



**Cartillas pedagógicas
ENDA Colombia**

TOMO II

**Monitoreo Ambiental
Comunitario:
Caudal Hídrico
y su medición**

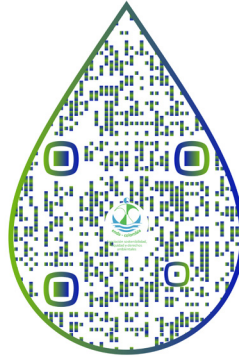


Asociación sostenibilidad,
equidad y derechos
ambientales

Cartillas pedagógicas
ENDA Colombia

Tomo II

Caudal hídrico y su medición



Primera Edición: 2024
Primera impresión en Colombia: 2024, ENDA Colombia
<http://www.endacol.com/>

Cubierta e ilustraciones: Inti Tolosa Corrales
Diseño y diagramación: Daniela Parra Campos

Esta publicación y su contenido es responsabilidad exclusiva de los autores. Este es un documento de carácter educativo y esta prohibida su venta. Se permite la reproducción parcial o total de la misma siempre y cuando se cite a sus autores y se respeten los contenidos. Para reproducciones de la totalidad de la publicación deben citar la totalidad de autores y financiadores, así como respetar la diagramación original. El conocimiento es un derecho humano.

Impreso en Colombia - Printed in Colombia
ISBN: 978-958-9280-13-3
Impreso por Stilo Impresores S.A.S.

1. Introducción			
1. Breve introducción.....	4		
1. ¿Para qué se hacen este proceso en el marco del MAC?	6		
2. Introducción.....	7		
3. Conceptualización:			
• Hidrología.....	9		
• Hidrometría.....	9		
• Caudal.....	10		
4. Tipos de caudal:			
• Caudal Base.....	11		
• Caudal de acondicionamiento..	12		
• Caudal de mantenimiento.....	13		
• Caudal generador.....	14		
• Caudal máximo.....	15		
5. Régimen hidrológico.....	16		
6. ¿Por qué es útil la medición del caudal?.....	18		
2. Medición de caudal.....	19		
1. ¿Cómo se calcula el caudal?.....	20		
2. Equipos y materiales.....	22		
3. Elección de la sección para medición.....	23		
4. Métodos de medición.			
• Método volumétrico.....	24		
• Método velocidad - área.....	29		
• Método de vertedero.....	35		
» Rectangular.....	37		
» Triangular.....	39		
		» Circular.....	40
		» Trapezoidal.....	41
3. ¿Qué se hace con los resultados?.....	42		
1. Registrar la información recolectada en campo.....	43		
2. Tabla de registro de datos.....	43		
3. Hidrogramas de medición de caudal.....	44		
4. ¿Cómo construir un hidrograma de caudales?.....	45		
5. Normatividad asociada.....	46		
4. Glosario y abreviaturas.....	47		
5. Créditos cartilla.....	48		

Breve contexto del monitoreo ambiental comunitario del agua, sus desafíos y urgencias.

El Monitoreo Ambiental Comunitario -MAC-, con énfasis en agua, ha sido en los últimos años una constante del trabajo de Enda en conjunto con comunidades en diversas zonas del país. La importancia del monitoreo en los procesos comunitarios que defienden el agua y la vida es sustancial, y tres factores dotan de relevancia el avance de los procesos de monitoreo por parte de las comunidades, no solo en Colombia sino en cualquier rincón del mundo: i) la sensatez o el sentido común, ii) el cuidado y vigilancia del agua como esencial común para la vida y, iii) la defensa de la dignidad y los derechos.

La sensatez o el sentido común tienen que ver con lo evidente, el cambio de la vida cotidiana de millones de personas por contaminación, acaparamiento o escasez del agua, la alteración del agua es progresiva y pone en peligro a miles de comunidades. La inminencia de múltiples crisis ambientales nos invita a la defensa del agua y pensar su estrecha relación con los derechos. El gran indicador de democracia y justicia de las naciones será el lugar que se le dé al agua en el ordenamiento territorial y su relación con el bien-estar o buen vivir de las comunidades y de los ecosistemas.

La voz de quienes abrazan el agua y su fluir libre es poderosa, así en apariencia, se ahogue ante el dominio estridente de la mano invisible de quienes ostentan el brazo fuerte de la dominación global. El sentido común advierte el evidente deterioro del agua y los ecosistemas que la sustentan, comunidades, ambientalistas, activistas y científicos advierten a gritos que el equilibrio y normalidad del ciclo del agua están siendo afectados mortalmente. El poder del mercado y su estrecha noción del agua como recurso, deja tras de sí múltiples tragedias ambientales, al tiempo que engrosa la acumulación de rentas y fortalece los dispositivos de dominación de unas inmensas minorías. La variabilidad climática, hoy por hoy, amenaza el sustento alimentario y la disponibilidad de agua para los marginados y empobrecidos. Las inequidades socioambientales dejan tras de sí heridas a los pueblos, la tierra, el aire y por supuesto al agua.

Décadas de extractivismo y modelos de “desarrollo” centrados en el negocio, en el “útese y bótese” y en el desmedido apetito del mercado se hacen sentir con fuerza, sobre todo, en los sectores populares, en los millones de campesinos y cada pueblo indígena o étnico. Hoy, el sentido común nos indica la necesidad de

establecer un diálogo de saberes. El reto de defender el agua nos invita a reconocer el rol del conocimiento científico (diferente al argumento que se viste de ropaje científico por sofisticados diseñadores corporativos) y el valor de los saberes comunitarios como vía para enfrentar los desafíos que se manifiestan hoy y que se agudizarán mañana.

El cuidado y vigilancia del agua como esencial común para la vida indican el cuidado del terruño, de la madre tierra, del fluir de la vida, de lo que nos es común para vivir, lo que es de todos y no puede, ni debe, ser apropiado por nadie. El cuidado de los esenciales comunes implica la solidaridad y el entender el nosotros en relación a los otros, el yo en relación con la naturaleza, “el yo, el otro -el nosotros-” que, en su conjunto, ha acompañado el desarrollo de la vida humana.

El cuidado y vigilancia de los esenciales comunes implica ponernos de acuerdo, aprender de las comunidades que tienen arraigos en la tierra y el agua, de la solidaridad que implica su gestión, del bien-estar que se sustenta en el beneficio común. . El cuidado de los comunes hoy nos indica que el agua es un asunto tan importante que debe estar en todas las manos, sobre todo en aquellas que viven y sienten sus microcuencas, sus cuencas, los acuíferos y, por lo tanto, los bosques, los páramos, los glaciares, los humedales, los esteros,

los morichales, la montaña y la selva. Implica que la ciencia se hermane con las causas de los pueblos y mantenga una vigilancia crítica al poder, es pertinente contemplar los desafíos estructurales y las bondades de cuidado del agua basado en soluciones naturales.

La defensa de la dignidad y los derechos tiene que ver con el sentido común y la defensa de los esenciales comunes: agua, aire, tierra. Esta triada que nos da la comida, la salud, la libertad, la posibilidad del sentir y el pensar. La defensa de la dignidad en relación con el agua nos presenta la urgencia de participar y decidir colectivamente, nos indica que el agua debería ser la centralidad en todas las agendas sociales y reivindicativas, una condición innegociable en las grandes propuestas de cambio de rumbo y las decisiones políticas .

Andreiev Pinzón Franco

¿Para qué medir el caudal durante el proceso de MAC?

