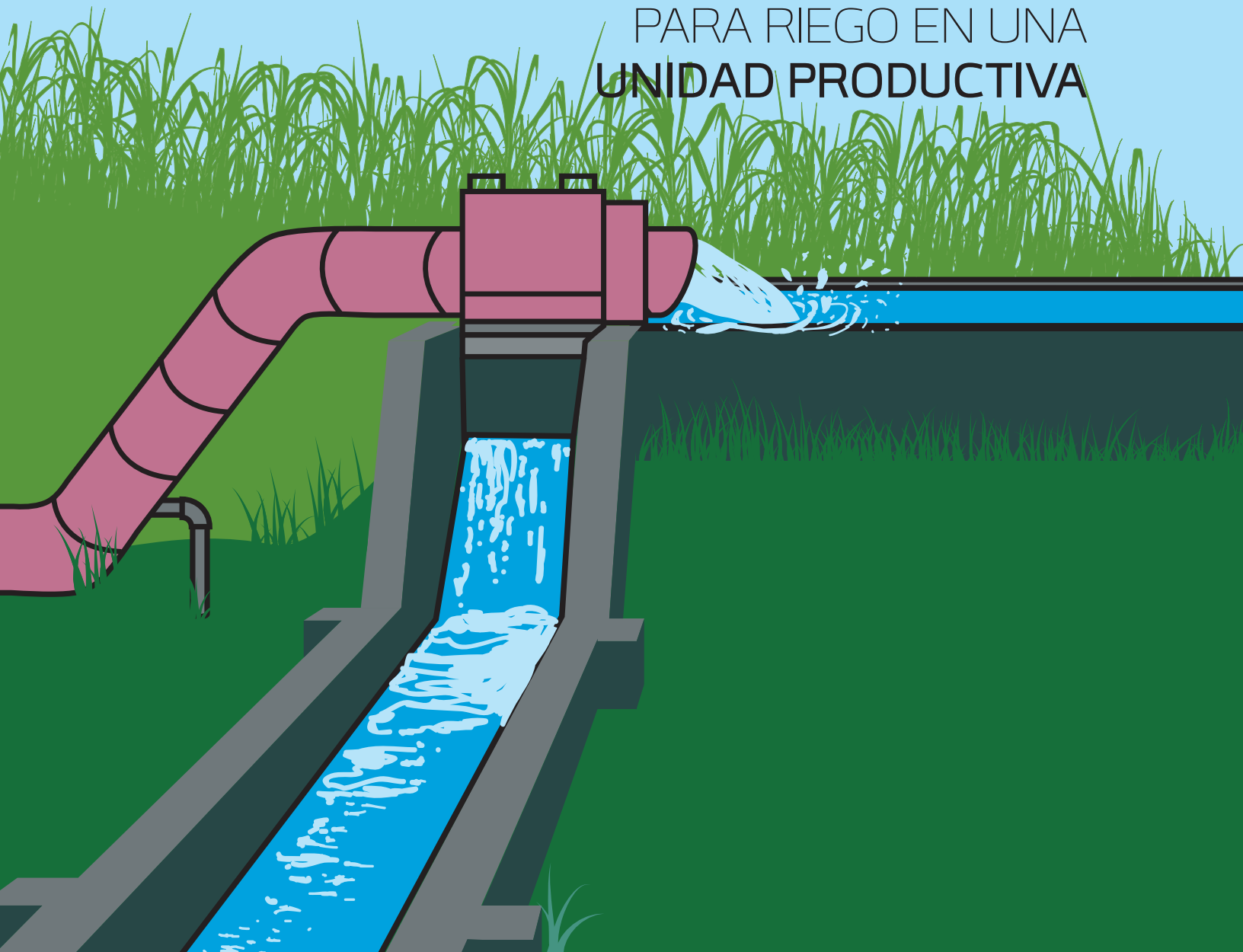


BALANCE HIDROLÓGICO
DE OFERTA Y DEMANDA

DE AGUA

PARA RIEGO EN UNA
UNIDAD PRODUCTIVA



EL AUTOR

**José Ricardo
Cruz Valderrama**

Ingeniero agrícola con Maestría en Ciencia del Suelo y Manejo de Aguas, investigador del Programa de Agronomía de Cenicaña en el área de Suelos y Aguas. Obtuvo el título de ingeniero agrícola en 1976, en el programa dirigido por la Universidad del Valle y la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, y de inmediato se vinculó a la firma de consultores Guido Castañeda como auxiliar de diseño de obras hidráulicas. Entre 1977 y 1979 trabajó en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) como asistente de la Superintendencia de Campo con funciones en adecuación, mecanización, riego, drenaje y manejo de cultivos. En 1979 inició su labor docente en la Universidad Nacional, sede Palmira, donde fue profesor titular del área de Suelos y Aguas.

En 1983 obtuvo una beca del gobierno de los Países Bajos para realizar estudios de Maestría en Ciencia del Suelo y Manejo de Aguas en la Universidad Agrícola de Holanda, en Wageningen, y en 1985 recibió el grado de Maestro en Ciencias (M.Sc.). El mismo año regresó a la Universidad Nacional como profesor del programa de Maestría en Suelos y Aguas. En 1988 se vinculó al Ingenio Central Castilla, donde fue jefe del Departamento de Ingeniería Agrícola y dirigió las áreas de adecuación de tierras, manejo de recursos hídricos, diseño y construcción de obras hidráulicas y vías. En 1992 se integró a Cenicaña como ingeniero de suelos y aguas, con labores de investigación y transferencia en el Programa de Agronomía.

CAPÍTULO 3

Balance hidrológico de oferta y demanda de agua para riego en una unidad productiva

Tomado del libro MANEJO EFICIENTE DEL RIEGO EN EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN EL VALLE GEOGRÁFICO DEL RÍO CAUCA.

Advertencia: la mención de productos comerciales en las publicaciones de Cenicaña tiene solamente el propósito de ilustrar a los lectores acerca de las pruebas realizadas y, en ningún caso, compromete al Centro de Investigación con los fabricantes o distribuidores, quienes no están autorizados para usar los resultados con fines promocionales ni publicitarios.

Cita bibliográfica:

Cruz Valderrama, J.R. 2015. Balance hidrológico de oferta y demanda de agua para riego en una unidad productiva. En: Manejo eficiente del riego en el cultivo de la caña de azúcar en el valle geográfico del río Cauca. Cenicaña. Cali, Colombia. p. 60-81.

CONTENIDO

Introducción.....	63
Oferta de agua para riego en una unidad productiva	64
Caudal disponible por unidad de área.....	64
Caudal de manejo por operario de riego (Q_{mr})	65
Número de operarios de riego necesarios por predio (N_r).....	65
Área regada por día y por operario (A_{rd})	66
Caudal real captado en un cauce superficial.....	66
Caudal real captado en un pozo profundo	67
Caudal equivalente suministrado por una fuente de agua con embalse	67
Cauce superficial más embalse de regulación semanal.....	67
Cauce superficial más embalse de regulación en época lluviosa	69
Pozo profundo más reservorio.....	71
Demanda de agua para riego en una unidad productiva	73
Requerimiento de riego.....	73
Precipitación efectiva	73
Cálculo del balance hidrológico de oferta y demanda de agua	80



INTRODUCCIÓN

El balance hidrológico para una finca o unidad productiva de caña de azúcar se define como la diferencia entre la oferta de agua en el predio y el requerimiento de riego en la fuente, que tiene en cuenta las eficiencias del sistema de riego.

