

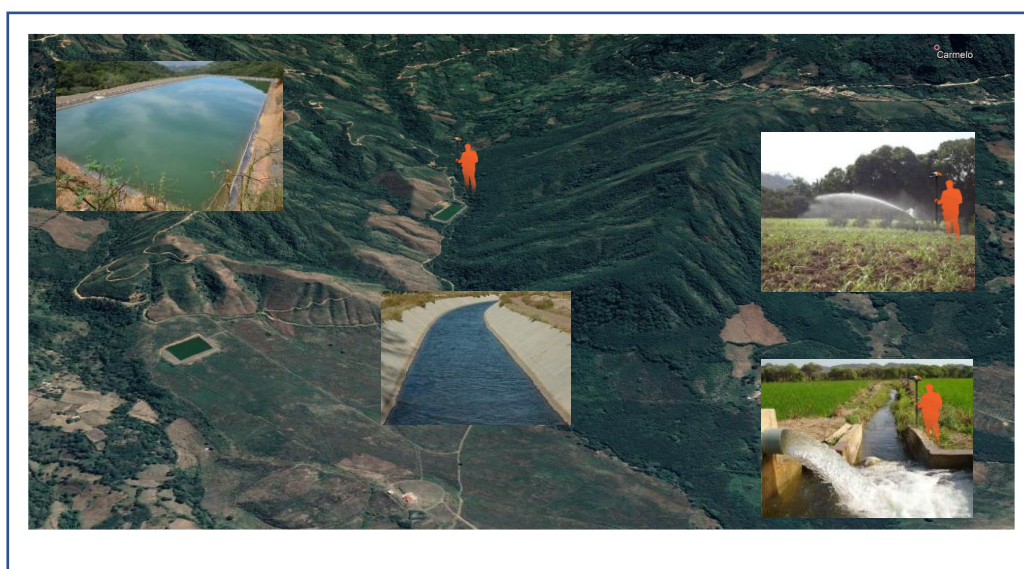
Contribución de la **Unión Europea**
complementaria al **Proyecto de Irrigación**
Tecnificada para pequeños y medianos
productores y productoras



ESCUELA NACIONAL
DE IRRIGACIÓN
PARCELARIA

PROGRAMA ASESORA / ASESOR EN RIEGO INTEGRAL PARCELARIO

CURSO DE ELABORACIÓN DE DIAGNÓSTICOS INTEGRALES EN TERRITORIOS BAJO RIEGO



Módulo 2. Diseño y Elaboración de un Diagnóstico Integral en Etapa de Prefactibilidad

Descripción general de la infraestructura de riego

Randon Ortiz Calle

2020



Contenido	Página
Contenido	
I. RESULTADOS DE APRENDIZAJE.....	2
II. INTRODUCCIÓN	3
III. DESARROLLO DE LA UNIDAD	4
CAPÍTULO 1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE UN SISTEMA DE RIEGO.....	4
Consideraciones generales	4
CAPÍTULO 2. LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	10
Información cartográfica	10
Equipos de georreferenciación	11
Recorrido de la red de canales o de tuberías	11
Identificación de estructuras hidráulicas	11
Identificación de sitios importantes	12
Procesamiento de la información.....	12
CAPÍTULO 3. MEDICIÓN DE CAUDALES EN CANALES.....	16
Vertedero rectangular	16
Compuertas	18
Aforo químico.....	20
Método del molinete	21
Método del flotador	22
CAPÍTULO 4. MEDICIÓN DE CAUDALES EN TUBERÍAS	26
Método ultrasónico	26
Método del medidor volumétrico	27
Medición vertical del chorro de agua	27
Método del orificio.....	28
Método del diámetro de la succión de una bomba.....	28
IV. CONCLUSIONES	31
V. ABREVIATURAS UTILIZADAS	32
VI. GLOSARIO	32
VII. BIBLIOGRAFÍA	34
VIII. ANEXOS	35
UNIDADES IMPORTANTES	35



I. RESULTADOS DE APRENDIZAJE

Al finalizar el estudio de la presente guía, el participante será capaz de:

- Determinar las diversas estructuras hidráulicas y su funcionamiento dentro de un sistema de riego.
- Aplicar diversas herramientas y procedimientos técnicos para diagnosticar la infraestructura de riego.
- Aplicar diferentes metodologías para la medición de caudales de acuerdo a las fuentes existentes en campo.



II. INTRODUCCIÓN

Caso sistema de riego San Gabriel

En el proyecto de riego San Gabriel, se determinó que la acequia existente tiene una longitud de 800 metros, el canal es en tierra, no tiene una sección definida, existe mucha filtración del agua y el canal tiene un mantenimiento pobre. En la cabecera del proyecto de riego, los usuarios han construido un reservorio de 1600 metros cúbicos, el cual tiene filtraciones en una de sus paredes. El área de riego medida fue de 70 hectáreas y se encuentra cultivada con frutales (aguacate y cítricos), maíz y fréjol.

La junta de regantes está conformada por 80 usuarios. Cuentan con la autorización del uso del agua. El caudal aforado en la época de estiaje fue de 50 litros por segundo.

Según el análisis técnico preliminar, el proyecto reúne los requisitos para pasar a la segunda fase.

En la etapa de diagnóstico de un sistema de riego se requiere conocer tres variables muy importantes: 1) la infraestructura hidráulica, 2) el área de riego bajo la cota de la infraestructura hidráulica con los cultivos en explotación, y 3) el caudal disponible en cabecera del área de riego. Este conjunto de datos permite determinar la viabilidad de un proyecto de riego en función de la disponibilidad del agua en la fuente. En el capítulo 1 se abordan algunos conceptos de importancia que ayudarán a describir un sistema de riego.

En algunos proyectos, las juntas de regantes cuentan con esquemas de la infraestructura hidráulica (sin escala), en otros casos, las juntas cuentan con levantamientos detallados de la red de canales o de tuberías, lo cual contribuye a acelerar los trabajos de campo. Considerando la dinámica de la transferencia de las propiedades (compra-venta, reparticiones en herencias, etc.), casi nunca los planos, el catastro y las redes de canales o de tuberías son actualizados, lo cual obliga a levantar la información de campo para conocer la situación actual. En esta fase, tanto la infraestructura hidráulica como el área de riego pueden levantarse con instrumentos de posición geográfica (GPS). En esta línea, en el capítulo 2 se presentan los procedimientos para levantar y procesar la información registrada en campo.

El caudal disponible en la fuente de agua permite conocer si existe la suficiente cantidad de agua para irrigar la superficie total de un proyecto. En sistemas de riego nuevos en donde se requiere la construcción de la captación y demás obras civiles, la medición del caudal debe hacerse utilizando métodos de alta precisión, debido a que este parámetro permitirá determinar la superficie máxima a regarse, así como el dimensionamiento de los diferentes tipos de obras de riego.

En sistemas de riego existentes de tamaño pequeño (menor a 100 hectáreas), la junta de regantes cuenta con un caudal autorizado por la **Secretaría Nacional del Agua** (SENAGUA), sin embargo, a pesar de la existencia de la autorización, es necesario medir el caudal de ingreso al área de riego.

En sistemas de riego de mayor tamaño, las unidades terciarias, óvalos o bloques hidráulicos, cuentan con un caudal asignado, el cual tiene un tiempo y una frecuencia de entrega, a pesar de ello, se debe medir el caudal de ingreso a la unidad. En los capítulos 3 y 4 se presentan las diferentes metodologías para medir caudales tanto en canales como en tuberías.



III. DESARROLLO DE LA UNIDAD

“Un diagnóstico técnico de la infraestructura de riego a nivel de prefactibilidad permitirá conocer si existe la cantidad adecuada de agua en la fuente para cubrir el riego en la superficie en estudio y facilitar la planificación de la siguiente fase del proyecto.”



Figura 1. Planificación de un proyecto.
Fuente: 412emvbeovoz.com

CAPÍTULO 1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE UN SISTEMA DE RIEGO

Caso sistema de riego San Gabriel

Esta es una conversación entre un diseñador y el ingeniero de una empresa, quienes están diseñando las mejoras para el sistema de riego San Gabriel.

Diseñador: Ingeniero necesito conocer el área de riego, los cultivos principales, el sistema de distribución del agua, el caudal de ingreso en el sistema, el caudal de entrada en la unidad terciaria, el método de riego utilizado y la fuente de agua para analizar la viabilidad de la tecnificación del riego.

Ingeniero: ¿Sistema de distribución del agua?

Diseñador: En la guía metodológica de la ENIP encontrará información del tema.

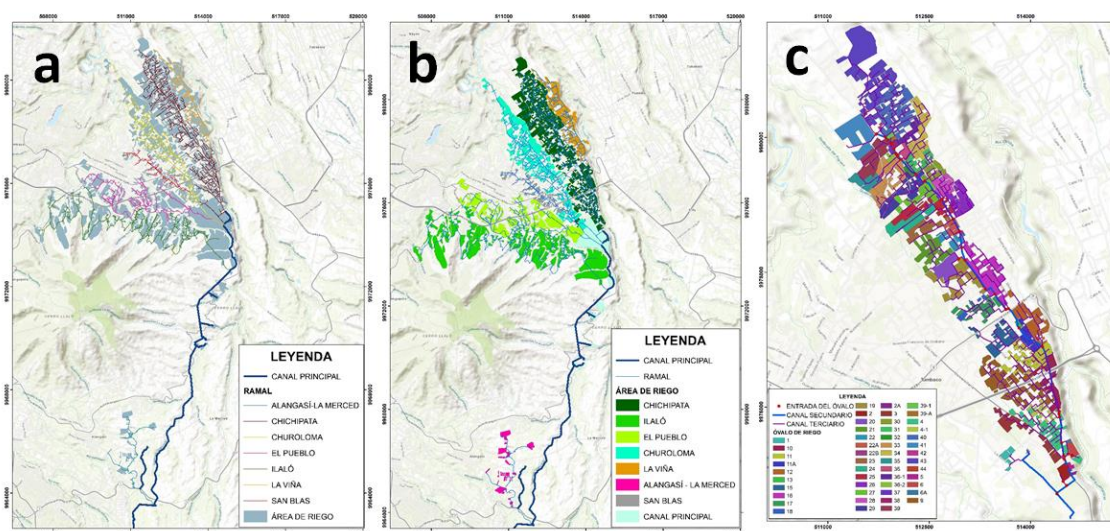
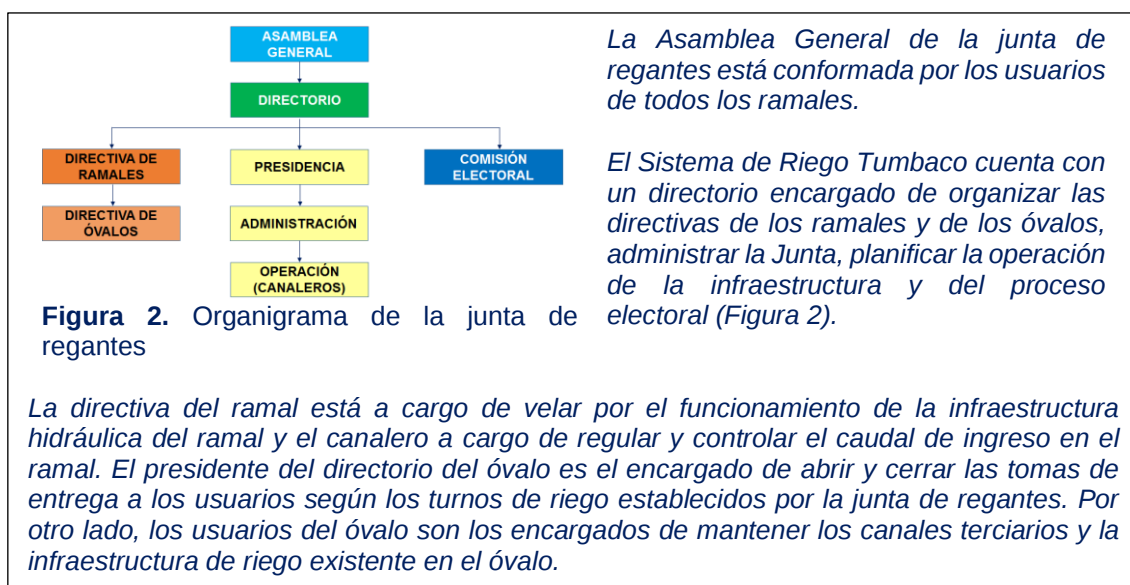
Un sistema de riego opera en base a tres pilares fundamentales: junta de regantes, usuarios y la infraestructura de riego. Dentro de este último pilar, existen elementos importantes a considerar como: áreas de riego, red de canales y de tuberías, caudal de operación, sistemas de distribución del agua, estructuras hidráulicas tanto en canales como en tuberías y métodos de aplicación del agua.