- Esta es una práctica que resulta necesaria en la medida que, permite a las comunidades conocer de primera mano la dinámica propia de cada fuente de agua, de forma veraz y oportuna.
- El tener esta información de primera mano, permite que las comunidades puedan ejercer una mejor Gestión Comunitaria del Agua (GCA).
- A partir de la recopilación de esta información, las comunidades pueden elaborar bases de datos que permitan la creación de histogramas para entender mejor las dinámicas del territorio.
- Esta acción también permite antecederse a escenarios de escasez hídrica, por efectos de la variabilidad climática, generando estrategias que permitan determinar la disponibilidad de agua con fines de consumo humano, agricultura y ganadería.
- Por último, podría ayudar a prevenir emergencias en tanto se tenga monitoreo de algún cambio súbito del caudal, lo cual es un indicador de alerta por llegarse a presentar arrastre en masa y poniendo en riesgo a la ciudadanía asentada en mayor proximidad al cuerpo de agua.

Introducción

El relacionamiento constante de las comunidades con sus fuentes hídricas es esencial para poder garantizar una dinámica correcta de la misma, sin que esta se vea afectada por cualquier actividad antrópica que se lleve a cabo en el margen hídrico o ronda, y a su vez, toda acción biótica o natural, tampoco lleve a posibilitar algún escenario anormal o riesgoso para la comunidad o la fuente en sí.

Por lo tanto, en el desarrollo de esta cartilla, se pretende abordar un tema de incidencia directa sobre las dinámicas de las fuentes hídricas, que es la medición del Caudal de Agua, el cual, es un dato que permite conocer a las comunidades el volumen de agua disponible para poder llevar a cabo diversas actividades cotidianas y a su vez, garantizar el suministro de agua para el consumo humano, esto tras su proceso de potabilización, llevado a cabo mayoritariamente por los acueductos comunitarios en las zonas rurales del territorio Nacional, y por consiguiente, pensarse en el aseguramiento de la garantía al

Derecho Humano al agua, suficiente, salubre, accesible y asequible para uso personal, doméstico e inclusive agrícola y ganadero, entendiendo las características socio económicas de la ruralidad y las periferias urbanas.

En ese sentido, la cartilla es una herramienta práctica que permite a las comunidades, entendiendo las diferentes características territoriales, llevar a cabo medición de caudales del agua en el marco de procesos de **MAC**, potencializando su relacionamiento con el agua y el territorio, y entendiendo de forma más amplia, compleja y experimental, las dinámicas actuales que tienen las fuentes hídricas, como consecuencia de la variabilidad climática que ha ejercido nuevas presiones ambientales, de un par de años para acá.

The background features a complex, abstract pattern of wavy, layered lines in various shades of green and teal, set against a light, off-white background. The lines are irregular and organic, creating a sense of depth and movement, similar to marbled paper or a topographical map. The overall effect is a textured, flowing visual field.

Conceptualización

Hidrología¹

Es una ciencia dedicada al estudio de las aguas del planeta tierra, las cuales se encuentran en: los océanos, la superficie terrestre y la atmósfera. Su interés radica en poder estudiar las propiedades físicas, químicas y mecánicas de dichas aguas, así como su distribución, circulación y flujo a nivel regional y global.

Resulta ser una ciencia sumamente importante en grandes áreas del desarrollo humano, puesto que implica conocer las propiedades y el comportamiento del agua en sus distintas etapas y condiciones, lo cual es vital a la hora de planificar actividades de orden social, económicas, políticas o de diseñar estrategias ambientales.

Hidrometría²

La palabra hidrometría proviene del griego hydro- 'agua' y -metría 'medición'. Entonces, hidrometría significa 'medición del agua', sea el agua que corre en un riachuelo o en un río, la que pasa por una tubería, la que se produce en un pozo, la que llega a —o sale de— una planta de tratamiento, la que se consume en una ciudad, industria o residencia, etcétera.

Entonces, la hidrometría se encarga de medir, registrar, calcular y analizar los volúmenes de agua que circulan transversalmente a través de un cuerpo de agua, canal o tubería en un margen de tiempo determinado.

1 Fuente: <https://concepto.de/hidrologia/#ixzz8PCYNyVeh>

2 Fuente: <https://www.ingenieriasanitaria.com.pe/pdf/cap5.pdf>

Caudal¹(Q)

Es una ciencia dedicada al estudio de las aguas del planeta tierra, las cuales se encuentran en: los océanos, la superficie terrestre y la atmósfera. Su interés radica en poder estudiar las propiedades físicas, químicas y mecánicas de dichas aguas, así como su distribución, circulación y flujo a nivel regional y global.

Resulta ser una ciencia sumamente importante en grandes áreas del desarrollo humano, puesto que implica conocer las propiedades y el comportamiento del agua en sus distintas etapas y condiciones, lo cual es vital a la hora de planificar actividades de orden social, económicas, políticas o de diseñar estrategias ambientales.

Tipos de caudal²

Existen varios tipos de caudal, los cuales están asociados a diversas características que este puede tener según algunas variaciones derivadas de actividades naturales y/o antrópicas, las cuales inciden directamente con la cantidad o tiempo del paso de agua y, por lo tanto, con las dinámicas propias de cada ambiente asociado a su distribución y flujo hídrico.

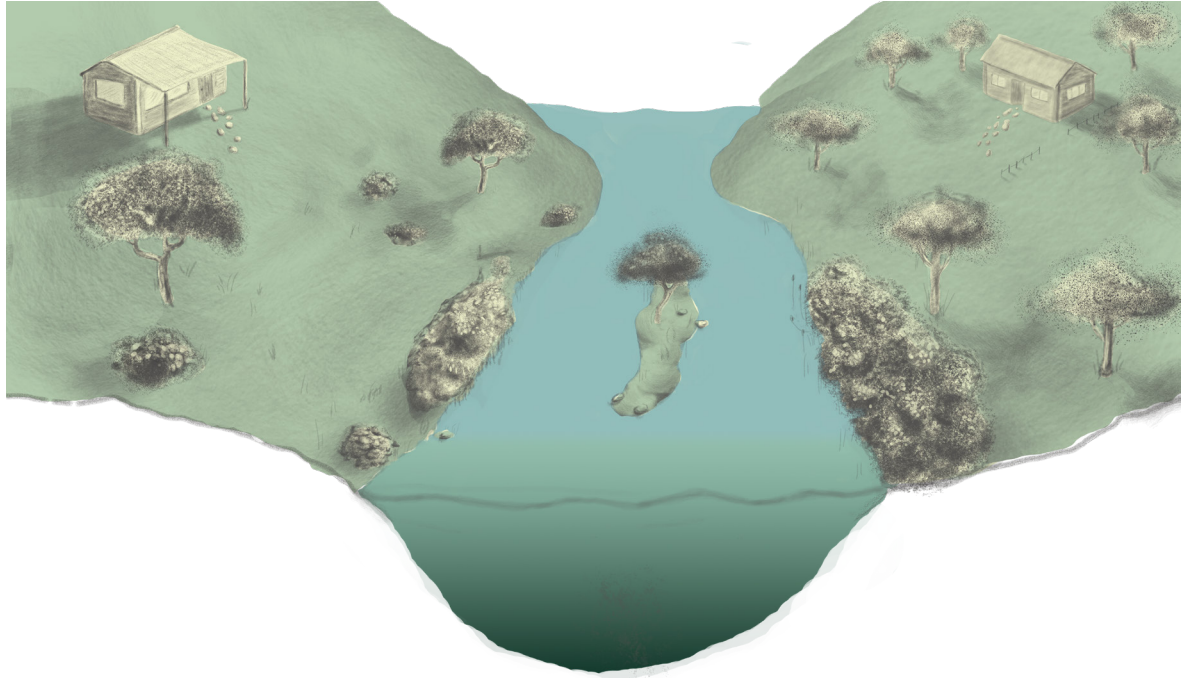
- » Caudal Base
- » Caudal de acondicionamiento
- » Caudal de mantenimiento
- » Caudal generador
- » Caudal máximo