El cálculo del balance de oferta y demanda de agua es útil en el mejoramiento de la gestión de riego y básico para la planeación de esta en una finca, además de ser el soporte técnico ante la autoridad ambiental para una solicitud de concesión de agua superficial o un permiso para construir un pozo profundo. Este balance permite conocer si son necesarias determinadas obras de desarrollo como, por ejemplo, embalses de regulación, pozos profundos o un sistema de uso de excedentes de agua, entre otras.

La planeación de riego para una unidad productiva consiste en identificar y recolectar información sobre los factores físicos y socioeconómicos relevantes que la afectan, seguido por la formulación y evaluación de alternativas para tomar decisiones acerca del sistema de riego que requiere (Solomon *et al.*, 2007).

Dado que en el capítulo 2 de este libro se demostró que la demanda de agua equivale al requerimiento de riego en la fuente, en este nuevo capítulo se presentarán los conceptos y las metodologías para el cálculo de cada uno de los factores involucrados en la oferta y la demanda de agua para riego, con ejemplos que facilitan su aplicación por parte de los productores en sus empresas.



OFERTA DE AGUA PARA RIEGO EN UNA UNIDAD PRODUCTIVA



Para planificar el riego en una unidad productiva, debe determinarse la provisión de agua en términos de un caudal seguro, confiable y permanente en el tiempo, en especial durante las épocas relativamente secas. Si en estas temporadas, la disponibilidad de agua en las fuentes no llena los requerimientos de riego, es necesario estimar los caudales durante la época relativamente lluviosa para calcular técnica y económicamente la factibilidad de almacenar los excedentes de estas aguas y utilizarlas en los períodos de riego. La planificación de los sistemas de abastecimiento y aplicación de agua se debe hacer teniendo en cuenta la reglamentación de la autoridad ambiental en la jurisdicción respectiva, por ejemplo, la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), en el caso del departamento del Valle del Cauca.

CAUDAL DISPONIBLE POR UNIDAD DE ÁREA

El caudal disponible por unidad de área en una fuente de agua para riego (Q_d en l/s por ha) se calcula como la relación entre el caudal real captado en la fuente (Q_{fd} en l/s) durante la jornada de riego diaria y el área a regar (A_r en ha), de la siguiente forma:

$$Q_d = \frac{Q_{fd}}{A_r}$$

En los predios que no cuentan con un embalse o reservorio para almacenar agua, el caudal real captado en la fuente durante la jornada diaria de riego (Q_{fd}) corresponde a una fracción del caudal asignado mediante una concesión de agua superficial o subterránea, teniendo en cuenta que, durante las épocas secas, los caudales disponibles disminuyen.

EJEMPLO

Caudal disponible en una unidad productiva

En una finca de 50 ha, la Corporación Autónoma Regional autorizó una concesión de agua superficial de 50 l/s sobre la cual se quiere conocer el caudal disponible para riego por unidad de área (Q_d en l/s por ha). Para el cálculo, se determina el caudal real captado en la fuente (Q_{fd}) durante la jornada de riego diaria, que corresponde a una fracción del caudal asignado. En la zona azucarera de Colombia, se estima que esta fracción es de 0.6, la cual se multiplica por el caudal asignado y el resultado equivale al caudal real captado durante la jornada de riego; por tanto, el caudal real captado durante el día en la fuente es:

$$Q_{fd} = F_d * Q_t$$

Donde:

- F_d : fracción del caudal asignado = 0.6
- Q_t : asignación total = 50 l/s
- Q_{fd} : $0.6 * 50 \text{ l/s} = 30 \text{ l/s}$

El caudal disponible para riego por unidad de área sería:

$$Q_d = \left(\frac{30 \text{ l/s}}{50 \text{ ha}} \right) = \frac{0.6 \text{ l/s}}{\text{ha}}$$

Si existe un embalse para almacenar agua durante los períodos que no se aplica riego, por ejemplo, en horas nocturnas, fines de semana o en época de lluvias, el caudal disponible para riego es igual al caudal equivalente de salida diurno para el sistema fuente, el cual se puede determinar sumando el caudal real captado en la fuente más el caudal suministrado por el embalse, que es calculado como se explica más adelante.

CAUDAL DE MANEJO POR OPERARIO DE RIEGO (Q_{mr})

Se estima que un operario de riego por gravedad, en la zona azucarera de Colombia, puede manejar un caudal entre 60 l/s y 100 l/s, cuando se tiene un canal abierto construido sobre suelo limpio en la cabecera de cada campo (acequia regadora). Si se emplea tubería de PVC o politubular con compuertas, en reemplazo de la acequia regadora, el mismo operario puede manejar entre 80 l/s y 120 l/s.

NÚMERO DE OPERARIOS DE RIEGO NECESARIOS POR PREDIO (N_r)

El número de operarios que se requiere para riego en un predio (N_r), de acuerdo con la cantidad de agua disponible, se calcula como la relación entre el caudal captado en la fuente (Q_{fd}) y el caudal de manejo por operario de riego, de la siguiente forma:

$$N_r = \frac{Q_{fd}}{Q_{mr}}$$

En el caso de una unidad productiva, donde el caudal entregado en la fuente (Q_{fd}) es de 140 l/s, y el caudal de manejo por operario es de 70 l/s, se obtiene el número de operarios de riego requeridos:

$$N_r = \frac{140 \text{ l/s}}{70 \text{ l/s}} = 2 \text{ operarios de riego}$$

ÁREA REGADA POR DÍA Y POR OPERARIO (A_{rd})

Se estima que en la zona azucarera de Colombia, un operario de riego por surcos convencional, en una jornada laboral de 8 h, puede regar entre 1.2 ha y 2 ha (A_{op}). Cuando la jornada es de 10 h, este valor se debe multiplicar por 10/8 y si es de 12 h, por 12/8. En consecuencia, el área que puede regar un operario en un sistema por surcos en una jornada de 10 h corresponde a un rango entre 1.5 ha y 2.5 ha, según el cálculo:

- $1.2 \text{ ha} * (10/8) = 1.5 \text{ ha}$
- $2 \text{ ha} * (10/8) = 2.5 \text{ ha}$

De la misma manera, el área que puede regar en una jornada de 12 h varía entre 1.8 ha y 3 ha:

- $1.2 \text{ ha} * (12/8) = 1.8 \text{ ha}$
- $2.0 \text{ ha} * (12/8) = 3 \text{ ha}$

El área que se puede regar por día mediante el método de riego por surcos (A_{rd}) se calcula como:

$$A_{rd} = N_r * A_{op}$$

Donde:

- N_r : número de operarios necesarios para riego.
- A_{op} : área que puede regar por día un operario en sistema por surco.

