos de revestimiento de cemento, o si se combina con otras estructuras como las caídas, los sifones u otra clase de cruces.
2. La estructura trabaja eficientemente aunque haya gran variación en el gasto, tanto en los gastos pequeños como en los grandes. Su determinación se hace con bastante exactitud utilizando las fórmulas empíricas que Parshall obtuvo después de efectuar numerosos experimentos. Estas fórmulas se aplican con amplitud a las condiciones de trabajo de la estructura, y con ellas se puede calcular el gasto con bastante precisión; así, cuando el medidor trabaja ahogado, el error no pasa de 5%, y cuando trabaja con descarga libre, el error es menor del 3%.
3. El problema del azolve aguas arriba de la estructura, y en la estructura misma, desaparece ya que el aumento de la velocidad la mantiene a ésta libre de obstrucciones conservando siempre su misma precisión.
4. La velocidad de llegada no tiene prácticamente influencia en la determinación del gasto, y por tanto se puede prescindir de las cámaras de reposo.
5. La pérdida de carga es muy pequeña en comparación con las que ocurren en otras estructuras de aforo.

El medidor Parshall está constituido por tres partes fundamentales, que son: la entrada, la garganta y la salida. La primera está formada por dos paredes verticales, simétricas y convergentes, y por un fondo o plantilla horizontal; la garganta está formada por dos paredes también verticales pero paralelas, y el fondo está inclinado hacia abajo con una pendiente de 2.67:1; la salida consta de dos paredes verticales divergentes y su fondo está ligeramente inclinado hacia arriba. Hay que hacer notar que tanto las paredes como el fondo son planos, y que la arista formada por la unión del fondo de la entrada y del de la garganta se llama cresta del medidor;

la longitud de ésta, o sea, la distancia entre las paredes de la garganta, se llama tamaño del medidor y se designa con la letra W.

En la Figura A.2 se muestra un medidor donde se indican sus dimensiones conservando prácticamente la misma notación usada por Parshall.

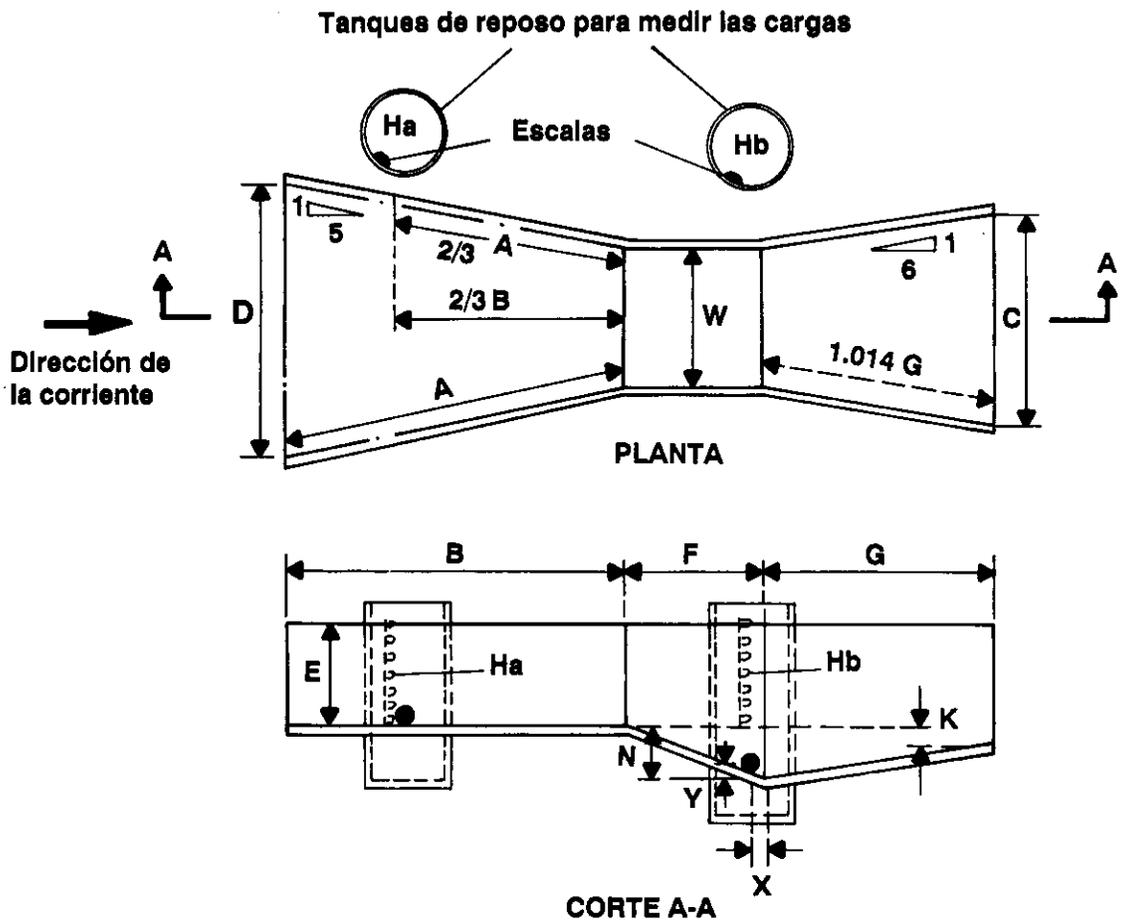


Figura A.2. Dimensiones del aforador o medidor Parshall. CM = cresta del medidor.