1 Fuente: https://web.archive.org/web/20190501142301id_/https://pubs.usgs.gov/of/1985/0089/report.pdf

2 Fuente: Magdaleno, F (2004). *Caudales ecológicos: conceptos básicos, métodos de cálculo y nuevas interpretaciones.*

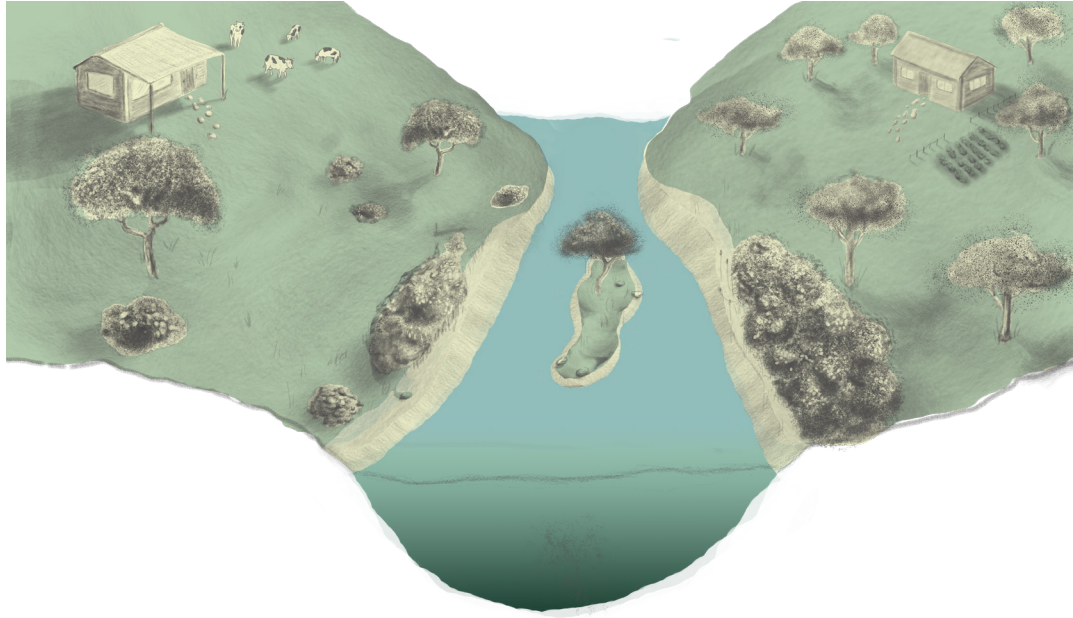
Caudal base (Q_b)

Es el caudal mínimo necesario que requiere un cuerpo de agua para mantener sus características y dinámicas normales, en lo que respecta al componente biótico (flora y fauna), esto basado en criterios hidrológicos, los cuales son autóctonos de cada cuerpo de agua, según el ambiente fluvial considerado.



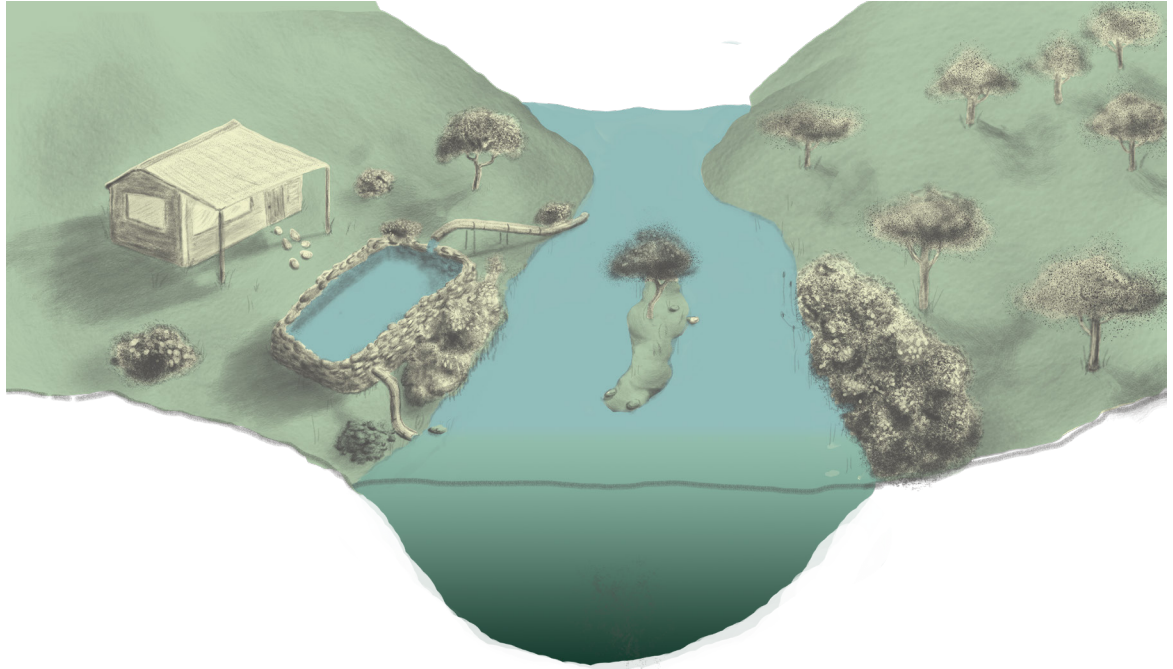
Caudal de mantenimiento (Q_m)

Se trata de un caudal asociado a una práctica conservacionista, es decir, que mantenga las características bióticas del ecosistema fluvial. Se diferencia del caudal base, puesto que este busca responder a la necesidad de fijar un régimen de caudal que sea capaz de responder a los escenarios de variabilidad temporal más probables según el caso específico de cada cuerpo de agua, en ese sentido, tener la capacidad, en la mayor parte de los años, la reproducción y desarrollo exitosos de los seres vivos que conforman el ecosistema.



Caudal de acondicionamiento (Q_a)

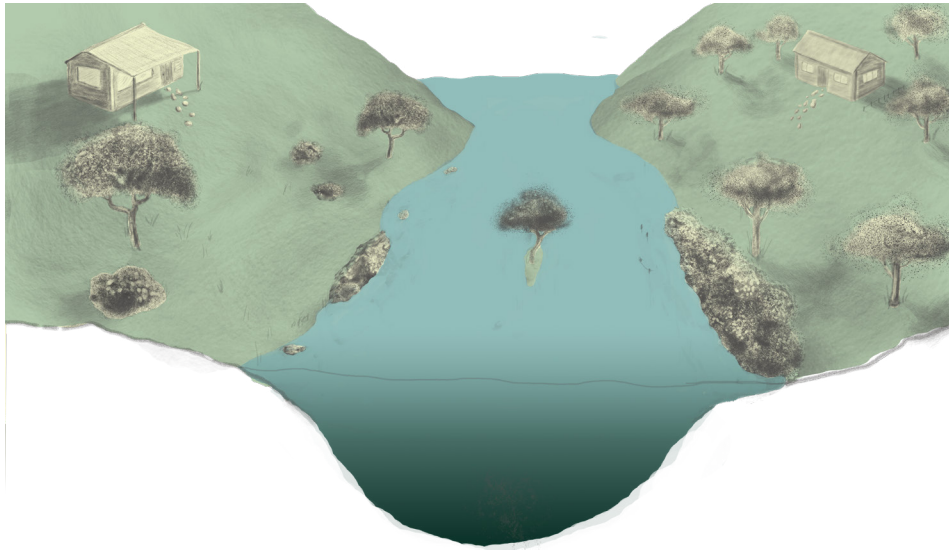
Se trata de un caudal complementario al caudal base o de mantenimiento, puesto que, este tiene una finalidad concreta del uso del agua, ajena a la conservación de los aspectos bióticos del ecosistema y se refiere a aspectos abióticos, como por ejemplo: Usos recreativos, paisaje, dilución, etcétera.