EJEMPLO

Área regada por día

El número de operarios de riego en una finca es de dos, y se quiere conocer el área que pueden regar por día (A_{rd}) con el sistema de surco, considerando una jornada diaria de riego de 12 h y un área de riego por operario de 2.4 ha/d. La operación sería:

$$A_{rd} = N_r * A_{op} = \underset{\text{de riego}}{2 \text{ operarios}} * 2.4 \text{ ha/d} = 4.8 \text{ ha/d}$$

CAUDAL REAL CAPTADO EN UN CAUCE SUPERFICIAL

El caudal real captado en un cauce superficial en horas diurnas (6:00 a.m. a 6:00 p.m.), nocturnas (6:00 p.m. a 6:00 a.m.) y los fines de semana, se debe medir, en lo posible, en la fuente, ya que al comienzo de las épocas de baja precipitación, generalmente, se capta el 100% del agua asignada, pero cuando el período seco se prolonga, por ejemplo, cuando ocurre el fenómeno de El Niño, la cantidad real que se capta es menor que el caudal asignado.

No obstante, en la mayoría de las fuentes de agua superficial no se hacen estas mediciones, por lo que el caudal asignado debe ser ajustado por un factor de ajuste (F), dependiendo de la hora o el día de la captación:

- Diurno (F_d), entre 0.6 y 0.8
- Nocturno (F_n), entre 0.7 y 0.9
- Fin de semana (F_{fs}), entre 0.8 y 0.95.

En el caso del valle geográfico del río Cauca, los datos a tener en cuenta son los siguientes:

- Para el caudal real captado diurno en la fuente:

$$Q_{fd} \text{ (l/s)} = F_d * Q_t$$

Con un F_d de 0.6 y una Q_t o asignación total en l/s.

- Para el caudal real captado nocturno en la fuente:

$$Q_{fn} \text{ (l/s)} = F_n * Q_t$$

Con un F_n de 0.7.

- Para el caudal real captado en la fuente durante el fin de semana:

$$Q_{fs} \text{ (l/s)} = F_{fs} * Q_t$$

Con un F_{fs} de 0.8.

EJEMPLO

Cómo estimar el caudal real de una fuente

La autoridad ambiental ha asignado un caudal de 100 l/s de agua de un cauce superficial a un predio, pero no se cuenta con aforos en dicha fuente. Así pues, se quieren estimar los caudales reales que se pueden captar durante el día, la noche y los fines de semana. Aplicando las relaciones anteriores, se tiene:

- Diurno (Q_{fd}):

$$Q_{fd} = F_d * Q_t = 0.6 * 100 \text{ l/s} = 60 \text{ l/s}$$

- Nocturno (Q_{fn}):

$$Q_{fn} = F_n * Q_t = 0.7 * 100 \text{ l/s} = 70 \text{ l/s}$$

- Durante el fin de semana (Q_{fs}):

$$Q_{fs} = F_{fs} * Q_t = 0.8 * 100 \text{ l/s} = 80 \text{ l/s}$$

CAUDAL REAL CAPTADO EN UN POZO PROFUNDO

Para conocer la cantidad de agua que se extrae de un pozo profundo, existen diferentes métodos y equipos de aforo, los cuales se detallan en el Capítulo 4 de este libro. Para determinar los caudales reales de un pozo profundo, los aforos deben ser realizados durante las jornadas diurna y de fin de semana, y no partir del caudal teórico del pozo, ya que este caudal puede disminuir por la interferencia entre niveles de bombeo, debido a la cercanía de otros pozos en la zona, la reducción en la recarga de agua subterránea durante la época seca, o por fallas o deterioro del pozo.

En el valle geográfico del río Cauca, la autoridad ambiental exige que todos los pozos tengan instalado un aforador funcionando en buen estado. En los casos excepcionales donde no se cuente con estas mediciones, al caudal teórico del pozo (Q_t) se le deben aplicar unos factores de ajuste (F) sugeridos, según sea durante el día, la noche o el fin de semana.



Estructura de división de agua.

En general, para nuestra región, los valores de los factores de ajuste que se han encontrado, en relación con la captación de agua subterránea mediante pozo profundo, son los siguientes:

- Diurno (F_d) = 0.8
- Nocturno (F_n) = 0.9
- Fin de semana (F_{fs}) = 0.9

Con base en el caudal teórico del pozo (Q_t en l/s), los caudales reales de pozos profundos se pueden calcular así:

- Diurno (Q_{fd} en l/s) = $F_d * Q_t$
- Nocturno (Q_{fn} en l/s) = $F_n * Q_t$
- Fin de semana (Q_{fs} en l/s) = $F_{fs} * Q_t$

CAUDAL EQUIVALENTE SUMINISTRADO POR UNA FUENTE DE AGUA CON EMBALSE

En los predios donde la fuente está compuesta por un cauce superficial o un pozo profundo más un embalse, el procedimiento para determinar el caudal equivalente suministrado por el sistema fuente durante las horas de operación del riego (12 h/d en nuestro medio) se describe a continuación.

Cauce superficial más embalse de regulación semanal

El embalse de regulación semanal es aquel que se llena durante el fin de semana, aprovechando la suspensión de la operación de riego, es decir, el caudal disponible en la fuente se conduce hacia un reservorio para ser utilizado en el riego durante la semana.

PROCEDIMIENTO PARA CALCULAR EL CAUDAL DE UN EMBALSE DE REGULACIÓN SEMANAL

En este caso, el caudal equivalente diurno suministrado en el sistema fuente se calcula de la siguiente forma:

1. Se mide el caudal real captado en la fuente entre semana tanto en el día como en la noche y durante el fin de semana. Los datos obtenidos se tabulan así:

- Diurno: (Q_{fd} en l/s)
- Nocturno: (Q_{fn} en l/s)
- Fines de semana: (Q_{fs} en l/s)

2. Se contabiliza el número de horas diarias de almacenamiento de agua en el embalse entre semana (por ejemplo, de lunes a viernes, de 6:00 p.m. a 6:00 a.m. cada día) y durante el fin de semana (de 6:00 p.m. del sábado a 6:00 a.m. del lunes), así como el número de horas diurnas de uso del sistema fuente. Esta información se puede registrar de la siguiente manera:

- Diario entre semana (T_{aes} en horas).
- Durante el fin de semana (T_{afs} en horas).

- Uso diario del embalse para riego (T_{ud} en horas).
- Total de uso del embalse por semana (T_{us} en horas).

3. El caudal total que puede entregar el sistema cauce-embalse (Q_{et}) se fracciona en tres caudales, así:

- Diurno (Q_{ed}):

$$(Q_{ed} \text{ en l/s}) = Q_{fd}$$

- Nocturno (Q_{en}):

$$Q_{en} = Q_{fn} * (T_{aes}/T_{ud})$$

- Fin de semana (Q_{efs}):

$$Q_{efs} = Q_{fs} * (T_{afs}/T_{us})$$

4. Finalmente, se calcula el caudal equivalente total suministrado por el embalse de regulación semanal durante la jornada diaria de operación de riego, utilizando esta ecuación:

$$Q_{et} = Q_{ed} + Q_{en} + Q_{efs}$$

EJEMPLO

Cálculo del caudal equivalente suministrado por un cauce superficial más un embalse

En un predio, se tiene una asignación de 70 l/s desde un cauce superficial, pero entre semana, de lunes a sábado, el caudal de entrega en la fuente durante el día (de 6:00 a.m. a 6:00 p.m.) es de 42 l/s, en la noche (de 6:00 p.m. a 6:00 a.m.) es de 49 l/s, y los fines de semana (de 6:00 p.m. del sábado a 6:00 a.m. del lunes) es de 56 l/s. Además, se cuenta con un embalse que se llena en la noche de lunes a viernes entre 6:00 p.m. y 6:00 a.m. y durante el fin de semana entre 6:00 p.m. del sábado y 6:00 a.m. del lunes. El embalse es utilizado entre lunes y sábado de 6:00 a.m. a 6:00 p.m. Para conocer,

en este caso, el caudal equivalente total diurno suministrado por esta fuente (Q_{et}), se procede de la siguiente forma:

1. Se tabulan los caudales reales captados en la fuente, así:

- Diurno: $Q_{fd} = 42$ l/s
- Nocturno: $Q_{fn} = 49$ l/s
- Fines de semana: $Q_{fs} = 56$ l/s

2. Se calcula el número de horas diarias de almacenamiento de agua en el embalse durante la semana (lunes a sábado) y el fin de semana (sábado y domingo), así como el número de horas diurnas de uso del sistema fuente:

- Tiempo de almacenamiento diario entre semana: (T_{aes} en horas) = 12 h
- Tiempo de uso diario del embalse para riego: (T_{ud} en horas) = 12 h
- Tiempo de almacenamiento durante el fin de semana: (T_{afs} en horas) = 36 h (Desde las 6:00 p.m. del sábado a las 6:00 a.m. del lunes)
- Tiempo total de uso del almacenamiento por semana: (T_{us}) = 72 h (De lunes a sábado, 12 h cada día)

3. Se descompone el caudal equivalente total suministrado por el embalse (Q_{et}) en tres caudales:

- En relación con el caudal que recibe del cauce durante el día (Q_{ed}):

$$Q_{ed} = 42 \text{ l/s}$$

- En función del caudal que recibe del cauce durante la noche (Q_{en}):

$$Q_{en} = Q_{fn} * (T_{aes} / T_{ud}) = 49 \text{ l/s} * (12 \text{ h} / 12 \text{ h}) = 49 \text{ l/s}$$

- En relación con el caudal que recibe del cauce durante el fin de semana (Q_{efs}):

$$Q_{efs} = Q_{fs} * (T_{afs} / T_{us}) = 56 \text{ l/s} * (36 / 72) = 28 \text{ l/s}$$

4. Finalmente, se calcula el caudal equivalente total suministrado por el embalse de regulación semanal durante la jornada diaria de operación de riego (Q_{et}):

$$Q_{et} = Q_{ed} + Q_{en} + Q_{efs} = 42 \text{ l/s} + 49 \text{ l/s} + 28 \text{ l/s} = 119 \text{ l/s}$$

Cauce superficial más embalse de regulación en época lluviosa

El embalse de regulación en época lluviosa es aquel que se llena durante la época de alta precipitación, aprovechando que no se aplica riego, es decir, el caudal disponible en la fuente se almacena para ser utilizado en el riego durante la época seca.

PROCEDIMIENTO PARA CALCULAR EL CAUDAL DE UN EMBALSE DE REGULACIÓN EN ÉPOCA LLUVIOSA

En este caso, el caudal equivalente total suministrado en la fuente se calcula de la siguiente forma:

1. Se determina el caudal real captado durante el día en el cauce superficial (Q_{fd} en l/s).

$$Q_{fd} = F_d * Q_t$$

Donde:

- F_d : factor diurno: 0.6 para la zona azucarera de Colombia.
 - Q_t : asignación total (l/s).
2. Se debe conocer la capacidad de almacenamiento del embalse (V en m^3).

3. Se estima el número de días durante los cuales se usará el embalse en la temporada seca (N_{dr}) que, para el caso del valle geográfico del río Cauca, sería de 60, ya que al total de la temporada más seca del año (90 días) se le descuentan los fines de semana, festivos y días en que se suspenden los riegos por razones diversas.

4. Se determina el tiempo de uso diario del embalse para riego (T_{ud} en horas). El valor más utilizado en la región es de 12 h.

5. Se descompone el caudal que puede suministrar el embalse (Q_{et}) en:

- Caudal que entrega el embalse en relación con el caudal que recibe del cauce durante el día (Q_{ed}):

$$(Q_{ed} \text{ en l/s}) = Q_{fd}$$

- Caudal que puede entregar el embalse de acuerdo con el caudal que recibe en la noche durante el período de riego (Q_{en}):

$$Q_{en} = Q_{fn} * (T_{aes}/T_{ud})$$

- Caudal que entrega el embalse en función del caudal que recibe del cauce el fin de semana durante la época de riego Q_{efs} :

$$Q_{efs} = Q_{fs} * (T_{afs}/T_{us})$$

- Caudal que entrega el embalse (Q_{al}) en relación con la capacidad de almacenamiento, el tiempo total de uso durante la época de riego y la jornada diaria de operación de riego. El Q_{al} se calcula así:

$$Q_{al} = \frac{V}{N_{dr} * T_{ud} * 3.6}$$

Donde:

- V : capacidad del embalse (m^3).
- N_{dr} : número de días de uso del embalse en la temporada seca.
- T_{ud} : tiempo de uso diario del embalse en horas.

En esta ecuación, el valor 3.6 corresponde al factor de conversión de m^3/h a l/s :
 $1 m^3 = 1000 l$ y $1 h = 3600 s$

6. Se calcula el caudal equivalente total suministrado por el embalse de regulación en época lluviosa durante la jornada diaria de operación de riego:

$$Q_{et} = Q_{ed} + Q_{en} + Q_{efs} + Q_{al}$$

EJEMPLO

Caudal equivalente en un embalse de regulación en la época lluviosa

En un conjunto de predios, se cuenta con una asignación total de 70 l/s y un embalse que almacena agua durante la época de lluvias con una capacidad de 200,000 m^3 y que opera durante la época seca por espacio de 60 días, 12 horas por día. Para conocer el caudal equivalente total suministrado por el embalse para riego (Q_{et} en l/s), se procede así:

1. Se determina el caudal real captado durante el día en el cauce superficial (Q_{fd}):

$$Q_{fd} = F_d * Q_t = 0.6 * 70 = 42 \text{ l/s}$$

2. La capacidad de almacenamiento del embalse (V en m^3) es de 200,000 m^3 .
3. El número de días a regar durante la temporada seca (N_{dr}) es 60.
4. El tiempo de uso diario del embalse para riego (T_{ud}) es de 12 h.
5. El caudal total que puede entregar el embalse (Q_{et}) se compone de cuatro caudales:

- Caudal que entrega el embalse en relación con el caudal que recibe del cauce durante el día (Q_{ed}):

$$Q_{ed} = Q_{fd} = 42 \text{ l/s}$$

- Caudal que entrega el embalse en relación con el caudal que recibe del cauce en la noche durante el período de riego (Q_{en}):

$$Q_{en} = Q_{fn} * T_{aes}/T_{ud} = 49 \text{ l/s} * 12 \text{ h}/12 \text{ h} = 49 \text{ l/s}$$

- Caudal que entrega el embalse en función del caudal que recibe del cauce el fin de semana durante la época de riego (Q_{efs}):

$$Q_{efs} = Q_{fs} * T_{afs}/T_{us} = 56 \text{ l/s} * 36/72 = 28 \text{ l/s}$$

- Caudal que entrega el embalse en función de la capacidad de almacenamiento y el tiempo total de uso durante la época de riego y la jornada diaria de operación del riego:

$$Q_{al} = \frac{V}{N_{dr} * T_{ud} * 3.6}$$

$$Q_{al} = \frac{200,000 \text{ m}^3}{60 \text{ d} * 12 \text{ h/d} * 3.6} = 77.2 \text{ l/s}$$

6. El caudal equivalente total suministrado por el embalse de regulación en época lluviosa, durante la jornada diaria de operación del riego es:

$$Q_{et} = Q_{ed} + Q_{en} + Q_{efs} + Q_{al} = 42 + 49 + 28 + 77.2 = 196.2 \text{ l/s}$$

Pozo profundo más reservorio

El reservorio que se construye para almacenar agua subterránea extraída mediante un pozo profundo, normalmente, se considera de regulación semanal, puesto que se llena durante el fin de semana aprovechando la suspensión de la operación de riego y se utiliza en el riego durante el resto de la semana.