Para el desarrollo del presente capítulo se tomará como ejemplo el sistema de riego Tumbaco, ubicado en el cantón Quito, provincia de Pichincha.

Consideraciones generales

Junta de regantes. Es una organización reconocida por el Estado, encargada de administrar, operar y mantener un sistema de riego. La máxima autoridad de esta organización es la Asamblea General de Usuarios y el directorio es el responsable de ejecutar las normas estipuladas en los estatutos y los reglamentos, además de, planificar la operación y el mantenimiento de la infraestructura de riego (Figura 2).

Dentro del diagnóstico del sistema de riego es importante caracterizar y analizar a la organización que administra, opera y mantiene la infraestructura. Para ello, se tiene las guías “Gestión social del riego”, que propone criterios y herramientas para el diagnóstico social y organizativo del sistema de riego.



Fuente: Montufar et al., 2017.

Figura 3. Sistema de riego Tumbaco: a) área de comando; b) áreas secundarias; c) unidades terciarias.

Áreas de riego. Un sistema de riego está integrado por las siguientes áreas: área de comando, áreas secundarias y las unidades terciarias. El área de comando comprende y abarca la totalidad del área bajo la infraestructura del sistema de riego. El área secundaria es aquella que se encuentra bajo la red de canales secundarios. La unidad terciaria es aquella superficie de riego que se encuentra bajo la red de canales terciarios (Depeweg, 2002).

Ejemplo: “El sistema de riego Tumbaco cuenta con una superficie de comando o total de 1 539.25 hectáreas (Figura 3a) distribuidas en 7 áreas secundarias (Figura 3b) y alrededor de 420 unidades terciarias (Figura 3c, unidades terciarias en el ramal Chichipata) también conocidas por los agricultores como óvalos”.

Redes de canales y de tuberías. Un sistema de riego está integrado por una red de canales principales, secundarios y terciarios. Los canales principales transportan el agua desde la captación hasta los canales secundarios, en tanto que, los canales secundarios transportan el agua desde el canal principal hasta las tomas terciarias. Los canales terciarios transportan el agua desde el canal secundario hasta las tomas de



entrega de los agricultores (Figura 3c). La misma estructura de la red de canales es aplicable a la red de tuberías.

Ejemplo: “El sistema de riego Tumbaco cuenta 21,76 km de canales principales, 48,61 km de canales secundarios y 178,69 km de canales terciarios (Montufar et al., 2017)”.

Estaciones de bombeo. En sistemas de riego presurizados se utilizan estaciones de bombeo para presurizar el agua de riego. Una estación de bombeo puede estar conformada por una o más bombas con motores eléctricos o de combustión. Se instalan en paralelo o en serie.

Ejemplo: “Sistema de riego gravitacional: el sistema de riego Tumbaco cuenta con una autorización de uso de 1,7 metros cúbicos para regar aproximadamente 1500,0 hectáreas; por el ramal Chichipata (canal secundario) fluyen 450 litros por segundo para regar alrededor de 450 hectáreas y se entrega un caudal aproximado de 10,0 litros por segundo a los óvalos o unidades terciarias, siendo este el caudal de entrega a los usuarios”.

“Sistema de riego presurizado: el sistema de riego Macandamine – Mongara (ubicado en el Valle de Casanga en la Provincia de Loja), el caudal que se deriva del río es de 180,0 litros por segundo y a cada unidad terciaria se entrega un caudal regulado de 10,0 litros por segundo, siendo este el caudal de entrega a los usuarios”.

Caudal de operación de un sistema de riego. Todo sistema de riego capta o deriva del río o de la fuente de agua, un caudal autorizado por el Ministerio de Ambiente y Agua (ex SENAGUA), para cubrir las necesidades hídricas de los cultivos, las eficiencias de transporte, conducción y aplicación y de las áreas de riego. Este caudal se transporta por la red principal y se deriva a los canales secundarios y desde los secundarios a través de los óvalos a los canales terciarios y finalmente a través de las tomas de entrega, el agua llega hasta las parcelas de los agricultores.

Sistemas de distribución del agua a los usuarios. En el Ecuador existen dos sistemas de entrega de agua a los usuarios muy utilizados en la mayoría de los sistemas de riego: i) la entrega del agua en forma continua y ii) la entrega del agua por turnos (Ankum, 2002).

Ejemplo: “Si un agricultor cuenta con una superficie cultivada de 10 hectáreas, el caudal asignado en forma permanente es de 10 litros por segundo. Bajo este sistema de distribución del agua, toda la red de canales opera en forma continua”.

1. Entrega continua. Es un sistema que se utiliza para regar cultivos como el arroz y los pastizales tanto en la Costa como en la Sierra. A cada agricultor se entrega un caudal constante las 24 horas del día durante los 365 días del año, este caudal se conoce como dotación de riego y su valor adoptado es de $1,0 \text{ l s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$.

Ejemplo: “En el sistema de riego Tumbaco, el agricultor recibe un caudal de 10 litros por segundo por un tiempo de 10 horas con una frecuencia de entrega de 7 días. En este sistema de entrega del agua, los canales principales y los secundarios operan en forma continua y las unidades terciarias u óvalos por rotación (on / off)”.

2. Entrega por turnos. Es un sistema muy utilizado en la mayoría de sistemas de riego tanto en canales como en tuberías. El caudal que se entrega al agricultor se denomina módulo de riego y oscila entre 20 y 40 l s^{-1} en riego por gravedad y entre 3 y 10 l s^{-1} en redes presurizadas. La entrega del agua se realiza con un caudal constante, con un tiempo y frecuencia determinados para cubrir la necesidad hídrica de los cultivos.

En algunos sistemas de riego, en los dos casos de distribución del agua, los agricultores construyen un micro reservorio en su parcela para almacenar el agua correspondiente a su turno, a partir de este reservorio a través de bombas con motor eléctrico o combustible presurizan redes de tuberías para regar sus cultivos, cualquier día de la semana, en la mañana, tarde o noche.



Figura 4. Estructuras hidráulicas en canales: a) captación; b) desarenador; c) compuerta de derivación; d) vertedero de cresta ancha; e) acueducto; f) vertedero de cresta larga; g) partidor de caudales; h) canal de riego de sección rectangular.

Estructuras hidráulicas en canales. Son estructuras normalmente construidas en hormigón (Figura 4) para derivar el agua desde el río o quebrada (captación), para decantar los sólidos en suspensión (desarenador), para regular el caudal de un canal a otro (compuertas), para atravesar desniveles topográficos (acueductos y sifones), para medir el caudal que fluye por una sección (vertederos), para dividir caudales (partidores) y para entregar el agua a los usuarios (compuertas y orificios).

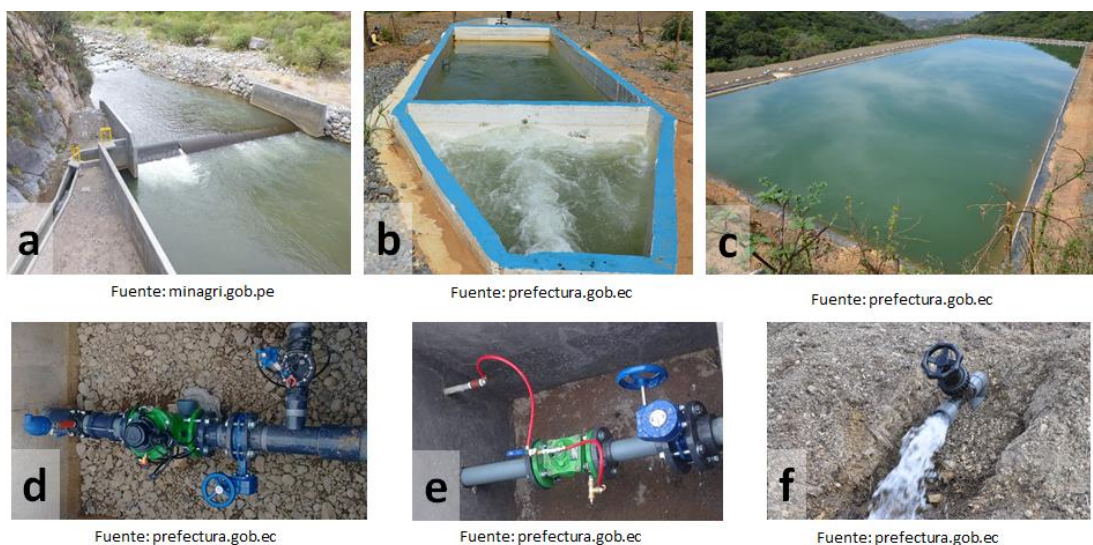


Figura 5. Estructuras hidráulicas en tuberías: a) captación; b) desarenador; c) reservorio; d) válvula reguladora de caudal; e) válvula reguladora de nivel; f) toma de entrega al agricultor.

Estructuras hidráulicas y válvulas de control en tuberías. Las estructuras hidráulicas comunes en una red de canales y de tuberías son la captación y el desarenador. En una red de tuberías se pueden encontrar reservorios para el almacenamiento del agua, tanques rompe presión, las válvulas manuales de control, válvulas reductoras de presión, válvulas sostenedoras de presión, válvulas reguladoras de caudal, válvulas de aire, válvulas manuales para el lavado de la tubería y tomas de entrega, más conocidos como hidrantes (Figura 5). Una red colectiva de riego presurizado se caracteriza por entregar el agua a los agricultores en forma regulada tanto en caudal como en presión.

Ejemplo: “En el sistema de riego Tumbaco (ramal Churoloima), los agricultores utilizan el método de riego por surcos en un 85%, el método de riego por aspersión en un 13% y goteo en un 2%” (Yungan, 2019).

Métodos de aplicación del agua. En un sistema de riego se pueden encontrar una gran variedad de métodos de aplicación del agua para cubrir las necesidades de agua de los cultivos, siendo goteo, aspersión y micro aspersión los métodos de aplicación presurizados y por surcos, el método de aplicación gravitacional más utilizado. En la Tabla 1 se presentan las eficiencias de aplicación, de conducción y de distribución teóricas, sin embargo, éstas se deben determinar en campo, por ejemplo, en el óvalo 25 del ramal Chichipata del Sistema de Riego Tumbaco, se midió una eficiencia global del 29,0% (riego por surcos, canales no revestidos y entregas de agua con compuertas).