Caudal generador (Q_g)

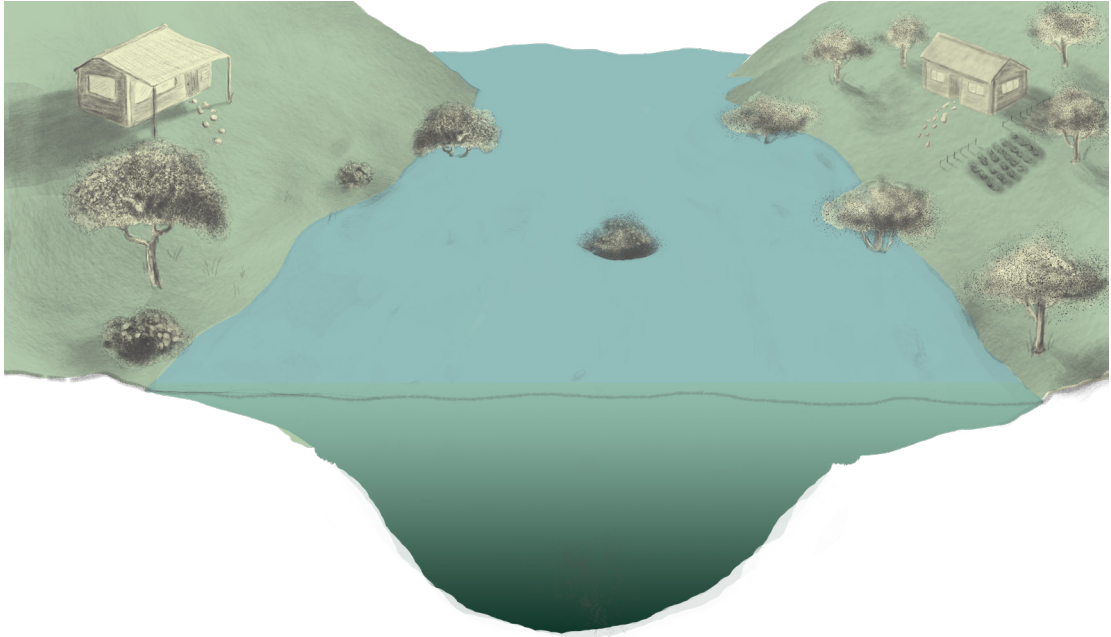
Es aquel caudal que mediante su cauce tiene una ocupación plena de su sección ordinaria, es decir, amplía su flujo de orilla a orilla. No obstante, resulta complejo definir la 'orilla' de un cuerpo de agua, por lo que este, es una medida de caudal que resulta algo difusa y no resulta trivial definirlo.

Sin embargo, existe la posibilidad de calcular dicho caudal de forma aproximada, el cual resulta a partir de la media de las máximas crecidas anuales de los últimos 10 años consecutivos en un tramo concreto del cuerpo de agua a calcular.



Caudal máximo (Q_{max})

Se trata del caudal mayor que debe o puede circular por la fuente hídrica sin generar afectaciones externas como inundaciones, no puede ser superado por algún otro y, se debe establecer un nivel máximo para llevar el control del cauce. Este tipo de caudal, limita la posibilidad de que se desarrollen cambios geomorfológicos, puesto que abarca la totalidad del área inundable circundante a la fuente. Su cálculo se hace a partir de la distribución de una serie de datos de valores máximos registrados.



Régimen hidrológico (RH)

Es el resultado de toda la integración de las dinámicas que ocurren en una cuenca hidrográfica, es decir, todo proceso y sinergia relacionado con: *El clima, la topografía, geología, suelos, vegetación, área y forma de la cuenca, tipo de acuífero y usos del suelo.* Todo cambio o acción dada sobre estos elementos incide sobre el RH, puesto que altera aspectos específicos de este, tales como: infiltración y escorrentía, que a su vez, inciden de forma directa sobre el caudal.

*Cuenca hidrográfica:
Es un territorio drenado por la misma fuente de agua, la delimita la línea de las cumbres (divisoria de aguas).*

Entonces...

El RH, se define de acuerdo a las variaciones de caudal. Los siguientes aspectos son los principales responsables de modificar el caudal de la fuente.

La infiltración, ya que es el agua que ingresa a través de los poros del suelo, llegando hasta las aguas subterráneas, para luego de días, semanas e incluso meses, incorporarse a la fuente de agua, no obstante, es un aspecto que suele ser más positivo, ya que prevé escenarios de escasez de agua, en la medida que dispone sus aguas tiempo después de las precipitaciones.

La escorrentía, que es la capa de agua que se desplaza por la superficie del suelo hasta llegar a la fuente de agua en un tiempo demasiado corto, por su parte, si puede ser un aspecto de monitoreo, ya que puede hacer sobrepasar el Q_{max} , generando emergencias por desbordamiento e inundaciones.

¿Por qué resulta útil la medición del caudal?

Medir el Q permite a las comunidades tener un relacionamiento directo con sus fuentes de agua, ya que, a partir de esta medición es posible establecer un vínculo que permite conocer de primera mano las dinámicas y características autóctonas de cada fuente y, en ese sentido, da pie a poder enfocarse en procesos cuidado y protección de la misma, previendo escenarios de riesgo o emergencia de orden biótico o abiótico.

Por lo tanto, es importante llevar consignado, en una base de datos, toda la información asociada al Q, pues posibilita a tener en cuenta aspectos técnicos relacionados al flujo hídrico, conociendo así el régimen hidrológico del territorio, para generar estrategias de GCA frente a la protección, preservación y cuidado de sus fuentes de agua y, escenarios de escasez hídrica efecto del CC.



Medición de Caudal

¿Cómo se mide el caudal (Q)?

Existen diversas formas y métodos¹ para realizar la medición del caudal, sin embargo, para los procesos de MAC se emplean principalmente el método volumétrico y el de 'velocidad - área' por la facilidad y precisión que tienen para ser desarrollados en diferentes contextos comunitarios sin necesidad de utilizar equipos tecnológicos que son ser de difícil acceso en muchos casos. Además, se presenta un método de medición para vertederos, los cuales son utilizados en contextos más técnicos que requieren de elementos de la ingeniería civil. No obstante, al emplear alguno de los tres métodos que se explican en la cartilla se posibilita a quien hace la medición el poder obtener resultados fiables, verídicos y acordes con los distintos flujos de agua.