PROCEDIMIENTO PARA CALCULAR EL CAUDAL DE UN POZO PROFUNDO MÁS RESERVORIO

El caudal equivalente de entrega durante el día para un pozo que descarga el agua a un reservorio se puede calcular de la siguiente forma:

1. Se miden los caudales reales del pozo durante el día, en la noche y el fin de semana. Si no es posible el aforo, se debe multiplicar el caudal teórico del pozo (Q_t) por los factores de ajuste, sugeridos para la región azucarera de Colombia:

- Diurno (F_d) = 0.8
- Nocturno (F_n) = 0.9
- Fin de semana (F_{fs}) = 0.9

Por tanto, los caudales reales captados de pozos profundos se pueden calcular de la siguiente manera:

- Durante el día: $Q_{fd} = 0.8 * Q_t$
- Durante la noche: $Q_{fn} = 0.9 * Q_t$
- Durante el fin de semana: $Q_{fs} = 0.9 * Q_t$

2. Se calculan los tiempos de almacenamiento y uso del reservorio:

- Almacenamiento diario entre semana (T_{aes} en horas).
- Uso diario del reservorio para riego (T_{ud} en horas).
- Almacenamiento durante el fin de semana (T_{afs} en horas).
- Total de uso del almacenamiento por semana (T_{us} en horas).

3. Como en el caso anterior de cauce superficial más reservorio de regulación semanal, el caudal equivalente total suministrado por el embalse (Q_{et}) se descompone en tres caudales:

- Diurno (Q_{ed}):
 Q_{ed} = caudal diurno real del pozo (Q_{fd})

- Nocturno (Q_{en}):

$$Q_{en} = Q_{fn} * T_{aes} / T_{ud}$$

- Caudal que entrega el embalse en relación con el caudal que recibe del pozo durante el fin de semana (Q_{efs}):

$$Q_{efs} = Q_{fs} * T_{afs} / T_{us}$$

4. El caudal equivalente total suministrado por el embalse sería:

$$Q_{et} = Q_{ed} + Q_{en} + Q_{efs}$$

EJEMPLO

Caudal equivalente en un pozo profundo más reservorio

Un predio cuenta con un pozo profundo cuyo caudal es de 60 l/s durante el día (Q_{fd}), 70 l/s en la noche (Q_{fn}) y 80 l/s en el fin de semana (Q_{fs}). Además, tiene un reservorio que recibe agua del pozo de lunes a viernes entre 6:00 p.m. y 6:00 a.m., y el fin de semana desde las 6:00 a.m. del sábado hasta las 6:00 a.m. del domingo. El pozo se apaga para que se recupere desde las 6:00 a.m. del domingo hasta las 6:00 a.m. del lunes. Los tiempos de almacenamiento y uso del pozo son los siguientes:

- $T_{aes} = 12$ h
- $T_{ud} = 12$ h
- $T_{afs} = 12$ h
- $T_{us} = 72$ h

El caudal equivalente total suministrado por el reservorio (Q_{et}) se descompone en tres caudales, así:

1. Caudal entregado por el reservorio en relación con el caudal que recibe del pozo durante el día (Q_{ed}) = caudal diurno real del pozo (Q_{fd}) = 60 l/s
2. Caudal entregado por el reservorio en función del caudal que recibe del pozo durante la noche (Q_{en}):

$$Q_{en} = Q_{fn} * \left(\frac{T_{aes}}{T_{ud}} \right) = 70 * \left(\frac{12}{12} \right) = 70 \text{ l/s}$$

3. Caudal entregado por el reservorio en relación con el caudal que recibe del pozo durante el fin de semana (Q_{efs}):

$$Q_{efs} = Q_{fs} * \left(\frac{T_{afs}}{T_{us}} \right) = 80 * \left(\frac{12}{72} \right) = 13 \text{ l/s}$$

El caudal equivalente total suministrado por el reservorio sería:

$$Q_{et} = Q_{ed} + Q_{en} + Q_{efs} = 60 + 70 + 13 = 143 \text{ l/s}$$

Si en el ejemplo anterior, el pozo se opera durante 16 horas diarias, el tiempo de almacenamiento diario entre semana (T_{aes}) será de 4 horas (6 p.m. - 10 p.m.). Por tanto, el caudal entregado por el reservorio, en relación con el caudal que recibe del pozo durante la noche será:

$$Q_{en} = 70 * (4/12) = 23 \text{ l/s}$$

En este caso, el caudal equivalente total del sistema pozo-embalse corresponderá a:

$$Q_{et} = 60 + 23 + 13 = 96 \text{ l/s}$$

DEMANDA DE AGUA PARA RIEGO EN UNA UNIDAD PRODUCTIVA

Este tema, denominado también requerimiento de riego en la fuente de agua, se trata en detalle en el Capítulo 2 de este libro. En esta sección, se presentan algunos ejemplos con el propósito de ayudar al desarrollo de habilidades para el cálculo de la demanda de agua en el cultivo de la caña de azúcar, y en el contexto del balance de oferta y demanda de agua para riego en una unidad productiva.

El requerimiento de riego en la fuente se determina utilizando la siguiente ecuación:

$$RRf = \frac{RRn}{Er}$$

Donde:

- RRf : requerimiento de riego en la fuente (mm/d).
- RRn : requerimiento de riego neto (mm/d).
- Er : eficiencia de riego expresada en fracción decimal, la cual se puede calcular como:

$$Er = Ea * Ec * Eal$$

Donde:

- Ea : eficiencia de aplicación (en fracción decimal).
- Ec : eficiencia de conducción (en fracción decimal).
- Eal : eficiencia de almacenamiento en reservorios o embalses, si existen (en fracción decimal).



Cultivo de caña de azúcar en el valle del Cauca.

REQUERIMIENTO DE RIEGO

El requerimiento de riego neto (RRn) se calcula mediante la ecuación:

$$RRn = ET - Pe$$

Donde:

- ET : evapotranspiración actual expresada en milímetros por mes (mm/mes).
- Pe : precipitación efectiva (mm/mes) con una probabilidad de ocurrencia de 75%.

PRECIPITACIÓN EFECTIVA

Se define como la fracción de la precipitación total que llega hasta el suelo y puede ser aprovechada por el cultivo (Doorenbos y Pruitt, 1992).

EJEMPLO**Cálculo de la precipitación efectiva en la zona centro del valle geográfico del río Cauca**

Determinar la precipitación efectiva mensual con una probabilidad de ocurrencia de 75% para la zona centro del valle geográfico del río Cauca donde se presenta la menor precipitación en la región.