Figura 6. Métodos de riego: a) goteo; b) aspersión; c) micro aspersión; d) surcos.

Tabla 1. Eficiencias de aplicación, distribución y de conducción

Método de riego	Efa (%)	Efd (%)	Efc (%)	Efp (%)
Surcos	70	80	80	45
Aspersión	80	90	90	65
Micro aspersión	85	98	98	80
Goteo	95	98	98	90

Fuente: Depeweg, 2002.



En Resumen

En este primer capítulo se hizo referencia a la descripción general de un sistema de riego, en el cual existen tres pilares fundamentales: junta de regantes, usuarios y la infraestructura de riego. Existen algunos elementos que son necesarios caracterizarlos o conceptuarlos a manera introductoria.

Así, todo sistema de riego está liderado por la junta de regantes, que es una organización reconocida por el Estado, encargada de administrar, operar y mantener un sistema de riego.

Un sistema de riego está integrado por las siguientes áreas: área de comando, áreas secundarias y las unidades terciarias. Así también, un sistema de riego está integrado por una red de canales principales, secundarios y terciarios. Ya sea a nivel de canales o tuberías, existen 3 tipos de redes: principales, secundarios y terciarias. En algunos casos, principalmente en sistemas de la costa ecuatoriana, existen estaciones de bombeo para presurizar el agua de riego.

Todos los sistemas de riego, cuentan con un caudal de operación, normalmente autorizado por el Ministerio de Ambiente y Agua (ex SENAGUA) para cubrir las necesidades hídricas de los cultivos, las eficiencias de transporte, conducción y aplicación y de las áreas de riego.

A nivel de infraestructura, un sistema de riego está conformado por estructuras hidráulicas en canales o en tuberías. En el primer caso, es decir en canales, se destacan estructuras como captación, desarenador, compuertas, acueductos o sifones, vertederos, partidores, entre otros.

En el caso de tuberías, destacan estructuras como reservorio, tanque rompe presión, válvulas manuales de control, válvulas reductoras de presión, válvulas sostenedoras de presión, válvulas reguladoras de caudal, válvulas de aire, válvulas manuales para el lavado de la tubería y tomas de entrega o hidrantes.

A nivel de parcela, un sistema de riego puede presentar una gran variedad de métodos de aplicación del agua para cubrir las necesidades de agua de los cultivos, siendo goteo, aspersión y micro aspersión los métodos de aplicación presurizados y por surcos, el método de aplicación gravitacional más utilizado.

CAPÍTULO 2. LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Caso sistema de riego San Gabriel

La información preliminar del proyecto permitió identificar el área a través de imágenes satelitales y programar el levantamiento de la información de campo. La aplicación Mobile Topographer facilitó la toma de datos con una alta precisión.

Se identificó la captación, desarenador, reservorio y un canal de riego cuya longitud fue de 780 metros. El área de riego medida fue de 70 hectáreas. La autorización del uso del agua es de 45 litros por segundo. El agua se entrega durante las 24 horas del día, siete días a la semana. El método de riego utilizado es por surcos. Toda la infraestructura hidráulica del sistema de riego fue codificada y presentada a través de un diagrama unifilar.

En la introducción anterior existen algunos elementos importantes que deben ser considerados al momento de realizar un diagnóstico de la infraestructura de riego. Estos elementos como las coordenadas geográficas y el diagrama unifilar, nos dirá qué tipo de estructuras tiene el sistema y donde están ubicadas, para poder posteriormente caracterizarlas con más detalle y analizar su estado.

Información cartográfica

La información cartográfica que se debe solicitar a las juntas de regantes puede ser:

1. Croquis
2. Plano catastral
3. Levantamiento topográfico

En caso de que no exista ninguna de las opciones anteriores, se debe procesar la siguiente información:

1. Imágenes satelitales
2. Cartas topográficas del Instituto Geográfico Militar
3. Imágenes procesadas de las fotos tomadas con drones

Las dos primeras fuentes de información cartográfica pueden obtenerse en el siguiente link (Figura 7): <http://geoportal.agricultura.gob.ec/>

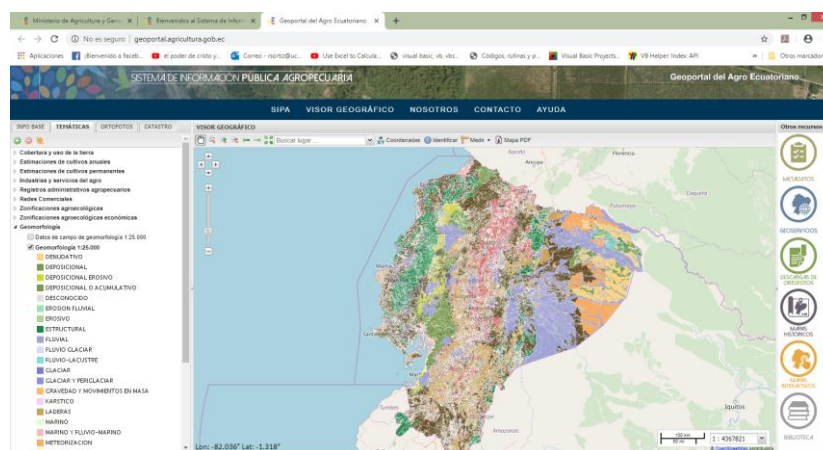


Figura 7. Sistema de información pública agropecuaria del Ministerio de Agricultura y Ganadería.



Sobre la información cartográfica se deben ubicar las diferentes estructuras hidráulicas, así como el área de riego.

Equipos de georreferenciación

En la fase diagnóstico se requiere levantar la siguiente información de campo:

1. Ubicación de la fuente de agua
2. Trazado de la red de canales o tuberías
3. Ubicación de la unidad terciaria o del área de interés para riego tecnificado

Para georreferenciar esta información se debe utilizar necesariamente un GPS submétrico, aunque existen aplicaciones de uso libre con precisiones de hasta 1,0 metro (aplicación [Mobile Topographer](#)). Adicionalmente a esta información, se deben tomar fotos desde diferentes ángulos para el registro de fotografías.

Para el análisis de las fuentes de agua, en la guía: Diagnóstico ambiental en las fuentes de agua de un sistema de riego, encontrará criterios y herramientas para complementar esta etapa de campo.

También en la guía: Análisis clima – suelo – agua, se encuentra criterios y herramientas para el análisis de las fuentes aportantes de agua en sistemas de riego.

Si es posible contar con un dron, se puede filmar y tomar fotos aéreas de dichos sectores. Es necesario recordar que la información a levantarse es de gran utilidad para el diseñador o planificador de la parte hidráulica del sistema de riego.

Recorrido de la red de canales o de tuberías

Se recomienda realizar el recorrido desde la fuente de agua hasta el área del proyecto de riego, la información a georreferenciarse depende del relieve y puede hacerse **cada 200 metros de distancia** entre punto y punto.

Si una superficie de riego se va a tecnificar completamente, se debe levantar toda la red de canales o de tuberías existentes, incluyendo el área total de riego (borde o contorno).

Identificación de estructuras hidráulicas

En redes de canales o de tuberías, en la dirección aguas abajo del proyecto de riego, se debe georreferenciar toda estructura hidráulica importante que sea parte del flujo del agua.

Tabla 2. Estructuras hidráulicas

Redes de canales	Redes de tuberías
Bocatoma o captación	Bocatoma o captación
Desarenador	Desarenador
Tomas clandestinas	Reservorios
Vertederos	Válvulas reguladoras de caudal
Caídas y rápidas	Válvulas de control manual
Compuertas	Válvulas reguladoras de presión
Partidores	Válvulas sostenedoras de presión
Sifones	Válvulas de aire

Identificación de sitios importantes

En función de la operación y mantenimiento de la infraestructura de riego se pueden producir algunos problemas en su estructura, los cuales también deben identificarse, pudiendo ser:

1. Filtración en canales
2. Compuertas en mal estado (filtraciones)
3. Vertido de aguas servidas en los canales (contaminación)
4. Derrumbes
5. Tomas clandestinas o robo de agua
6. Filtraciones en tuberías y en válvulas

Procesamiento de la información

Para ubicar los puntos tomados en campo se puede utilizar algún sistema de procesamiento de información geográfica (GIS, CAD). La información se puede presentar en dos formatos: i) puede ser el esquema real de la información levantada (escala 1:5000) y ii) a través de un diagrama unifilar (sin escala).

Para ubicar las coordenadas geográficas en google earth se puede utilizar una hoja en Excel creada para el efecto, esto ayuda a ver en 3D y a tener una mejor visión del área del proyecto (por un precio de 10,0 USD se puede adquirir el archivo en el siguiente link: <https://www.geofumadas.com/coordenadas-utm-en-google-earth/>).

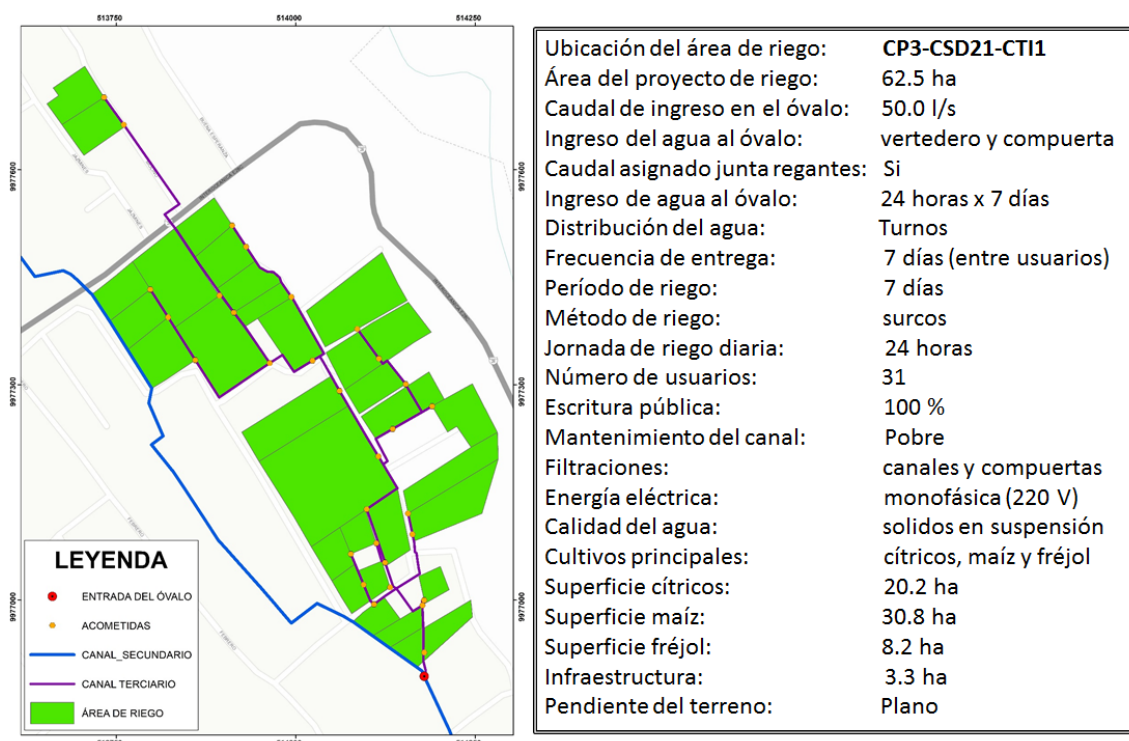
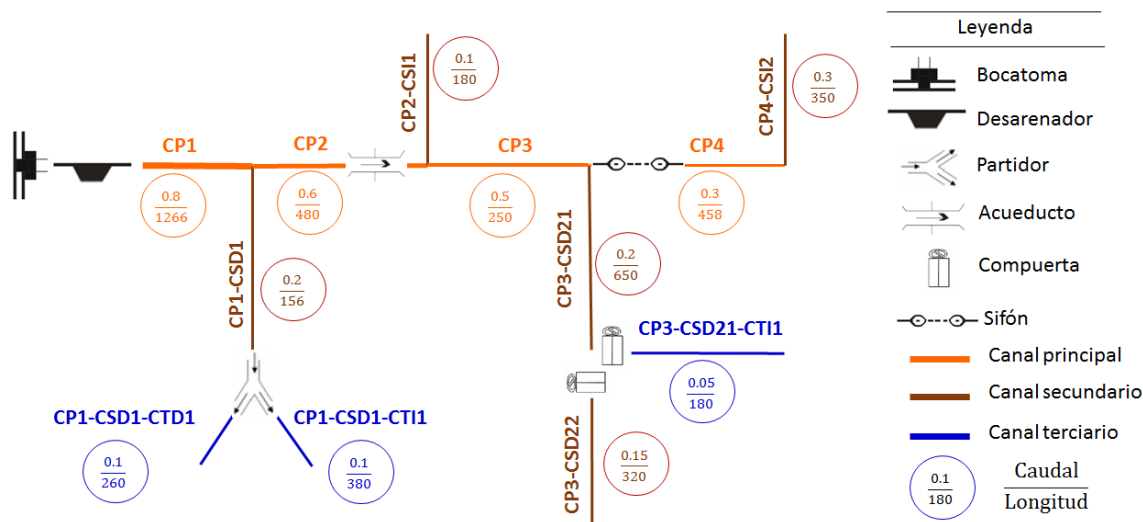