¹ Fuente: *Manual de Medición de Caudales. Instituto Privado de Investigación Sobre Cambio Climático. Guatemala, 2017*

Métodos de medición:

- MAC —
1. Método volumétrico (a).
 2. Método velocidad - área (b).
 3. Método de vertedero

Fórmulas:

a. $Q = V / t$

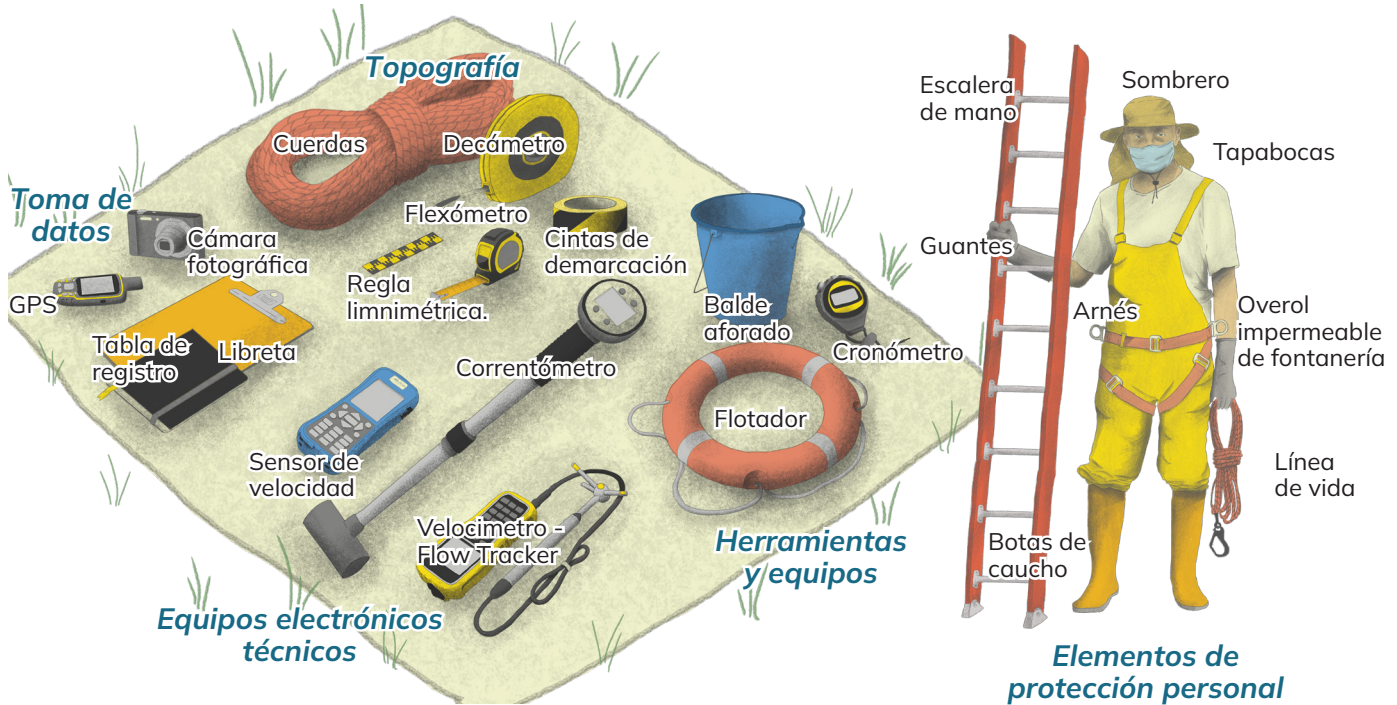
b. $Q = v * A$

Donde:

- » **Q= Caudal**
- » **v= Velocidad**
- » **A= Área**
- » **V= Volumen**
- » **t= Tiempo**

Las fórmulas (a) y (b) son aquellas que se emplean más comúnmente en el MAC. En la página 24 y 29, respectivamente, veremos su aplicación en contextos reales.

Hablemos de equipos y materiales



¿Cómo elegir la sección para realizar la medición del caudal (Q)?

Antes de elegir dicha zona, debemos tener en cuenta algunas características que van a garantizar exactitud en nuestra medición y seguridad para quien está realizando el procedimiento.

- Accesibilidad, es decir, se debe poder llegar a este lugar sin mayor complicación.
- El tramo debe ser lo más recto posible.
- Ubicación estable, que garantice que no haya acumulación de sedimentos y/o erosión.
- La velocidad de la corriente no puede ser mayor de 2.5 metros por segundo (m/s), tampoco pueden ser aguas estancadas.
- Zona homogénea, es decir, que el flujo sea igual en toda la sección.
- Que no hayan 'rápidos' ni zonas turbulentas.
- Una zona sin maleza u obstáculos.
- Evitar pendientes pronunciadas o escalones.

1. Método volumétrico

Este es uno de los métodos más precisos, puede ser utilizado en fuentes de agua superficiales, como pequeñas quebradas y riachuelos, además, en sistemas de abastecimiento (acueductos comunitarios).

Consiste en llenar un balde aforado, el cual es aquel al que le conocemos su capacidad o volumen y contabilizar el tiempo en que este se llena, posteriormente utilizar la fórmula (a).

Fórmula (a) →
$$Q = \frac{V^1}{t}$$

Donde:

- » Q= Caudal
- » V= Volumen
- » t= tiempo

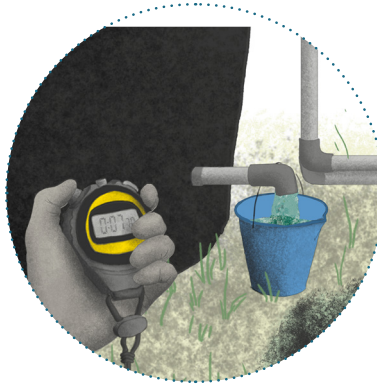
¹ Caudal es **igual** al volumen del balde aforado **dividido** el tiempo que tarda en llenarse.

PASO A PASO

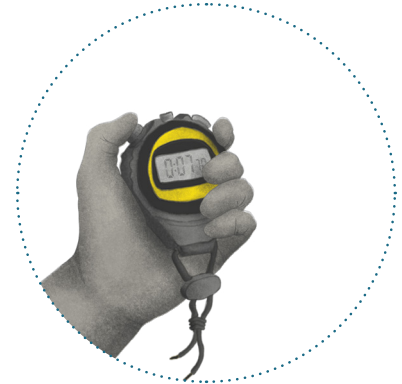
1. Ubicar un lugar donde se pueda recolectar el agua que fluye a través de la sección (tramo de la quebrada) o tubería.



2. Llenar el balde aforado en su totalidad.

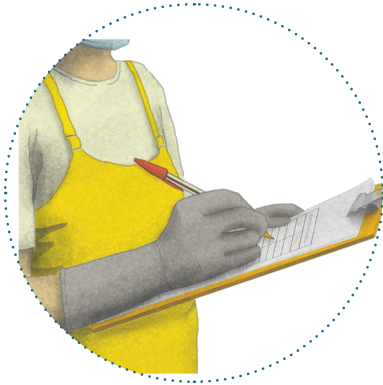


3. Contabilizar el tiempo que tarda en llenar.



Nota: Un balde aforado es aquel que tiene un volumen definido. Por ejemplo 5 litros

4. Registrar en la tabla los tiempos.



5. Repetir 5 veces para mayor precisión y promediar.



6. Aplicar la fórmula (a).

Medición volumétrica	
No.	Tiempo
1	
2	
3	
4	
5	
Promedio	

Cálculos fórmula (a)

$$Q = \frac{V}{t}$$

Q = Corresponde al caudal de agua que queremos conocer.

V = Volumen del balde o recipiente que vamos a usar el cual previamente se conoce, usualmente es expresado en litros (l) o metros cúbicos (m³).

t = Se refiere al promedio de los tiempos, registrados en segundos (s), en los que el balde se llenó.