1. En el Cuadro 3.1 se muestra la precipitación media mensual registrada en la zona centro del valle geográfico del río Cauca.
2. Se ordenan en forma descendente los datos de precipitación anual (Cuadro 3.2); se asigna un número de orden a cada valor de precipitación (Cuadro 3.2, columna 3), y se calcula la frecuencia relativa (F) de cada valor de precipitación anual ya ordenado (Cuadro 3.2, columna 4), mediante la siguiente fórmula:

$$F = \frac{m}{n+1} * 100$$

Donde:

- m : número de orden asignado a cada valor de precipitación.
- n : número total de eventos, en este caso, $n = 21$.

3. Se elabora un gráfico de dispersión con los valores de frecuencia relativa (F) en el eje X y la precipitación anual en el eje Y (Figura 3.1), y se traza la línea de tendencia de tipo lineal para obtener la ecuación de la línea de mejor ajuste. En el ejemplo de la zona centro del valle geográfico del río Cauca, la ecuación obtenida es:

$$Y = 1253.6 - 6.1744X$$

Cuadro 3.1
Precipitación mensual multianual, zona centro del valle geográfico del río Cauca.

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
1994	69	88	138	164	129	35	19	33	83	131	157	75	1120
1995	15	19	79	132	66	51	68	47	81	160	86	75	878
1996	37	76	154	149	145	82	44	36	57	104	58	63	1005
1997	135	39	103	132	71	118	1	1	67	81	175	26	947
1998	7	33	126	131	158	61	42	49	126	46	92	38	909
1999	85	142	87	186	82	72	9	40	100	112	101	81	1096
2000	68	101	82	84	137	36	48	35	69	60	99	42	862
2001	59	42	83	34	68	33	26	1	59	50	51	103	610
2002	20	18	148	79	37	43	50	28	43	108	64	78	714
2003	14	59	54	152	58	44	25	37	47	95	132	27	743
2004	57	30	22	87	88	22	40	11	62	137	144	53	753
2005	47	35	81	84	91	28	28	36	53	122	101	88	794
2006	75	62	161	171	81	111	20	17	19	92	117	92	1019
2007	61	23	71	183	113	40	45	93	27	151	62	111	979
2008	86	109	105	140	202	134	58	105	44	72	73	115	1245
2009	108	44	156	50	64	81	13	34	20	71	47	87	775
2010	12	33	33	208	123	102	99	29	83	114	312	144	1291
2011	34	107	110	200	79	68	74	22	45	161	126	137	1163
2012	142	69	79	189	55	58	19	60	20	164	72	53	979
2013	16	74	94	124	212	23	17	56	54	138	66	103	977
2014	72	98	113	116	86	42	9	23	41	126	163	95	985
Prom.	58	62	99	133	102	61	36	38	57	109	109	80	945

Fuente: Área de meteorología de Cenicaña.

Que expresada en los términos de precipitación (P) y frecuencia (F) sería:

$$P = 1253.6 - 6.1744F$$

4. Una vez se obtiene la ecuación de la precipitación en función de la frecuencia, se calcula la precipitación anual que corresponde a la frecuencia de 75%. En este ejemplo, es de 791 mm.
5. Se divide el valor encontrado de precipitación anual para una frecuencia de 75%, entre la precipitación media anual, así:

$$\frac{791 \text{ mm}}{945 \text{ mm}} = 0.84$$

6. El cociente resultante se multiplica por la precipitación media de cada mes para obtener la precipitación mes a mes con probabilidad de 75% (Cuadro 3.3).
7. Este último valor se multiplica por 0.9 para los meses secos y por 0.8 para los meses lluviosos (Alarcón y Cruz, 2012), con el objetivo de obtener la precipitación efectiva mensual con 75% de probabilidad (Cuadro 3.4).

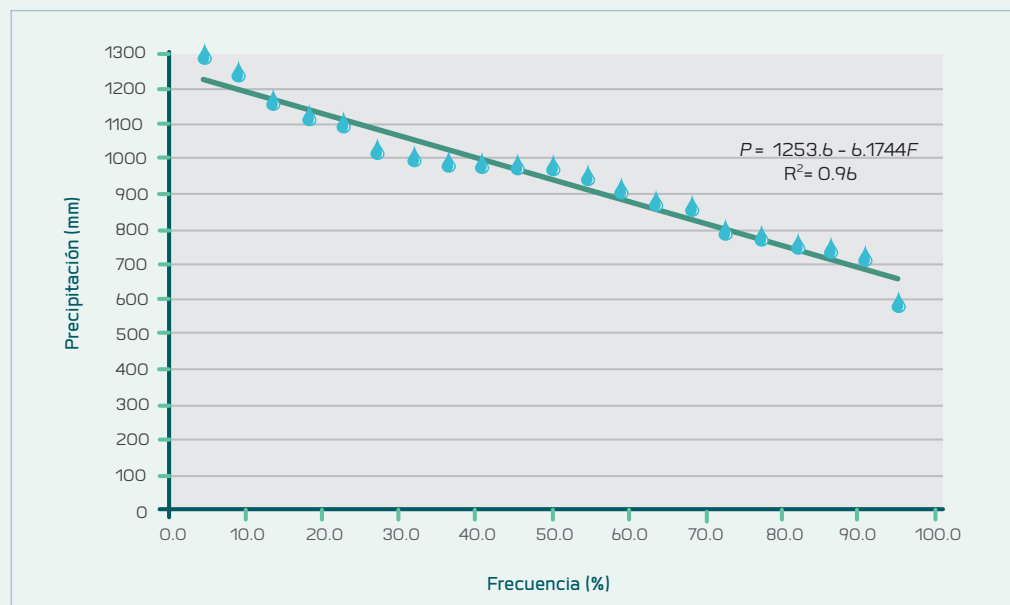
Cuadro 3.2

Precipitación anual en orden descendente y frecuencia relativa calculada para la zona centro del valle del río Cauca.

Año	Prec. anual (mm)	No. de orden (m)	Frecuencia relativa, F^* (%)
2010	1291	1	4.5
2008	1245	2	9.1
2011	1163	3	13.6
1994	1120	4	18.2
1999	1096	5	22.7
2006	1019	6	27.3
1996	1005	7	31.8
2014	985	8	36.4
2012	979	9	40.9
2007	979	10	45.5
2013	977	11	50.0
1997	947	12	54.5
1998	909	13	59.1
1995	878	14	63.6
2000	862	15	68.2
2005	794	16	72.7
2009	775	17	77.3
2004	753	18	81.8
2003	743	19	86.4
2002	714	20	90.9
2001	610	21	95.5

* Frecuencia relativa (n) = 21

Figura 3.1 Línea de mejor ajuste con los valores de frecuencia en el eje X y precipitación anual en el eje Y. Zona centro del valle geográfico del río Cauca. La precipitación anual que corresponde a la frecuencia de 75% es 791 mm.



Cuadro 3.3

Precipitación mensual con probabilidad de ocurrencia de 75%.
Zona centro del valle geográfico del río Cauca.

Detalle	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Promedio	58	62	99	133	102	61	36	38	57	109	109	80
Factor para calcular la precipitación con frecuencia de 75%	0.84	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Precipitación con frecuencia de 75%	49	52	83	111	85	51	30	32	48	91	91	67

Cuadro 3.4

Precipitación efectiva mensual con probabilidad de ocurrencia de 75%.
Zona centro del valle geográfico del río Cauca.