Figura 8. Croquis del área de riego (escala 1:5000)



Fuente: Depeweg, 2002; INRENA, 2005.

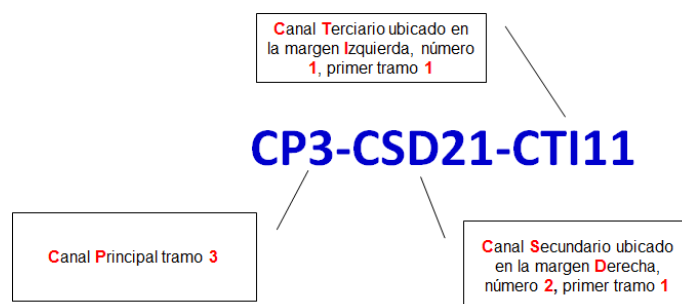
Figura 9. Diagrama unifilar de un sistema de riego gravitacional (sin escala)

En la Figura 9 se presenta un diagrama unifilar y la codificación de una red de canales (Figura 10). La red de canales se codifica en tramos, a su vez, tramo se define a aquella longitud de canal comprendida entre dos ramales consecutivos, por ejemplo, el tramo 2 del canal principal (CP2) se encuentra entre los ramales secundarios CP1-CSD1 y CP2-CS11.

En la codificación, para el canal principal se utilizan las letras CP, para el canal secundario CS y para el canal terciario CT. En el sentido de la dirección del flujo del agua, la nomenclatura a utilizarse para los canales secundarios ubicados en la margen derecha del canal principal es la letra "D" y para aquellos ubicados en la margen izquierda la letra "I" y así sucesivamente con el resto de la red de canales (Figura 9).

En el canal principal se observan 4 secciones (CP1, CP2, CP3 y CP4), cada sección se caracteriza por tener caudales y longitudes diferentes; se observan dos canales secundarios ubicados en la margen derecha y dos canales en la margen izquierda. El primer canal secundario ubicado en la margen derecha del canal principal se ha identificado como CP1-CSD1, esto significa que aguas arriba de este ramal o canal secundario se encuentra la primera sección del canal principal y es el primer canal lateral ubicado en la margen derecha.

El segundo canal secundario ubicado en la margen derecha del canal principal cuenta con dos secciones (CP3-CSD21 y CP3-CSD22) y se encuentra ubicado aguas abajo del tramo 3 del canal principal (Figura 10). Esta misma codificación puede utilizarse para la red de tuberías, considerando que la letra "C" de canal puede reemplazarse por la letra "T" de tuberías.



Fuente: Depeweg, 2002.

Figura 10. Codificación de los tramos en los canales.



Ejemplo: “En sistemas de riego existentes, el canal secundario toma el nombre de los poblados principales por los cuales cruza su trazado, por ejemplo, el segundo canal ubicado en la margen izquierda del canal principal Tumbaco se conoce como ramal Ilaló, con este nombre la codificación sería: CP2-CID2 o CP2-RID2”. El técnico puede armar su propia codificación en función de su necesidad.

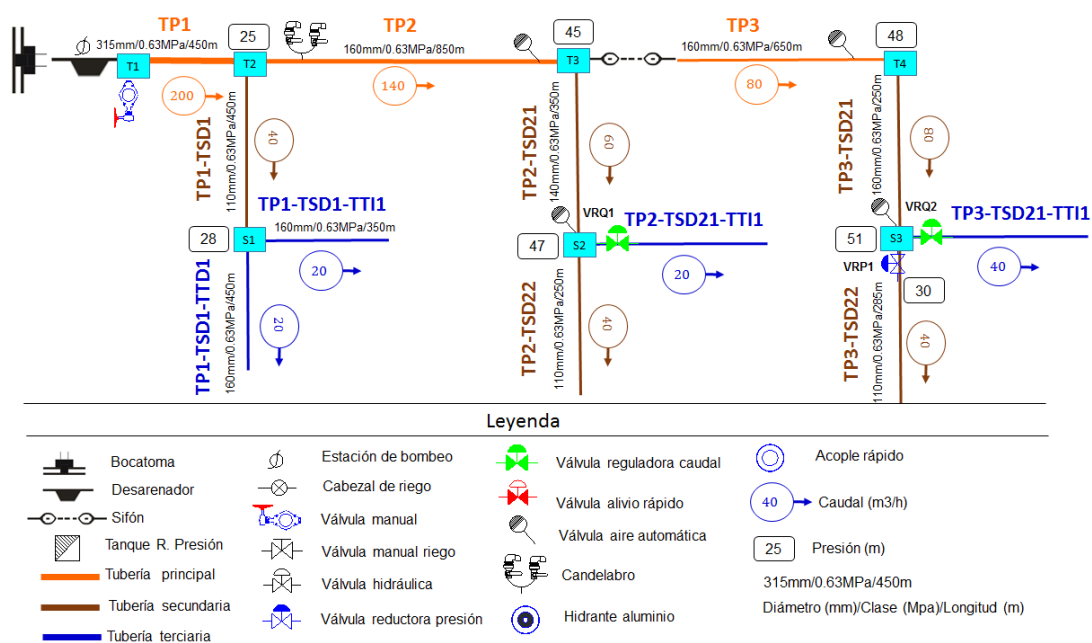


Figura 11. Diagrama unifilar de un sistema de riego presurizado (sin escala).

En la Figura 11 se presenta un diagrama unifilar y la codificación de una red de tuberías (Figura 10). Al igual que la red de canales, la red de tuberías se codifica en tramos, por ejemplo, el tramo 2 de la tubería principal (TP2) se encuentra entre los ramales secundarios TP1-TSD1 y TP2-TSD21.



En Resumen

En este segundo capítulo, se trata el tema del levantamiento de la información en campo. Para ello, se propone algunos elementos como: información cartográfica, equipos de georreferenciación, recorrido de la red de canales o tuberías, identificación de estructuras hidráulicas, la identificación de sitios importantes y procesamiento de la información.

La información cartográfica, hace relación a información que se debe recopilar, relacionada al sistema de riego y su área de influencia, como: croquis, plano catastral, levantamiento topográfico.

Los equipos de georreferenciación que se deben utilizar para una fase de campo son GPS, aplicaciones móviles o un dron. La información que se debe georreferenciar es la ubicación de la fuente de agua, el trazado de la red de canales o tuberías, la ubicación de unidades terciarias o de interés.

El recorrido de la red de canales o tuberías, inicia desde la fuente de agua hasta el área del proyecto de riego. La información a georreferenciarse depende del relieve y puede hacerse cada 200 metros de distancia entre punto y punto.

Ya en el recorrido se debe identificar y georreferenciar todas las estructuras hidráulicas, ya sea a nivel de canales (bocatoma, desarenador, tomas clandestinas, vertederos, caídas, compuertas, repartidores, sifones) o a nivel de tuberías (bocatoma, desarenador, reservorios, válvulas de todo tipo).

Adicionalmente, durante el recorrido es necesario identificar y georreferenciar los problemas que se pueden visualizar como: filtraciones, compuertas en mal estado, focos de contaminación, derrumbes, tomas clandestinas, entre otros.

Con toda la información generada en campo, se realiza el procesamiento de la información. Para ello se puede presentar 2 formatos: i) un esquema real de la información levantada (escala 1:5000) y ii) un diagrama unifilar (sin escala). En relación a este último, es una representación sin escala y codificada de cada una de las estructuras que tiene un sistema de riego.



CAPÍTULO 3. MEDICIÓN DE CAUDALES EN CANALES

Caso sistema de riego San Gabriel

El caudal promedio medido en la fuente de agua fue de 150 litros por segundo. Se utilizó el método del molinete. Las herramientas utilizadas fueron: una cinta de 30 metros de longitud, una cuerda, un flexómetro y el formato para la toma de datos.

Los usuarios contribuyeron con un machete, estacas y la limpieza de las márgenes del río. Se instruyó a dos usuarios en la operación del molinete y se acordó realizar una medición del caudal por semana, lo cual ayudará a obtener una mayor información de los caudales.

En la introducción anterior existen otros elementos importantes que deben ser considerados al momento de estar en la fase de campo del diagnóstico de la infraestructura de riego. Uno de los elementos más importantes es la medición de caudales. Este dato es muy importante, ya que determinará la cantidad de agua disponible, o la oferta de agua, para cualquier proyecto integral de riego.

La medición del caudal debe hacerse en los siguientes sitios en la temporada de estiaje según la tipología del proyecto:

1. *Tipología I* - proyecto nuevo: en la fuente o sitio en donde se implementará la captación (arroyo o pozo).
2. *Tipología II* - proyecto existente: si el proyecto es pequeño, en donde todos los agricultores son parte de una misma organización y su área de riego corresponde a una unidad terciaria u óvalo, la medición del caudal debe hacerse solo en la captación.
3. *Tipología III* - proyecto existente: si el proyecto a tecnificarse es parte de un proyecto de riego de mayor tamaño, la medición del caudal debe hacerse en la captación, en algunos puntos del canal o tubería principal y el caudal de entrada en la unidad terciaria u óvalo.