Se hace la división de volumen **V** sobre tiempo **t**, así obtendremos el caudal (**Q**) expresado en: metros cúbicos por segundo (m³/s) ó litros por segundo (l/s).

Ejemplo práctico...

El fontanero de un acueducto comunitario de los llanos orientales quiere conocer cuál es el caudal óptimo para el adecuado funcionamiento de los filtros de agua con los que cuenta su sistema de abastecimiento. Por lo tanto, él ha decidido empezar a medir el caudal semanalmente para determinar cuál es el flujo óptimo para que el acueducto no presente fallas, por ello, alistó un balde de 10 litros de capacidad, un cronómetro y una tablilla de registro.


En la primera semana, el balde se llenó en aproximadamente 6 segundos, por lo que, al emplear la fórmula para determinar el caudal ($Q=V/t$) dividió los 10 litros en los 6 segundos que tardó en llenarse el balde completamente, lo cual significa un caudal de 1,66 l/s con el que los filtros funcionan muy bien. Durante las siguientes tres semanas, el tiempo que tardó en llenarse el balde fue de 5,2; 6,1 & 5,7 segundos respectivamente, en lo que tampoco evidenció fallas de funcionamiento.

Sin embargo, la cuarta semana el balde tardó en llenarse 7,9 segundos, para entonces los filtros no funcionaron correctamente ya que se colmataron¹. Entonces, el fontanero quiere saber ¿Cuál es el caudal de la semana 4 que impide el correcto funcionamiento del acueducto?

¹ Es cuando el agua no fluye a través del filtro debido a la poca fuerza que lleva (baja presión) o por el contrario, cuando esta es muy alta y conlleva el arrastre de sólidos que tapan el paso del agua por el filtro.

2. Método velocidad - área

Este es el método más común que se utiliza para conocer el caudal de fuentes de agua superficiales como los ríos. Se basa especialmente en conocer la velocidad en la que fluye el agua a través de la sección o tramo del río seleccionado y en determinar el área que ocupa el mismo tramo a partir de la medición y cálculo del promedio de la profundidad, multiplicado por el ancho del río. Una vez conociendo estos datos aplicar la fórmula (b).

Fórmula (a)  $Q = v * A^1$

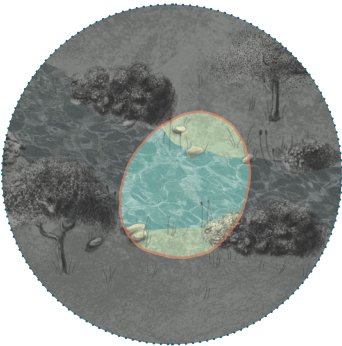
Donde:

- » Q= Caudal
- » v= Velocidad
- » A= Área

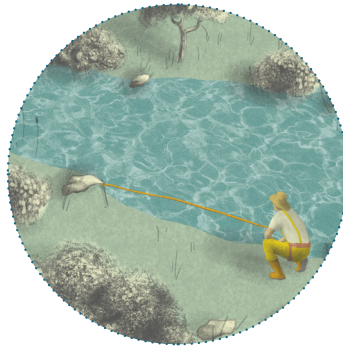
¹ Caudal es **igual** a la velocidad de la corriente **multiplicado** por el área por donde atraviesa.

PASO A PASO

1. Identificar la sección o tramo idóneo para hacer la medición, según las características expuestas anteriormente.



2. Medir un transecto (tramo a la orilla) paralelo a la corriente del río, este será la distancia que utilizaremos para determinar la velocidad.



3. Medir el ancho del transecto (ancho del río) de orilla a orilla en 3 o 4 puntos.

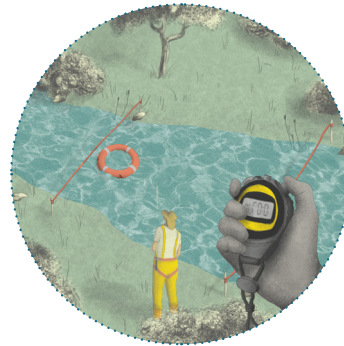


Tomar la matriz de cálculos para ir registrando los datos tomados en campo. (Ver matriz en página 32)

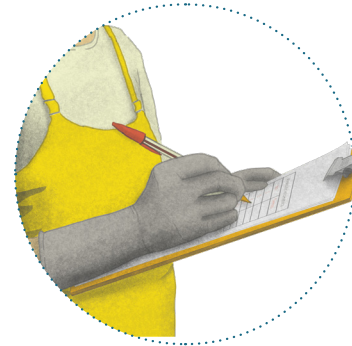
4. Ahora, de forma perpendicular a la corriente del río, realizar la medición de la profundidad cada 30 a 50 centímetros (profundidad de orilla a orilla), dependiendo el ancho del transecto o tramo.



5. Por último, tomar el flotador y dejarlo desplazarse a través de la corriente de todo el transecto o tramo previamente identificado, con el cronómetro, contabilizar el tiempo que tarda en llegar de extremo a extremo. Repetir de 3 a 5 veces.



6. Promediar los valores que se registraron en tiempo, profundidad y ancho del tramo.



7. Aplicar la fórmula (b)

Tabla de registro de datos para aplicar fórmula (b)

Registro de datos para estimación de caudal								
Datos in situ								
Datos	Valor	Unidad	Datos	Valor	Unidad	Datos	Valor	Unidad
Ancho ₁		m	Fondo ₁		m	Tiempo ₁		s
Ancho ₂		m	Fondo ₂		m	Tiempo ₂		s
Ancho ₃		m	Fondo ₃		m	Tiempo ₃		s
Ancho τ		m	Fondo _{τ}		m	Tiempo _{τ}		s
Distancia		m	Fondo τ		m	Tiempo τ		s
Cálculos								
$v = D/t$		m/s	Área= (A τ *F τ)	0	m ²	Q = v * A		m ³ /s
Coefficiente error	0,8		Q τ = Q*CE		m ³ /s			

Cálculos fórmula (b)

$$Q = v * \acute{A}$$

(Caudal) (velocidad) (Área)

$$v = \frac{D}{t}$$

(Distancia) (tiempo)

$$\acute{A} = A * F$$

(ancho) (Fondo)

La velocidad resulta de la división entre **Distancia D** y **tiempo t**, usar el tiempo promedio.

El área es resultado de la multiplicación de los promedios del ancho del tramo y la profundidad.

Se hace la multiplicación de velocidad **v** por área **A**, así obtendremos el caudal expresado en: metros cúbicos por segundo (m³/s) ó litros por segundo (l/s).

Nota 1:

Para efectos de exactitud en los cálculos de la fórmula (b), teniendo en cuenta las diversas variaciones que pueden existir a la hora de hacer las mediciones, especialmente para calcular el área de la sección o tramo, se recomienda multiplicar el resultado por el **coeficiente de error: 0,8**. (Ver en tabla de registro) y así obtendremos el resultado final.

Nota 2:

Para el cálculo de la velocidad, también se pueden utilizar equipos electrónicos especializados para la medición de la velocidad de la corriente (ver herramientas y materiales). Los equipos electrónicos pueden tener un porcentaje de precisión más elevado, sin embargo, la validez de la medición de la velocidad con el flotador es la misma, siempre y cuando se haga con la debida rigurosidad.