Tiene la estructura dos pozos amortiguadores que sirven para medir con precisión las cargas  $H_a$  y  $H_b$  antes y después de la cresta. Están colocados a los lados de la estructura y se comunican con ella por tubos que se conectan a puntos bien definidos de la entrada y de la garganta. En estas cámaras se alojan los flotadores de los limnógrafos (si se dota a la estructura de estos aparatos) y su caseta de albergue. Conviene aclarar que las cargas  $H_a$  y  $H_b$  se miden a partir de la cota de la cresta y, por lo tanto, el cero de las escalas está al nivel del piso de la entrada. Estas escalas se pueden colocar o dibujar directamente sobre las paredes de la estructura cuando son escalas pequeñas (de unos 0.15 m) y se desea suprimir las cámaras de reposo. Este tipo de medidor es portátil, y se puede construir de lámina de acero y hierro estructural.

## **Anexo 8 Diapositivas que complementan la Unidad**

### **SECUENCIA 1**

- 1.1 Muestreo para determinar la densidad aparente
- 1.2 Medida de la infiltración con anillos infiltrómetros
- 1.3 Evapotranspirómetro de Thornthwaite
- 1.4 Canal sin revestir
- 1.5 Canal revestido
- 1.6 Lote de arroz con lámina de inundación

### **SECUENCIA 2**

- 2.1 Riego por surcos empleando sifones
- 2.2 Riego por aspersión (pivote)
- 2.3 Riego por aspersión (convencional)
- 2.4 Microaspersor
- 2.5 Riego por goteo
- 2.6 Riego por melgas
- 2.7 Melgas en curvas a nivel
- 2.8 Melgas rectangulares
- 2.9 Inundación permanente con lámina de agua
- 2.10 Riego rotacional
- 2.11 Determinación de la sección hidráulica de un canal
- 2.12 Aforo con molinete

## **Anexo 9 Transparencias para uso del instructor**

1. Flujograma para el estudio de la Unidad
2. Objetivo terminal
3. Exploración inicial de conocimientos - Información de retorno

### **SECUENCIA 1**

- 1.1 Flujograma de la Secuencia 1
- 1.2 Parámetros hidrodinámicos usados en riego
- 1.3 Clasificación de texturas
- 1.4 Agua disponible para diferentes tipos de suelo
- 1.5 Curvas de infiltración de varios suelos
- 1.6 Papel de probabilidad normal
- 1.7 Evapotranspirómetro de Thornthwaite (modificado)
- 1.8 Requerimientos de evapotranspiración real (mm/día) y coeficiente Kc para el cultivo de arroz
- 1.9 Diagrama del balance del agua en una parcela de arroz
- 1.10 Distribución de los componentes del consumo de agua en arroz
- 1.11 Precipitación y evapotranspiración potencial en la Estación San Pablo
- 1.12 Balance hídrico por décadas
- 1.13 Cálculo de la lámina de riego
- 1.14 Manejo del agua y épocas de embalse en el arroz
- 1.15 Manejo de la inundación en arroz

## **SECUENCIA 2**

- 2.1 Flujograma de la Secuencia 2
- 2.2 Métodos de riego
- 2.3 Determinación de las pendientes de un lote
- 2.4 Efectos de la altura del agua y del drenaje (7 días) en la producción de arroz (siembra directa)
- 2.5 Efecto de la lámina de agua (rotacional) en el rendimiento del arroz y en el volumen de agua aplicado
- 2.6 Efecto de la lámina de inundación, de la renovación de lámina, y de los períodos de drenaje en el rendimiento de arroz (*Oryzica -1*) en Nataima- Espinal, Tolima
- 2.7 Efecto del anegamiento retardado en la respuesta al nitrógeno 100 kg/ha
- 2.8 Efectos del agua en la nutrición de las plantas
- 2.9 Efecto de la profundidad de la lámina de agua en la población de malezas
- 2.10 Efecto del agua en los insectos plaga
- 2.11 Efecto de diferentes láminas de inundación en el añublo de la vaina en el cultivo de arroz. Saldaña 1991B
- 2.12 Evaluación final de conocimientos - información de retorno