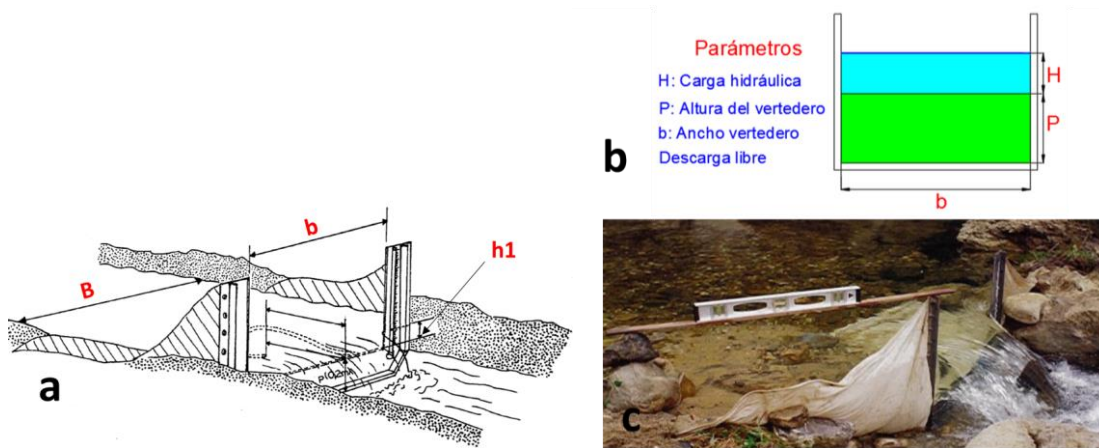
Para el caso de estaciones de bombeo, se debe revisar la placa del motor y el modelo de la bomba, así como los diámetros de la tubería de succión y de descarga.

Para medir caudales existen varios métodos, entre los cuales se describen los de mayor precisión a continuación:

Vertedero rectangular

Este método se utiliza en canales o cauces pequeños. Los vertederos son estructuras que se ubican en forma transversal a la dirección del flujo para producir un remanso aguas arriba para medir la carga hidráulica o altura de la lámina de agua sobre la cresta del vertedero, con el objeto de determinar el caudal que fluye por dicha sección. Estos vertederos pueden ser metálicos, de madera o de hormigón.

Los vertederos más utilizados para medir caudales con fines de riego son los vertederos rectangulares de pared fina (Figura 12).



Fuente: Anten & Willet, 2000.

Figura 12. Vertedero rectangular: a) esquema; b) dimensiones; c) medición en campo.

Para medir el caudal utilizando este tipo de vertedero se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

1. Seleccionar una sección del canal que permita producir una descarga libre en el vertedero y verificar que, el nivel del agua después o aguas abajo del vertedero sea al menos 5 cm más bajo que la cresta del vertedero (Figura 13).
2. Procurar que el vertedero se instale en forma perpendicular a la dirección del flujo del agua.
3. Medir la altura del agua sobre la cresta del vertedero (h_1 , Figura 12a).
4. Medir la altura del agua o carga hidráulica en el vertedero (H) a 4 veces la carga hidráulica medida en la cresta del vertedero (h_1); por ejemplo, si $h_1 = 0,1$ metros, la carga hidráulica H debe medirse a 0,4 metros aguas arriba del vertedero. Se debe medir la carga hidráulica al menos 3 veces con un intervalo de tiempo de 10 minutos.
5. Instalar el vertedero de tal forma que se eviten filtraciones por debajo de la estructura del vertedero.

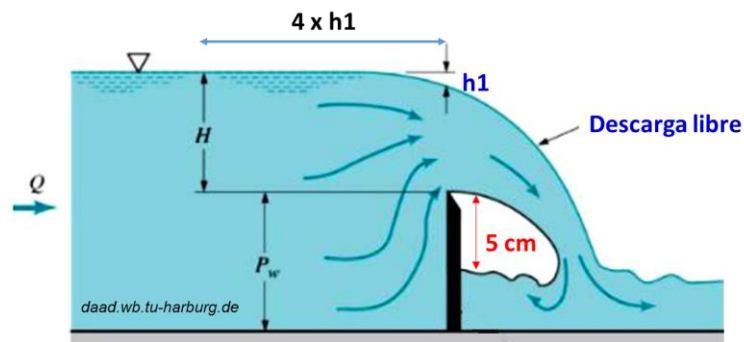


Figura 13. Descarga libre en un vertedero.

La fórmula que permite determinar el caudal sobre el vertedero rectangular de pared fina es la siguiente (Bos, 1989):

$$Q = 2,953 \times C_e \times b \times H^{1,5} \quad (1)$$

Donde:



Q es el caudal que fluye sobre el vertedero ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)

Ce es el coeficiente de descarga

b es el ancho de la cresta del vertedero (m)

H es la carga hidráulica sobre el vertedero (m)

B es el ancho de la fuente de agua (canal de riego, Figura 12a)

Para calcular el coeficiente de descarga (Ce) se deben utilizar las siguientes ecuaciones a partir de la relación b/B (Tabla 3).

Tabla 3. Coeficiente de descarga Ce en función de la relación b/B

No.	b/B	Ecuación
1	$\leq 0,1$	0,587
2	$\leq 0,2$	$Ce = 0,589 + 0,0018 \times \frac{H}{P}$
3	$\leq 0,3$	$Ce = 0,590 + 0,002 \times \frac{H}{P}$
4	$\leq 0,4$	$Ce = 0,591 + 0,0058 \times \frac{H}{P}$
5	$\leq 0,5$	$Ce = 0,592 + 0,0011 \times \frac{H}{P}$
6	$\leq 0,6$	$Ce = 0,593 + 0,018 \times \frac{H}{P}$
7	$\leq 0,7$	$Ce = 0,595 + 0,030 \times \frac{H}{P}$
8	$\leq 0,8$	$Ce = 0,597 + 0,045 \times \frac{H}{P}$
9	$\leq 0,9$	$Ce = 0,599 + 0,064 \times \frac{H}{P}$
10	$\leq 1,0$	$Ce = 0,602 + 0,075 \times \frac{H}{P}$

Fuente: Bos, 1989.

Ejemplo: en el canal terciario del ramal Churolooma (sistema de riego Tumbaco) se midió una carga hidráulica (H) de 0,08 metros (8,0 cm) sobre el vertedero; el ancho total del canal fue de 1,2 metros (B); el ancho de la cresta del vertedero de 0,4 metros (b) y la altura del vertedero fue de 0,2 metros (P); determine el caudal que fluye en dicha sección.

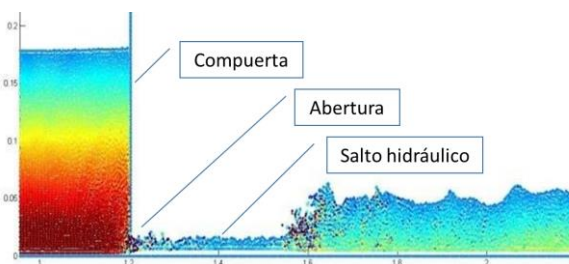
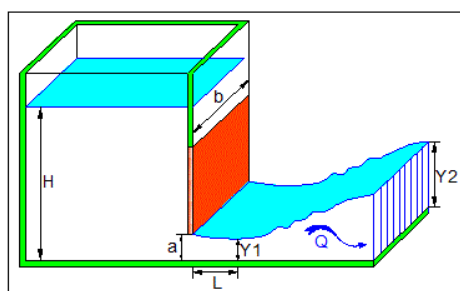
Tabla 4. Procedimientos para calcular el caudal

Paso	Parámetro	Fórmula y cálculo
1	b/B	$\frac{b}{B} = \frac{0,40}{1,2} = 0,33$
2	Ce (4)	$Ce = 0,591 + 0,0058 \times \frac{H}{P} = 0,591 + 0,0058 \times \frac{0,08}{0,2} = 0,59332$
3	Q ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	$Q = 2,953 \times Ce \times b \times H^{1,5} = 2,953 \times 0,59332 \times 0,4 \times 0,08^{1,5} = 0,01586$
4	Q (l s^{-1})	$Q = Q \times 1000 = 0,01586 \times 1000 = 15,86$

El caudal medido por el método del vertedero fue de 15,86 l s^{-1} .

Compuertas

Este método se utiliza en canales, en estructuras de entrega de caudales a unidades terciarias o usuarios. En muchos sistemas de riego, la entrega del agua a las unidades terciarias se hace a través de compuertas, las cuales pueden aprovecharse para medir el caudal de ingreso (Figura 14).



Fuente: Husain, Abo & Mustafa (2018)

Figura 14. Esquema de operación de una compuerta.

Para determinar el caudal que fluye a través de una compuerta se debe seguir el siguiente procedimiento:

1. Medir el ancho de la compuerta con precisión milimétrica (b)
2. Medir la altura de abertura de la compuerta con precisión milimétrica (a)
3. Medir la carga hidráulica (H) o altura del agua antes de la compuerta desde la base de la compuerta hasta el espejo de agua.

El coeficiente de descarga de la compuerta se determina a través de la siguiente ecuación (Bos, 1989).

$$Cd = 2,1322 \times \left(\frac{H}{a}\right)^{0,6106} \quad (2)$$

Donde:

Cd es el coeficiente de descarga de la compuerta

H es la carga hidráulica aguas arriba de la compuerta (m)

a es la abertura de la compuerta (m)

$$Q = Cd \times b \times a^{1,5} \quad (3)$$

Donde:

Q es el caudal que fluye bajo la compuerta ($m^3 s^{-1}$)

b es el ancho de la compuerta (m)

Ejemplo: a la entrada de un ramal secundario se encuentra instalada una compuerta rectangular de 0,4 metros de ancho (b), la altura de la abertura de la compuerta es de 0,15 metros (a) y la carga hidráulica aguas arriba de la compuerta fue medida en 0,5 metros (H), se requiere conocer el caudal que ingresa al ramal.

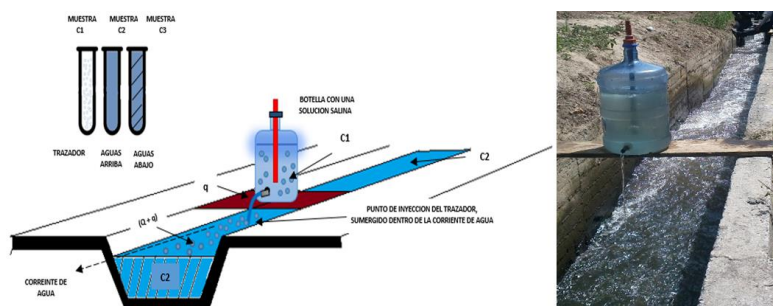
Tabla 5. Procedimiento para calcular el caudal en la compuerta

Paso	Parámetro	Fórmula y cálculo
1	Cd	$Cd = 2,1322 \times \left(\frac{0,5}{0,15}\right)^{0,6106} = 4,4473$
2	$Q (m^3 s^{-1})$	$Q = Cd \times b \times a^{1,5} = 4,4473 \times 0,4 \times 0,15^{1,5} = 0,10335$
3	$Q (l s^{-1})$	$Q = Q \times 1000 = 0,10335 \times 1000 = 103,35$

El caudal que ingresa al ramal a través de la compuerta fue de 103,35 $l s^{-1}$.