Detalle	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Precipitación con frecuencia de 75%	49	52	83	111	85	51	30	32	48	91	91	67
Factor para calcular la precipitación efectiva	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.9
Precipitación efectiva (P_e) con frecuencia de 75%	44	47	66	89	68	46	27	28	43	73	73	60

EJEMPLO**Determinar el requerimiento de riego en la fuente de agua**

En el ejemplo anterior, se obtuvo el valor de la precipitación efectiva mensual con una probabilidad del 75%. A continuación, se calcula el requerimiento de riego en la fuente, para lo cual, se pueden utilizar dos métodos:

1. Basado en el volumen de agua aplicado por evento de riego y la lámina de agua rápidamente aprovechable (*LARA*), se le conoce como requerimiento de riego operativo en la fuente de agua y se considera práctico para las unidades productivas que utilizan riego por surcos.

2. Basado en la eficiencia de riego, se le conoce como requerimiento de riego en la fuente de agua a largo plazo.

Cálculo del requerimiento de riego operativo en la fuente de agua para la zona centro del valle geográfico del río Cauca

1. Se elabora un cuadro en Excel® con la siguiente información: precipitación efectiva mensual con una frecuencia de 75% y evaporación me-

dia mensual multianual calculada a partir del dato diario medido en el tanque clase A (Cuadro 3.5).

2. Se calcula la evapotranspiración mensual del cultivo de la caña de azúcar, multiplicando el valor de la evaporación media mensual multianual por el factor K , definido como la relación entre la evapotranspiración actual (ET) y la evaporación medida en el tanque clase A (E), cuyo valor medio encontrado por Cenicaña para edades de caña de más de 4 meses es de 0.7 (Cuadro 3.6, fila 3).
3. Se calcula el requerimiento de riego neto (RRn) mensual restando la precipitación efectiva (Pe) de la evapotranspiración (ET), como se muestra en el Cuadro 3.6, fila 4.
4. Se determina el RRn acumulado para cada uno de los dos períodos secos que ocurren entre junio 15 y septiembre 15, y entre diciembre 15 y marzo 15 (Cuadro 3.6, filas 5 y 6). Este cálculo se realiza sumando los valores positivos de RRn desde junio hasta septiembre ($41 + 74 + 82 + 64 = 261$ mm), mientras que para el otro período se suman los valores positivos desde diciembre hasta marzo ($33 + 57 + 49 + 35 = 175$ mm).
5. Se calcula el requerimiento de riego operativo ($RRop$), expresado como caudal equi-

valente o módulo de riego operativo (Mop , en l/s por ha), utilizando la ecuación:

$$RRop = \frac{V}{(I * 12 * 3.6)}$$

Donde:

- V : volumen de agua aplicado por cada evento de riego (m^3/ha).
- I : intervalo de riego requerido (d), calculado como el número de días que dura la temporada más seca (en la región del valle geográfico del río Cauca es de 90 días), dividido entre el número de riegos requeridos en la temporada más seca. A su vez, el número de riegos se determina dividiendo el requerimiento de riego neto acumulado (mm) de la temporada más seca entre el valor de la lámina de agua rápidamente aprovechable ($LARA$, en mm).

Cabe anotar que en la ecuación de $RRop$, los valores de 12 y 3.6 que figuran en el denominador se refieren a la labor de riego realizada durante 12 horas por día. El valor de 3.6 resulta de dividir 3600 segundos, que tiene una hora, entre 1000, que son los litros que contiene un metro cúbico. Sin embargo, si la jornada de riego es diferente (de 10 horas u otro valor), se considera este número en lugar de 12.

Cuadro 3.5

Precipitación efectiva y evaporación media mensual multianual calculada a partir del dato medido en el tanque clase A. Zona centro del valle geográfico del río Cauca.

Detalle	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Precipitación efectiva (Pe) con frecuencia de 75%	44	47	66	89	68	46	27	28	43	73	73	60
Evaporación (EV) (mm)	144	136	145	130	128	124	145	157	153	144	129	134

Cuadro 3.6.

Evapotranspiración mensual del cultivo de la caña de azúcar ($ET = E * 0.7$) y requerimiento de riego neto ($RRn = ET - Pe$). Zona centro del valle geográfico del río Cauca.

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Precipitación efectiva (Pe) con frecuencia de 75%	44	47	66	89	68	46	27	28	43	73	73	60
Evaporación (EV) (mm)	144	136	145	130	128	124	145	157	153	144	129	134
Evapotranspiración (ET) (mm)	101	95	102	91	90	87	101	110	107	101	90	94
Requerimiento de riego neto $RRn = ET - Pe$	57	49	35	2	21	41	74	82	64	28	17	33
RRn período seco jun. 15-sep. 15 (mm)	—	—	—	—	—	—	—	—	261	—	—	—
RRn período seco dic. 15-mar. 15 (mm)	—	175	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Se presenta el cálculo del requerimiento de riego operativo ($RRop$) en un lote sembrado en caña, en la zona centro del valle geográfico del río Cauca, con valor de la $LARA$ del suelo de 60 mm y un volumen de agua aplicado por cada evento de riego por gravedad de 1500 m³/ha.

- Número de riegos requeridos en la temporada más seca del año: RRn acumulado en temporada más seca/ $LARA = 261 \text{ mm}/60 \text{ mm} = 4.34$ riegos.
- Duración de la temporada más seca: 90 días.
- Intervalo de riego requerido:

$$I = 90 \text{ d}/\text{No. riegos} = 90 \text{ d}/4.34 \text{ riegos} = 21 \text{ d}$$

- Requerimiento de riego operativo o módulo de riego operativo ($RRop$):

$$\frac{1500 \text{ m}^3/\text{ha}}{21 \text{ d} * 12 \text{ h/d} * 3.6} = 1.68 \text{ l/s por ha}$$

- Número de riegos requeridos por año:

$$\frac{261 \text{ mm} + 175 \text{ mm}}{60 \text{ mm}} = 7 \text{ riegos por año}$$

Determinación del requerimiento de riego en la fuente de agua a largo plazo

A partir del paso 4 del ejemplo de requerimiento del riego operativo en el cual se encontró el RRn para el periodo más seco (261 mm), se determina el requerimiento de riego neto diario (RRn , en mm/d), utilizando la siguiente ecuación:

$$RRn \text{ diario} = \frac{RRn \text{ acumulado}}{\text{No. días época más seca}} = \frac{261 \text{ mm}}{90 \text{ d}} = 2.9 \text{ mm/d}$$

Luego, se calcula el requerimiento de riego en la fuente a nivel diario (RRf), así:

$$RRf \text{ diario} = \frac{RRn \text{ diario}}{Ea * Ec * Eal}$$

Donde:

- Ea : eficiencia de aplicación (fracción decimal) = 0.5.
- Ec : eficiencia de conducción (fracción decimal) = 0.8.
- Eal : eficiencia de almacenamiento en reservorios o embalses, si los hay (fracción decimal).

$$RRf \text{ diario} = \frac{2.9 \text{ mm/d}}{(0.5 * 0.8)} = 7.2 \text{ mm/d}$$

A continuación, se calcula el módulo de riego a largo plazo (l/s por ha) para una jornada de 12 h/d:

$$7.2 \frac{\text{mm}}{\text{d}} * \frac{1 \text{ l/m}^2}{1 \text{ mm}} * \frac{1 \text{ d}}{12 \text{ h}} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} * \frac{10,000 \text{ m}^2}{1 \text{ ha}} = 1.68 \text{ l/s por ha}$$

Este módulo de riego a largo plazo (l/s por ha) para una operación continua de 24 h/d es:

$$7.2 \frac{\text{mm}}{\text{d}} * \frac{1 \text{ l/m}^2}{1 \text{ mm}} * \frac{1 \text{ d}}{86,400 \text{ s}} * \frac{10,000 \text{ m}^2}{1 \text{ ha}} = 0.84 \text{ l/s por ha}$$

CÁLCULO DEL BALANCE HIDROLÓGICO DE OFERTA Y DEMANDA DE AGUA

Como se mencionó antes, este balance se define como la diferencia entre la oferta de agua a la que el predio o unidad productiva tiene derecho de uso y el requerimiento de riego en la fuente, expresado en litros por segundo (l/s).