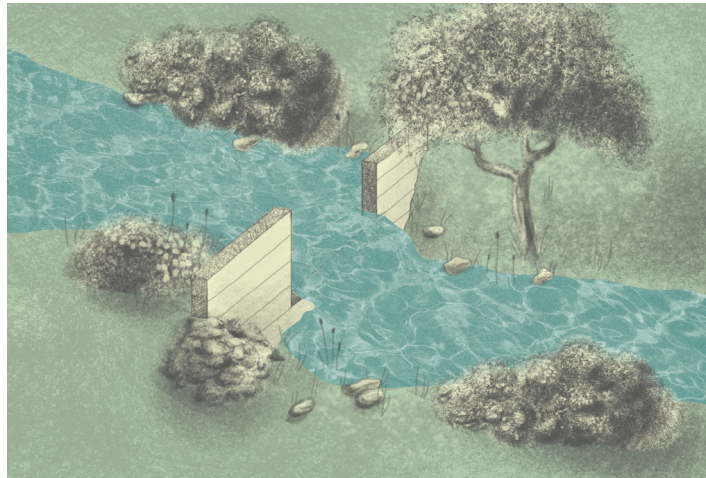
$$Q_{total} = Q * CE^1$$

(Caudal) (Coeficiente de error)

1 Caudal total es **igual** al caudal resultado de la fórmula (b) **multiplicado** por el coeficiente de error.

3. Método de vertedero

Un vertedero, es básicamente una pared que se ubica de forma transversal al flujo de agua, la cual cuenta con una sección por donde atraviesa el agua y tiene un área definida conforme a la altura que alcanza el nivel del agua, por lo que, resulta la forma más precisa a la hora de hacer mediciones de caudal.

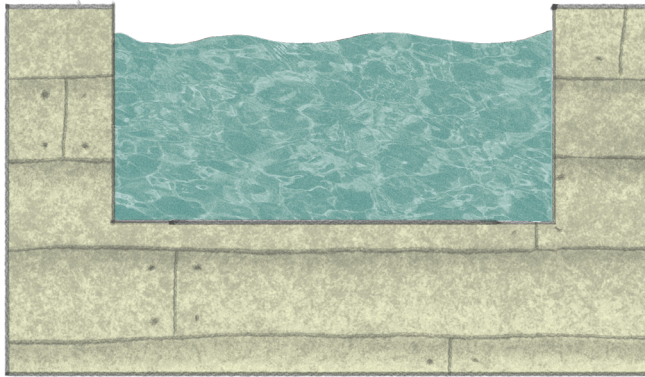


Tipos de vertedero

Los vertederos se clasifican según su forma, y en ese mismo orden se aplican las fórmulas según corresponda...

- » Vertedero Rectangular.
- » Vertedero Triangular.
- » Vertedero Circular.
- » Vertedero Trapezoidal.

Vertedero Rectangular



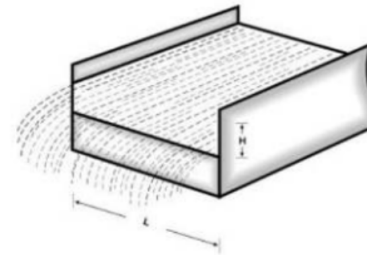
Dentro de los vertederos, este resulta el más fácil para su construcción, por lo que es el más utilizado, además, es sencillo su cálculo ya que solo se debe emplear la fórmula¹ con datos conocidos, como el ancho de la cresta (L) y la altura, la cual se mide inmediatamente se vaya a hacer el cálculo, puesto que el vertedero deberá tener una regleta de medición de altura, no obstante, existen dos subtipos de este vertedero, que distinguen por tener dos cortinas laterales o no, sin embargo, las mediciones por donde atraviesa el agua se hacen de la misma manera.

¹ La fórmula se aplica según el subtipo de vertedero rectangular.

a. Vertedero Rectangular con contracciones



b. Vertedero Rectangular sin contracciones



Una vez identificado el tipo, se deberá aplicar la fórmula, según corresponda.

$$Q = 1.84x (L-0,2H) * H^{3/2}$$

$$Q = 1.84x L * H^{3/2}$$

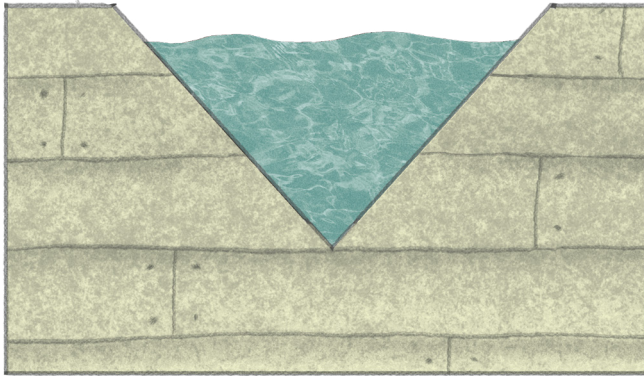
Donde:

Q = Caudal que fluye por el vertedero, en m^3/s

L = Ancho de la cresta, en m

H = Carga del vertedero, en m .

Vertedero Triangular



Este tipo de vertedero mantiene la forma de un triángulo isósceles, con una apertura en su vértice inferior de 90°, por lo que, se usa en canales pequeños, su cálculo también es muy sencillo, ya que solo requiere conocer la altura del flujo (H) y aplicar la fórmula.

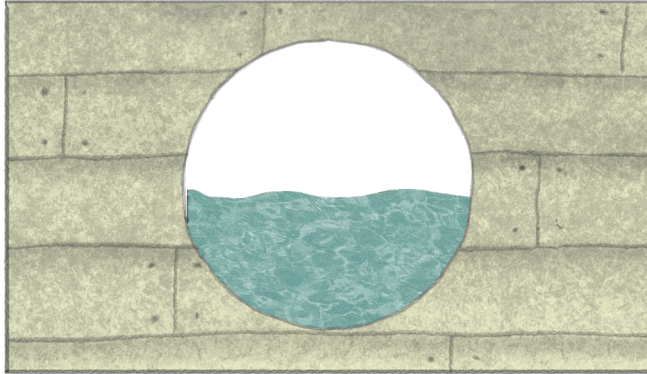
$$Q = 1.4 * H^{5/2}$$

Donde:

Q = Caudal que fluye por el vertedero, en **m³/s**

H = Carga del vertedero, en **metros.**

Vertedero Circular



Este es el menos común de los vertederos, pues usualmente se usa para canales o aguas subterráneas canalizadas, sin embargo, al no requerir medida de la cresta por su forma geométrica, no requiere nivelación a la hora de su construcción. Únicamente se debe medir la altura del cauce y aplicar la fórmula.

$$Q = 1.518 * D^{0.693} * H^{1.807}$$

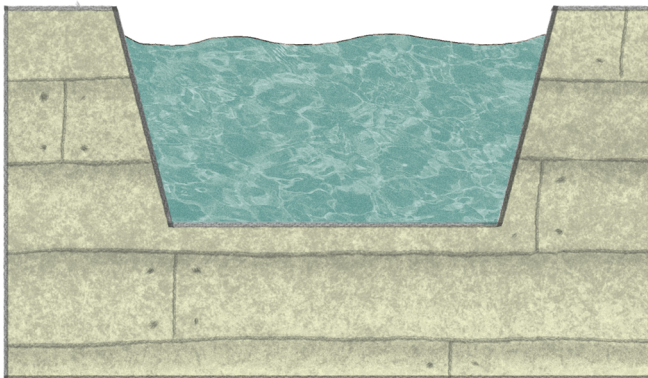
Donde:

Q = Caudal que fluye por el vertedero, en m^3/s

D= Diámetro del círculo, en m.