Aforo químico

Este método se utiliza en canales o cauces pequeños. Este método consiste en medir el caudal en un canal o cualquier cauce en base a la dilución de una solución medida a través de la conductividad eléctrica, es un método muy preciso. Los materiales que se necesitan son: un balde plástico de 20 litros, una botella de agua de 20 litros, un medidor de conductividad eléctrica (con dos decimales de precisión), un kilogramo de sal, un cronómetro, un vaso de precipitación de 50 mililitros, 1,0 litro de agua destilada y una jarra para recoger las muestras del agua en el canal. Este método funciona muy bien hasta un caudal de 100 l s^{-1} .



Fuente: Yungan, 2019; Pupiales, 2019.

Figura 15. Esquema del método del aforo químico.

Para medir el caudal a través de este método, de deben seguir los siguientes pasos:

1. Diluir 1.0 kg de sal en el tanque de 20 litros de agua (disolución), trasvasar la disolución a la botella de Mariotte. La botella de Mariotte se construye con materiales caseros. La salida del agua puede ser un esfero circular y el tubo que conecta la parte interna del tanque con la atmósfera puede ser un tubo de PVC de 8.0 mm; tanto la entrada como la salida se sellan con silicona.
2. Medir la conductividad eléctrica de la disolución en la botella Mariotte (C1, tres veces); se debe diluir la disolución, 1,0 mililitro en 50,0 mililitros de agua destilada.
3. Medir la conductividad eléctrica del agua en el canal aguas arriba del punto de inyección de la disolución (C2, tres veces).
4. Determinar el caudal de salida de la botella de Mariotte (q); medir el tiempo que tarda en llenarse un vaso de 50 mililitros de la disolución (tres veces).
5. Determinar el caudal de salida de la botella al dividir el volumen (mililitros) para el tiempo promedio (segundos); dividir este resultado para 1000 para transformar de mililitro por segundo a litro por segundo.
6. Procurar que el chorro que sale de la botella fluya hacia el centro del canal (Figura 15).
7. En el canal, a 10 metros de distancia desde el punto de inyección (aguas abajo de la caída del chorro), tomar tres muestras de agua (con la jarra de plástico) y medir la conductividad eléctrica (C).
8. Promediar las conductividades eléctricas (C, C1 y C2).
9. Determinar el caudal que fluye en el canal utilizando la ecuación 4 (Depeweg, 2002).



$$Q = \frac{q \times (C1 - C)}{C - C2} \quad (4)$$

Donde:

Q es el caudal que fluye en el canal (l s^{-1})

q es el caudal que se drena desde la botella de Mariotte (l s^{-1})

C1 es la conductividad de la disolución en la botella de Mariotte (dS m^{-1})

C es la conductividad del agua mezclada con la disolución en el canal (dS m^{-1})

C2 es la conductividad del agua que circula en el canal, antes de la inyección de la disolución (dS m^{-1})

Ejemplo: en el canal terciario del ramal Churolooma (sistema de riego Tumbaco) se midió una conductividad eléctrica de $0,24 \text{ dS m}^{-1}$ en el agua de riego (C2); la conductividad eléctrica de la solución en la botella de Mariott fue de $30,0 \text{ dS m}^{-1}$ (C1); la conductividad eléctrica del agua de riego con la solución inyectada desde la botella de Mariott 10 metros aguas abajo del punto de inyección fue de $0,35 \text{ dS m}^{-1}$ (C); el caudal constante de salida de la botella fue de $0,059 \text{ l s}^{-1}$; se requiere determinar el caudal que fluye en la sección.

$$Q = \frac{0,059 \times (30 - 0,35)}{0,35 - 0,24} = 15,90 \text{ l s}^{-1}$$

El caudal medido por el método del aforo químico fue de $15,90 \text{ l s}^{-1}$.

Método del molinete

Este método se utiliza en cauces (ríos o quebradas) y canales con caudales mayores a 100 l s^{-1} (Figura 16). El molinete debe estar en buen estado físico y calibrado, para que las lecturas de la velocidad del agua sean confiables. Este método consiste en trazar secciones a lo largo del cauce y medir la velocidad del agua en cada sección a diferentes profundidades. El cauce se divide en secciones desde 0.5 a 1.5 metros, y la velocidad del agua se mide a 3 o 4 profundidades. Es necesario preparar un formato para las mediciones de campo. Los materiales que se requieren son: dos estacas, una cinta métrica, tableta con el formato para registrar los datos y el molinete. Los procedimientos a seguir son:

1. Instalar dos estacas, una en cada margen del río.
2. Tensar una cuerda guía entre las dos estacas, procurar que la cuerda se encuentre en forma perpendicular a la dirección del flujo del agua.
3. Instalar una cinta métrica conjuntamente con la cuerda guía.
4. A la distancia seleccionada, primero medir la profundidad del cauce, luego medir la velocidad del agua a diferentes profundidades.
5. Calcular el área de cada sección (figuras geométricas: triángulo o rectángulo).
6. Calcular el promedio de la velocidad del agua en cada sección.
7. Determinar el caudal multiplicando el área por la velocidad.
8. Determinar el caudal del cauce sumando el caudal de cada sección.

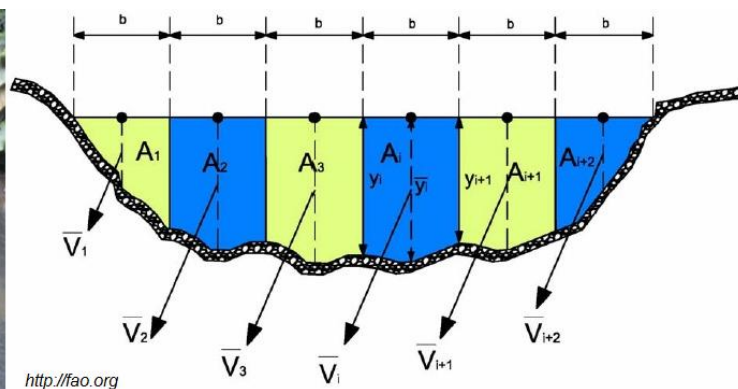
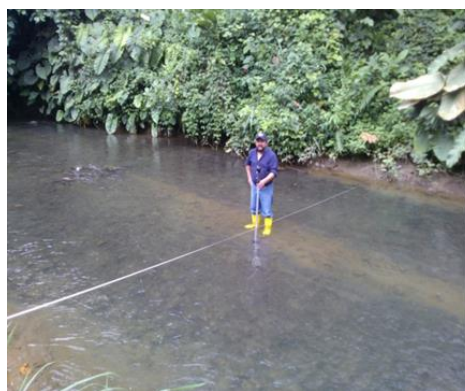


Figura 16. Esquema del método del molinete.

Ejemplo: en la siguiente tabla se presentan los valores medidos de profundidad y de la velocidad del agua según la metodología descrita.

Tabla 6. Cálculo del caudal por el método del molinete

No	Ancho (m)	Prof. (m)	Área (m ²)	V1 (m/s)	V2 (m/s)	V3 (m/s)	Vs (m/s)	Q (m ³ /s)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
1	0,4	0,10	0,02	0,03	-	-	0,03	0,001
2	0,5	0,22	0,08	0,24	0,37	0,37	0,33	0,026
3	0,5	0,25	0,12	0,49	0,58	0,00	0,36	0,042
4	0,5	0,26	0,13	0,55	0,61	0,00	0,39	0,049
5	0,5	0,28	0,14	0,61	0,64	0,58	0,61	0,082
6	0,5	0,26	0,13	0,52	0,49	0,55	0,52	0,067
7	0,5	0,23	0,12	0,34	0,40	0,00	0,24	0,028
8	0,5	0,23	0,12	0,24	0,27	0,00	0,17	0,020
9	0,5	0,24	0,12	0,27	0,30	0,00	0,19	0,023
10	0,5	0,25	0,12	0,37	0,40	0,00	0,25	0,031
11	0,5	0,27	0,13	0,40	0,49	0,49	0,46	0,059
12	0,5	0,27	0,14	0,49	0,46	0,55	0,50	0,067
13	0,5	0,26	0,13	0,58	0,61	0,61	0,60	0,078
14	0,5	0,28	0,14	0,49	0,55	0,61	0,55	0,074
15	1,3	0,26	0,34	0,30	0,24	0,30	0,28	0,096
8,20			1,95				0,37	0,744

En la columna (1) se presentan las secciones (un total de 15); en la columna (2), el ancho de cada sección; en la sección (3), la profundidad de la sección; en la columna (4), el área calculada por métodos simples (rectangular o triangular); en las columnas (5, 6 y 7), la velocidad en tres puntos de la columna de agua; en la columna (8), la velocidad promedio de la sección, y en la columna (9), el caudal del cauce, al multiplicar la columna (4) por la columna (8). El caudal medido por el método del molinete fue de 0,744 m³ s⁻¹ (744,00 l s⁻¹).

Método del flotador

El método del flotador es un método menos preciso que los anteriores, se utiliza para estimar caudales en canales de riego y en cauces naturales (Figura 17). Los materiales que se requieren son: dos estacas, una cinta métrica, flotadores (espuma flex), un cronómetro y una tableta con el formato respectivo para registrar los datos de campo. El procedimiento es el siguiente:

1. Identificar un tramo recto del canal (mínimo 10 metros). Que no exista mucha variación en la sección transversal del cauce, que exista una superficie laminar del agua (sin turbulencia) y que no existan cambios abruptos en la pendiente longitudinal.
2. En una margen del canal o cauce instalar dos estacas distanciadas a 10 metros entre ellas.
3. En una distancia de dos metros aguas arriba de la primera estaca, lanzar el flotador (espuma flex).
4. Medir el tiempo que toma el flotador en atravesar las dos estacas (ubicadas a 10 metros de distancia).
5. Repetir la medición tres veces.
6. Calcular el tiempo promedio.
7. Calcular la velocidad promedio del flotador (distancia ÷ tiempo); es necesario indicar que, la velocidad del flotador será más alta que la velocidad promedio del agua en el canal.
8. Medir la sección mojada del canal en los dos extremos (a la altura de las estacas) y promediar los valores. Desde un extremo del cauce, medir el ancho y dividirlo en secciones equidistantes (10, 20 o 50 cm), para cada sección medir la profundidad del fondo del cauce.
9. Determinar el coeficiente de ajuste en base a la profundidad promedio del agua en el canal (ecuación 5; Merkley, 2008).
10. Determinar el caudal (ecuación 6) multiplicando el área mojada por la velocidad promedio del flotador y por el coeficiente de ajuste.