EJEMPLO

Cálculo de balance hidrológico

Después de calcular el módulo de riego operativo, en el caso de riego por surcos en la zona centro del valle geográfico del río Cauca (que para el ejercicio desarrollado dio como resultado 1.68 l/s por ha), el valor se multiplica por el área neta de riego. Si el área es de 100 ha, la demanda de riego será de:

$$1.68 \text{ l/s} / \text{ha} * 100 \text{ ha} = 168 \text{ l/s}$$

Si la fuente de agua es de cauce superficial sin almacenamiento y la asignación total (Q_t) es de 100 l/s, el caudal real captado diurno (l/s) corresponderá al 60% de la asignación total, o sea, 60 l/s. En este caso, la diferencia entre la oferta y la demanda será:

$$60 - 168 = -108 \text{ l/s}$$

El signo negativo indica que la oferta de agua no es suficiente para regar el área total que se requiere; por tanto, se debe llevar a cabo un desarrollo de aguas en la unidad productiva que consiste en construir y mejorar la infraestructura básica de captación y almacenamiento en alguna de las modalidades presentadas en este capítulo.

Por el contrario, si la fuente es de cauce superficial complementado con un embalse que se llena en las noches y los fines de semana, la oferta de

agua del predio se podrá incrementar a 170 l/s y el balance entre la oferta y la demanda será:

$$170 - 168 = 2 \text{ l/s}$$

El valor de caudal equivalente suministrado por el sistema cauce embalse (Q_{et}) y correspondiente a 170 l/s, se calculó de la siguiente forma:

$$Q_{et} = Q_{ed} + Q_{en} + Q_{efs}$$

Donde:

- Q_{ed} : caudal entregado por el embalse en relación con el caudal que recibe del cauce durante el día.
- Q_{en} : caudal entregado por el embalse en función del caudal que recibe del cauce durante la noche.
- Q_{efs} : caudal entregado por el embalse de acuerdo con el caudal que recibe del cauce durante el fin de semana.

$$Q_{ed} = 100 \text{ l/s} * 0.6 = 60 \text{ l/s}$$

$$Q_{en} = 100 \text{ l/s} * 0.7 * 12 \text{ h} / 12 \text{ h} = 70 \text{ l/s}$$

$$Q_{efs} = 100 \text{ l/s} * 0.8 * 36 \text{ h} / 72 \text{ h} = 40 \text{ l/s}$$

En caso de que una unidad productiva cuente con dos asignaciones de agua, por ejemplo, una que correspon-

- da a un cauce superficial cuya asignación sea de 100 l/s, y otra, a un pozo profundo cuyo caudal teórico sea de 90 l/s, aplicando los factores de ajuste (0.6 para cauce superficial y 0.8 para pozo profundo), el caudal real captado en el cauce durante el día sería de 60 l/s, mientras que el caudal real captado en el pozo sería de 72 l/s, para un total de 132 l/s.

En consecuencia, el balance entre oferta y demanda es de:

$$132 - 168 = - 36 \text{ l/s}$$

Esto indica que se requiere un desarrollo de aguas para la unidad productiva que puede ser la construcción de un embalse de regulación o de aprovechamiento de excedentes de agua. No menos importante es hacer gestión sobre la labor de riego para reducir el volumen de agua que se aplica en cada evento de riego.

Por ejemplo, si en lugar de 1500 m³/ha por riego, se reduce a 1200 m³/ha por riego, el módulo operativo bajaría a 1.34 l/s por ha, que multiplicado por 100 ha daría un total de 134 l/s de requerimiento en la fuente. De este modo, alcanzaría la oferta que es de 132 l/s.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón Muriel, S.L. y J.R. Cruz Valderrama. 2012. **Precipitación efectiva en el cultivo de la caña para programar los riegos mediante el balance hídrico.** Vol. 1, pp. 557-567. En: VIII Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Latinoamérica y el Caribe y IX Congreso de la Asociación Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar (Tecnicaña). Memorias. Septiembre 12-14. Cali, Colombia.
- Doorenbos, J.; W.O. Pruitt. 1992. **Guidelines for predicting crop water requirements.** FAO Irrigation and Drainage Paper 24. FAO, Roma.
- Solomon, K.H.; El-Gindy, A.M.; Ibatullin, S.R. 2007. **Planning and system selection.** American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE) Publication. Design and operation of farm irrigation systems 3: pp. 57-75.



Cenicaña es una corporación privada, sin ánimo de lucro, fundada en 1977 por iniciativa de la Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia (Asocaña) y financiada con donaciones directas de los ingenios azucareros y los proveedores de caña localizados en el valle geográfico del río Cauca. Su misión es contribuir al desarrollo, la competitividad y la sostenibilidad del sector agroindustrial de la caña de azúcar de Colombia, mediante la generación de conocimiento y la innovación tecnológica, a través de la investigación, la transferencia de tecnología y la prestación de servicios especializados, con base en un sistema integrado de gestión, para que el sector sea reconocido por sus aportes socioeconómicos y la conservación ambiental de las zonas productoras de caña de azúcar. Así, Cenicaña favorece la innovación en la agroindustria gestionando proyectos de investigación y desarrollo, acordes con la planeación estratégica del sector productivo. Dirige programas de investigación en variedades, agronomía y procesos de fábrica, y servicios especializados en información y documentación, tecnología informática, análisis económico y estadístico, y cooperación técnica y transferencia de tecnología.

En sus funciones de apoyo sectorial, Cenicaña administra la Red Meteorológica Automatizada y la Red PM-10 de la agroindustria azucarera en el valle del río Cauca. Atiende solicitudes de importación de variedades en Colombia y presta servicios de propagación y multiplicación de variedades, análisis de suelo y tejido foliar, inspección fitopatológica en campo y laboratorio, diagnóstico de enfermedades de la caña de azúcar, e información y documentación.



La colección de materiales para la transferencia de tecnología en la agroindustria de la caña de azúcar está dirigida a los profesionales de distintas disciplinas vinculados con el sector azucarero colombiano que en sus competencias de rol ejercen como facilitadores de la transferencia tecnológica y la adopción, particularmente a quienes planifican, ejecutan y evalúan las actividades de capacitación en las que participan los usuarios finales de la tecnología en el Programa de Aprendizaje y Asistencia Técnica (PAT). Algunos materiales de la colección están dirigidos a los participantes en la capacitación, y les serán entregados por los facilitadores.



Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia
Calle 58N No. 3BN-110 Cali, Colombia
www.cenicana.org