H = Carga del vertedero, en m.

Vertedero Trapezoidal



Este último, es más complicado de construir y por lo tanto es poco usual verle. Como su nombre lo indica tiene forma de trapecio, por lo que a sus lados forman un talud que debe cumplir con una proporción 1:4 (1 horizontal por 4 vertical), cumpliendo tal requisito sólo se debe aplicar la fórmula.

$$Q = 1.859 * L * H^{3/2}$$

Donde:

Q = Caudal que fluye por el vertedero, en m^3/s

L = Ancho la cresta, en m.

H = Carga del vertedero, en m.



¿Qué se hace con los resultados?

Registro de la información recolectada en campo

La información deberá ser consignada en una tabla que relacione la fecha en que se hizo la medición, mínimo una por mes, el valor obtenido y la unidad de medida. Además, en escenarios inusuales, como crecidas súbitas, también se deberá registrar los datos para efectos de conocer el RH de forma completa.

Datos de caudal (Qb)			
No.	Fecha	Valor	Unidad
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
Crecidas de la fuente			
No.	Fecha	Valor	Unidad
1			
2			
3			
n			

Hidrograma con medición de caudal

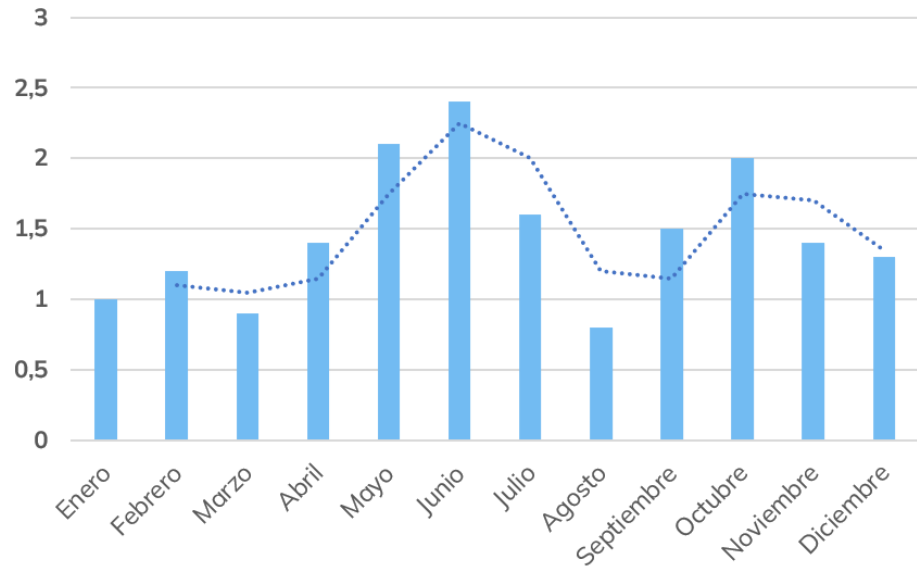
*Es un gráfico que permite mostrar las variaciones en el tiempo de alguna información hidrológica, como el nivel de agua, el **caudal**, la **escorrentía**, la **sedimentación**, etcétera.*

Por lo tanto, a partir de la consolidación de los datos obtenidos en una base de datos, se construyen dichas gráficas (hidrogramas), relacionando la fecha de medición, en el eje horizontal (X) vs. el dato de caudal, en el eje vertical (Y), para poder hacer una interpretación más profunda sobre las dinámicas del caudal del cuerpo de agua en cuestión y así mismo conocer el RH autóctono del mismo.

¿Cómo se construye el hidrograma?

Fácil, solo se necesita tener la tabla de registro de datos anuales, un plano cartesiano y, relacionar los valores: Meses vs. Caudal. Así se verá nuestro hidrograma.

Datos de caudal (Qb)		
Mes	Valor	Unidad
Enero	1	m ³ /s
Febrero	1,2	m ³ /s
Marzo	0,9	m ³ /s
Abril	1,4	m ³ /s
Mayo	2,1	m ³ /s
Junio	2,4	m ³ /s
Julio	1,6	m ³ /s
Agosto	0,8	m ³ /s
Septiembre	1,5	m ³ /s
Octubre	2	m ³ /s
Noviembre	1,4	m ³ /s
Diciembre	1,3	m ³ /s



Ley 373 de 1997:
Programa para el Uso
Eficiente y Ahorro del
Agua (UEAA).

Resolución 2130 de
2019: Medición de cau-
dal río Bogotá.

Decreto 050 de 2018:
Ordenamiento del re-
curso hídrico.

Resolución 1257 de
2018: Estructura y conte-
nido del programa UEAA.

Decreto 1090 de
2018: reglamentar
la Ley 373 de 1997

Decreto 1729
de 2002:
Cuenca hi-
drográfica.

Decreto 155 de
2004: tasas por
utilización de
aguas.

Ley 365 de 2005:
planificación y admi-
nistración del recurso
hídrico.

Decreto 1324 de 2007:
Registro de usuarios de
recurso hídrico.

Decreto 1323 de 2007:
Creación del SIRH.

Decreto - ley 3570 de
2011: modifican los objeti-
vos y la estructura MADS.

Decreto 1076 de 2015:
Ordenamiento ambiental
y gestión de recursos.

Resolución 957 de
2018: guía técnica
de criterios para el
acotamiento de las
rondas hídricas

Decreto 2245
de 2017: Ron-
da hídrica.

Resolución 865: cálculo
del índice de escasez

Normatividad

Glosario

- **MAC:** Monitoreo Ambiental Comunitario
- **GCA:** Gestión Comunitaria del Agua.
- **Variabilidad Climática:** Fluctuaciones de los componentes del clima –temperatura y precipitaciones, entre otros– durante lapsos determinados.
- **RH:** Régimen Hidrológico.
- **CC:** Cambio Climático.
- **Plano cartesiano:** Son dos rectas numéricas perpendiculares, una horizontal y otra vertical que se cortan en un punto, y su finalidad es describir la posición de puntos, los cuales se representan por sus coordenadas o pares ordenados.
- **UEAA:** Uso eficiente y ahorro del agua.
- **MADS:** Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
- **SIRH:** Sistema de información del Recurso hídrico.
- **Q:** Caudal
- **v:** Volumen
- **V:** Velocidad
- **t:** Tiempo
- **A:** Área
- **EPP:** Elementos de protección personal.
- **CE:** Coeficiente de error
- **L:** Longitud de la cresta.
- **H:** Altura del cauce.
- **Transecto:** Corte transversal de un terreno.

Créditos Cartilla

Cartillas pedagógicas ENDA Colombia - Tomo II



María Victoria Bojacá Penagos
Directora ENDA Colombia

Andreiiev Pinzón Franco
María Isleny Franco Moreno
Luis Fernando Sánchez Supelano
Luisa Fernanda Sánchez Casallas
Sebastián Quinche Bautista
Comité académico

Andreiiev Pinzón Franco
Prólogo

Inti Tolosa Corrales
Imagen e ilustración

Daniela Parra Campos
Diseño y diagramación

Sebastián Quinche Bautista
Elaboración de textos

Perfiles de los autores

- **Sebastián Quinche Bautista:**
Ingeniero Ambiental,
Universidad El Bosque.
Responsable del Área de
Monitoreo Ambiental de
Enda Colombia.



Asociación, sostenibilidad,
equidad y derechos
ambientales

Con el apoyo de:

emp'ACT
initiatives solidaires
et durables

Bogotá, Colombia. Junio de 2024