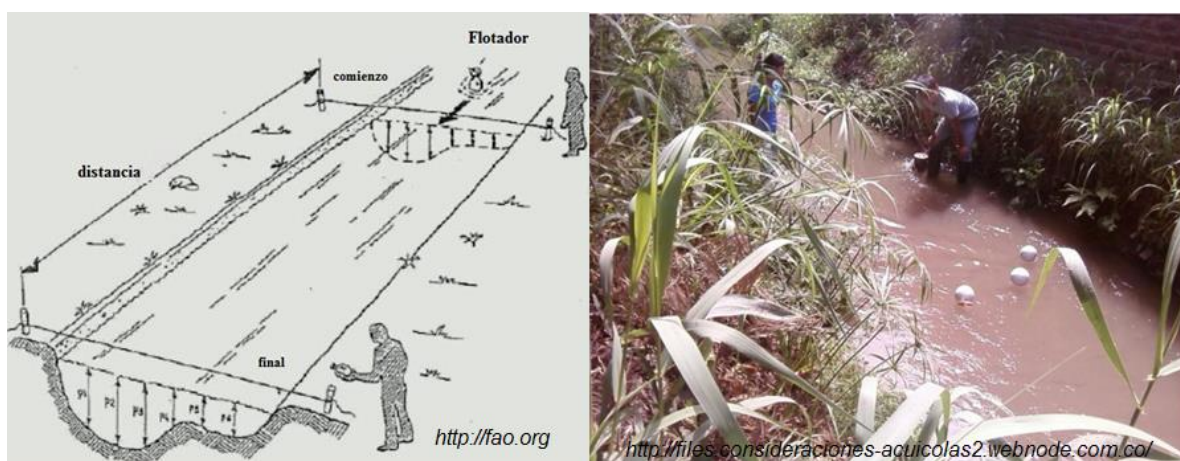


Figura 17. Esquema y método del flotador.

$$Cd = 0,714xH^{0,0695} \quad (5)$$

Donde:

Cd es el coeficiente de descarga



H es el tirante del agua o la profundidad promedio del agua (m)

$$Q = Cd \times A \times V \quad (6)$$

Donde:

Q es el caudal que fluye en el tramo ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)

A es el área promedio de las dos secciones (m^2)

V es la velocidad promedio del flotador (m s^{-1})

Ejemplo: en un canal rectangular (de hormigón) se midió: ancho del canal de 0,6 metros; profundidad del agua de 0,36 metros en las dos secciones; longitud entre las estacas de 10 metros; las velocidades promedio del flotador fueron: i) 0,36 minutos; ii) 0,42 minutos, ii) 0,39 minutos.

Tabla 7. Procedimiento para calcular el caudal por el método del flotador

Paso	Parámetro	Fórmula y cálculo
1	T promedio	$T = (0,36 + 0,42 + 0,39) \div 3 = 0,39 \text{ minutos}$
2	V (m s^{-1})	$V = 10 \div (60 \times 0,39) = 0,427$
3	Cd	$Cd = 0,714 \times 0,36^{0,0695} = 0,665$
4	A (m^2)	$A = 0,6 \times 0,36 = 0,216$
5	Q (l s^{-1})	$Q = 0,665 \times 0,216 \times 0,427 \times 1000 = 61,33$

El caudal medido en el canal fue de $61,33 \text{ l s}^{-1}$.



En Resumen

Este tercer capítulo, detalla los procesos para la medición de caudales en canales, es decir, la determinación de la cantidad de agua que fluye por una sección en una unidad de tiempo. Dependiendo del tipo de proyecto, se deberá realizar la medición de caudales, sin embargo, independiente del tipo, la medición se debe hacer en la temporada de estiaje (tiempo crítico).

Existen varios métodos para determinar el caudal de agua en canales, que utilizan diferentes equipos y que varían en su precisión. Así, un método con gran precisión es el vertedero rectangular, que se utiliza en canales o cauces pequeños. Es una estructura metálica que se ubica de forma transversal a la dirección del flujo del agua.

Un segundo método de cálculo son las compuertas, que son estructuras de entrega de caudales a unidades terciarias o usuarios. Estas estructuras se pueden aprovechar para determinar el caudal que fluye en los canales.

Un tercer método es el aforo químico que se utiliza en canales de cauces pequeños. consiste en medir el caudal en un canal o cualquier cauce en base a la dilución de una solución medida a través de la conductividad eléctrica, es un método muy preciso.

Un cuarto método es el molinete, que se utiliza en canales con cauces mayores a 100 litros por segundo. Este método consiste en trazar secciones a lo largo del cauce y medir la velocidad del agua en cada sección a diferentes profundidades, utilizando un equipo electrónico conocido como molinete.

Un quinto método es el flotador es un método menos preciso que los anteriores, se utiliza para estimar caudales en canales de riego y en cauces naturales. Se basa en la determinación del área del canal y la velocidad del agua en una sección de canal determinada.

CAPÍTULO 4. MEDICIÓN DE CAUDALES EN TUBERÍAS

Caso sistema de riego San Gabriel

En los recorridos que hizo el equipo de campo, identificó que el sistema San Gabriel, tiene un ramal que ha sido presurizado. El caudal promedio medido en la distribución al ramal fue de 30 litros por segundo. El caudal fue medido usando el método vertical de chorro de agua. Las herramientas utilizadas fueron: una cinta de 30 metros de longitud, un flexómetro, un balde y el formato para la toma de datos.

Se instruyó a dos usuarios en la forma de cálculo del caudal y se acordó realizar una medición por semana, lo cual ayudará a obtener una mayor información de los caudales.

En la introducción anterior existen elementos importantes que deben ser considerados al momento de estar en la fase de campo del diagnóstico de la infraestructura de riego. Uno de los elementos más importantes es la medición de caudales en tuberías. Para esto, existen algunas metodologías con diferentes precisiones y formas de cálculo.

Para medir el caudal en tuberías existen muchos procedimientos como:

1. Medidores ultrasónicos
2. Medidores volumétricos
3. Medición vertical del chorro del agua

Método ultrasónico

Si la institución cuenta con un medidor ultrasónico (Figura 18), entonces el caudal se debe medirlo con este equipo, caso contrario, previo a la visita de campo, se debe solicitar a los interesados la instalación de un medidor volumétrico en función del diámetro de la tubería, por ejemplo, si la tubería es de 90 mm, el medidor volumétrico a instalarse debería ser de 3" (aunque no necesariamente los equipos se dimensionan en base al diámetro de la tubería). En algunos proyectos de riego tecnificado como el sistema Macandamine – Mongara (ubicado en la provincia de Loja), a la entrada de una unidad terciaria existe una válvula volumétrica para medir y regular el caudal (esta válvula permite medir el caudal instantáneo y registrar el volumen de agua permanentemente).



Figura 18. Medidor ultrasónico de la velocidad del agua.

En proyectos en donde existen estaciones de bombeo, se debe revisar en la placa el modelo y la potencia de la bomba, así como, los diámetros de succión y de descarga. El modelo de la bomba permitirá determinar la curva característica y a partir de ella el caudal y la presión de operación.

Método del medidor volumétrico

En la mayoría de las redes presurizadas existen instalados medidores volumétricos, estos equipos pueden utilizarse para medir el caudal. Es un método muy sencillo y consiste en medir el volumen registrado en un determinado tiempo. Para el inicio de la prueba se registra el volumen en el medidor y luego de 10 minutos se vuelve a leer el volumen registrado, finalmente el caudal se determina al dividir la diferencia entre el volumen final y el inicial, para el tiempo de la prueba (Figura 19).



Figura 19. Medidores volumétricos.

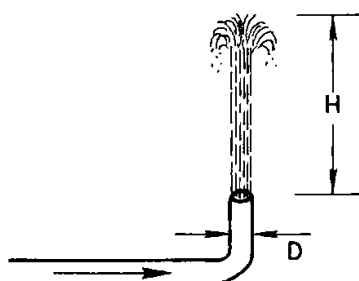
Ejemplo: el volumen inicial se registró en 120,364 m³, el volumen final en 128,486 m³, en un tiempo de 10 minutos, se requiere conocer el caudal que fluye en la tubería.

$$Q = \frac{V_f - V_i}{T} \times 16,6667 = \frac{128,486 - 120,364}{10} \times 16,6667 = 13,5367 \text{ l s}^{-1}$$

El caudal medido por el método volumétrico fue de 13,5367 l s⁻¹.

Medición vertical del chorro de agua

Este método consiste en medir la altura que alcanza el chorro de agua (Figura 20). Al final de la tubería se debe instalar un codo de 90 grados en forma vertical, de tal manera que permita que el chorro de agua sea también vertical.



Fuente: Bos, 1989.

Figura 20. Esquema del chorro vertical.

Tabla 8. Fórmulas para calcular el caudal

Condición 1: $H < 0,4 D$	Condición 2: $H > 1,4 D$
Ecuación 1	Ecuación 2
$Q = 5,47 \times D^{1,25} \times H^{1,35}$	$Q = 3,15 \times D^{1,99} \times H^{0,53}$

Fuente: Bos, 1989.

Si la altura del chorro (H) varía entre 0,4 y 1,4, se promedian los caudales determinados para las dos condiciones.



Donde:

Q es el caudal que fluye en la tubería ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)

D es el diámetro interno de la tubería (m)

H es la altura que alcanza el chorro de agua (m)

Ejemplo: el diámetro interno de la tubería es de 50 mm (0,05 m), la altura del chorro de agua fue de 18 cm (0,18 m), ¿se requiere conocer el caudal que fluye en la tubería?

Tabla 9. Procedimiento para calcular el caudal en la compuerta

Paso	Parámetro	Fórmula y cálculo
1	Condición 1	$0,4 \times D = 0,4 \times 0,05 = 0,02$
2	Condición 2	$1,4 \times D = 1,4 \times 0,05 = 0,07$
3	H es mayor a 1,4 D, por lo tanto, debe utilizarse la ecuación 2 (Tabla 6)	
4	Q ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	$Q = 3,15 \times D^{1,99} \times H^{0,53} = 3,15 \times 0,05^{1,99} \times 0,18^{0,53} = 0,00327$
5	Q (l s^{-1})	$Q = Q \times 1000 = 0,00327 \times 1000 = 3,27$

El caudal medido en la tubería fue de $3,27 \text{ l s}^{-1}$.

Método del orificio

En algunos sistemas de riego, la entrega del agua a las unidades terciarias se realiza a través de tubos de longitud corta, los cuales funcionan como orificios (Figura 21). Para determinar el caudal que fluye por un orificio, se debe medir la carga hidráulica aguas arriba o antes del orificio, desde el espejo de agua hasta el centro del orificio y medir el diámetro interno del orificio (Bos, 1989).

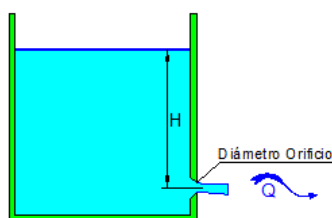


Figura 21. Esquema del orificio.

$$Q = 2087,33 \times D^2 \times \sqrt{H} \quad (5)$$

Donde:

Q es el caudal que fluye a través del orificio (l s^{-1})

D es el diámetro interno del orificio (m)

H es la altura entre el espejo de agua y el centro del orificio (m)

Ejemplo: el diámetro interno de la tubería es de 59 mm (0,059 m) y la carga hidráulica de 0,4 metros, se requiere conocer el caudal.

$$Q = 2087,33 \times 0,059^2 \times \text{raíz}(0,4) = 4,6 \text{ l s}^{-1}$$

El caudal que fluye a través del orificio es de $4,6 \text{ l s}^{-1}$



Para estaciones de bombeo, la forma más precisa de determinar el caudal es la de registrar la presión de operación y el modelo de la bomba (detallado en la placa del motor de la bomba). El modelo de la bomba permitirá determinar la curva caudal – presión, entonces, para la presión de operación registrada en campo, el caudal de bombeo se determina fácilmente a partir de dicha curva.

En forma general, se dice que el caudal de bombeo es igual al cuadrado del diámetro de la tubería de succión de la bomba. Por ejemplo, si el diámetro de la succión es de 4 pulgadas, el caudal de bombeo sería de 16 litros por segundo ($16 = 4^2$).

Es importante señalar que, durante la fase de campo y recorrido por el sistema de riego, adicionalmente a la medición de caudales, es importante realizar la toma de muestras de agua en la fuente, para determinar su calidad. En la guía “Diagnóstico ambiental de las fuentes de agua de un sistema de riego”, se encuentra la metodología y los criterios para el análisis de la calidad de agua.



En Resumen

En este cuarto y último capítulo, se detalló algunos métodos de medición de caudales en tuberías, es decir, la determinación de la cantidad de agua que pasa en un tiempo determinado por una sección de tubería.

Se han propuesto tres métodos de medición, que requieren diversos equipos y fórmulas de cálculo. El primer método es el ultrasónico, que requiere para su medición un equipo ultrasónico y que determina de forma instantánea el caudal que fluye por la tubería.

Un segundo método es el medidor volumétrico, que son equipos similares a un medidor de agua potable y que miden el volumen de agua utilizado en un determinado tiempo.

El tercer método es la medición vertical del chorro de agua, que consiste en medir la altura que alcanza el chorro de agua. Al final de la tubería se debe instalar un codo de 90 grados en forma vertical, de tal manera que permita que el chorro de agua sea también vertical.

Un cuarto método es el del orificio que, en algunos sistemas de riego, la entrega del agua a las unidades terciarias se realiza a través de tubos de longitud corta, los cuales funcionan como orificios. Para determinar el caudal que fluye por un orificio, se debe medir la carga hidráulica aguas arriba o antes del orificio, desde el espejo de agua hasta el centro del orificio y además, medir el diámetro interno del orificio.

Un quinto método, específico para estaciones de bombeo, para determinar el caudal se requiere registrar la presión de operación y el modelo de la bomba (detallado en la placa del motor), el modelo permitirá determinar la curva de operación de la bomba y en base a la presión de operación, determinar el caudal.



IV. CONCLUSIONES

La obtención de la información sobre el proyecto de riego es fundamental en el proceso de identificación del área de riego y de la infraestructura hidráulica (memorias técnicas, planos, esquemas y fotos). La ubicación preliminar de la información de base en sistemas de información geográfica permite identificar rápidamente el área de riego, pendiente, infraestructura, vías, ríos, etc., lo cual ayudará a levantar rápidamente la información de campo.

En esta fase, el plano del proyecto de riego con el área, fuente de agua e infraestructura hidráulica es muy importante para la toma de decisiones respecto a su viabilidad o no, por cuanto, se requiere la mayor diligencia en el levantamiento de la información de campo y su posterior procesamiento. La participación de los usuarios en el trabajo de campo es mandatorio y la aprobación de la información procesada es un requisito obligatorio.

El caudal varía a lo largo del tiempo, siendo el crítico (de menor valor) el que se presenta en la época de estiaje o de verano, siendo este valor el que debe conocerse con fines de riego. La metodología que debe utilizarse para medir el caudal debe ser la de mayor precisión, siendo el orden de precisión el siguiente: ultrasónico, aforo químico, vertedero, molinete, flotador. Para redes de tuberías, el método más preciso es el método ultrasónico.



V. ABREVIATURAS UTILIZADAS

a:	altura de la apertura de la compuerta (m)
A:	área de una sección (m^2)
b:	ancho de la compuerta o de la cresta del vertedero (m)
B:	ancho del cauce aguas arriba del vertedero (m)
C:	conductividad eléctrica del agua mezclada con la disolución ($dS\ m^{-1}$)
C1:	conductividad eléctrica de la disolución ($dS\ m^{-1}$)
C2:	conductividad eléctrica del agua de riego en el canal ($dS\ m^{-1}$)
Ce:	coeficiente de descarga del vertedero rectangular
Cd:	coeficiente de descarga
D:	diámetro interno de una tubería (m)
Efp:	eficiencia global o de proyecto (decimal)
H:	carga hidráulica (m)
Q:	caudal ($l\ s^{-1}$)
qfc:	caudal ficticio continuo ($l\ s^{-1}\ ha^{-1}$)
QP:	caudal del proyecto ($l\ s^{-1}$)
S:	superficie (ha)
T:	tiempo (s)
Vi:	volumen inicial (m^3)
Vf:	volumen final (m^3)

VI. GLOSARIO

En los siguientes párrafos se definen algunos términos utilizados en el presente documento, derivados de información de la Comisión Internacional de Riego y Drenaje y la Organización Mundial para la Agricultura y la Alimentación (Depeweg, 2002; Ankum, 2002).

Área de comando: como área de comando se define a toda la superficie potencialmente irrigable que se encuentra bajo la cota de la red de tuberías o canales primarios, secundarios y terciarios.

Área secundaria: como área secundaria se define a toda la superficie potencialmente irrigable que se encuentra bajo la cota de la red de tuberías o canales secundarios y terciarios.

Unidad terciaria: como unidad terciaria se define a toda la superficie potencialmente irrigable que se encuentra bajo la cota de la red de canales terciarios, la superficie de una unidad terciaria varía entre 20 y 50 hectáreas y también se define en función de la cantidad de usuarios (máximo 30). En países como la India, Pakistán o Indonesia, a nivel de la unidad terciaria se forman las juntas de usuarios, considerando que los canales principales y secundarios son operados y mantenidos por una agencia de operación y mantenimiento. En Ecuador, a nivel de la unidad terciaria existen las directivas de los óvalos, encargados de mantener la red de canales y las estructuras hidráulicas, siendo parte de la Junta de Regantes, encargada de la operación y mantenimiento de la red de canales principales y secundarios.

Bloque hidráulico: como bloque hidráulico también se define a una unidad terciaria, conformado por varios usuarios con su respectiva directiva, recibe el agua de riego desde un canal secundario.



Canal principal (CP): se define a aquella estructura hidráulica revestida o no revestida de sección rectangular, trapezoidal, triangular o circular utilizada para transportar el caudal desde la bocatoma hasta los canales secundarios.

Canal secundario (CS): se define a aquella estructura hidráulica revestida o no revestida de sección rectangular, trapezoidal, triangular o circular utilizada para transportar el caudal desde el canal principal hasta los canales terciarios.

Canal terciario (CT): se define a aquella estructura hidráulica revestida o no revestida utilizada para transportar el caudal de un módulo de riego desde el canal secundario hasta la cabecera de parcela de los usuarios.

Compuertas: es una estructura de madera o de hierro, que se desliza a través de carriles o correderas, se coloca en canales, diques, quebradas, etc., para graduar o cortar el paso del agua, con accionamiento manual, motorizado o automático.

Diagrama unifilar: es el esquema gráfico del sistema de riego, sin escala, en el cual se incluyen los componentes principales: bocatoma, desarenador, compuertas, canales, área de riego, caudales. Es muy importante para el análisis y presentación de la información de campo, y ayuda en la toma de decisiones por las autoridades.

Espejo de agua: es la lámina de agua que divide un cuerpo de agua de la atmósfera.

Óvalo: infraestructura construida para derivar el agua desde un canal secundario a una unidad terciaria de riego o bloque hidráulico.

Repartidor: es una estructura utilizada para distribuir el agua entre dos o más canales.

Sector de riego: muy utilizado en riego presurizado (aspersión) y forma parte de una unidad terciaria, es aquella área cultivada que cubre un módulo de riego, el cual puede variar entre 3 y 10 l s⁻¹; por ejemplo, el óvalo Tunga (provincia de Tungurahua) es una unidad terciaria, cuenta con un módulo de riego asignado de 60 l s⁻¹ y el riego está organizado en 12 sectores, cada sector con un caudal de 5 l s⁻¹.

Toma de entrega: es aquella estructura hidráulica que se construye para entregar el agua a los agricultores desde las tuberías o los canales terciarios, en canales pueden ser compuertas, orificios con válvula o partidores proporcionales, mientras que en tuberías pueden ser válvulas manuales o hidráulicas.



VII.BIBLIOGRAFÍA

Ankum, P. 2002. Flow Control in Irrigation Systems. Lecture Notes of the Master of Science program in Land and Water Development. IHE, Delft, The Netherlands.

Anten, M. & Willet, H. 2000. Guía para el Diagnóstico Enfocado de sistemas de Riego: DER. Proyecto de Cooperación PRONAMACHCS – SNV. Cajamarca, Perú.

Bos, M. 1989. Discharge measurement structures. International Institute for Land Reclamation and Improvement – ILRI. Wageningen, the Netherlands.

Depeweg, H. 2002. Irrigation Topics: Manual Fieldwork Arnhem. Lecture Notes of the Master of Science program in Land and Water Development. IHE, Delft, The Netherlands.

INRENA. 2005. Formulación del inventario de la infraestructura de riego y drenaje y vías de comunicación en los distritos de riego del Perú. Lima, Perú.

Pupiales, I. 2019. Determinación de la eficiencia de conducción y distribución en el ramal “el pueblo” del sistema de riego Tumbaco. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.

Merkley, G. 2008. Irrigation conveyance and control: flow measurement and structure design. Lecture notes. Utah State University, Logan Utah, United States.

Montufar, et al. 2017. Levantamiento catastral del sistema de riego Tumbaco. Unidad de Vinculación con la Sociedad. Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.

Yungan, A. 2019. Determinación de la eficiencia de conducción y distribución en el ramal “Churolooma” del sistema de riego Tumbaco. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.



VIII. ANEXOS

UNIDADES IMPORTANTES

Las unidades más importantes referentes a los temas tratados en el presente documento se presentan en la Tabla 10, las unidades se transforman de fila a columna.

Tabla 10. Transformación de unidades de láminas de agua

Unidades	mm d^{-1}	$\text{m}^3 \text{d}^{-1} \text{ha}^{-1}$	$\text{l s}^{-1} \text{ha}^{-1}$
mm d^{-1}	-	$L \times 10$	$\frac{L}{8,64}$
$\text{m}^3 \text{d}^{-1} \text{ha}^{-1}$	$\frac{V}{10}$	-	$\frac{V}{86,4}$
$\text{l s}^{-1} \text{ha}^{-1}$	$q \times 8,64$	$q \times 86,4$	-

Ejemplo: transformar una lámina de $8,64 \text{ mm d}^{-1}$ al resto de unidades.

Tabla 11. Ejemplo de transformación de unidades

Unidades	mm d^{-1}	$\text{m}^3 \text{d}^{-1} \text{ha}^{-1}$	$\text{l s}^{-1} \text{ha}^{-1}$
mm d^{-1}	-	86,4	1,0

Entonces, una lámina de $8,64 \text{ mm d}^{-1}$ equivale a $10,0 \text{ m}^3 \text{d}^{-1} \text{ha}^{-1}$ y a $1,0 \text{ l s}^{-1} \text{ha}^{-1}$ (Tabla 11).

Tabla 12. Transformación de unidades de caudal

Unidades	$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$	l s^{-1}	$\text{m}^3 \text{h}^{-1}$
$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$	-	$q \times 1000$	$q \times 3600$
l s^{-1}	$\frac{q}{1000}$	-	$q \times 3,6$
$\text{m}^3 \text{h}^{-1}$	$\frac{q}{3600}$	$\frac{q}{3,6}$	-

Ejemplo: transformar un caudal de $280 \text{ m}^3 \text{h}^{-1}$ al resto de unidades.

Tabla 13. Transformación de unidades de caudal

Unidades	$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$	l s^{-1}	$\text{m}^3 \text{h}^{-1}$
$\text{m}^3 \text{h}^{-1}$	$\frac{280}{3600} = 0,0778$	$\frac{280}{3,6} = 77,7778$	-

Se tiene que, un caudal de $280 \text{ m}^3 \text{h}^{-1}$ equivale a $0,0778 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$ y a $77,7778 \text{ l s}^{-1}$ (Tabla 13)