

Hidrología Aplicada

Manual Teórico-Práctico para la Formación Agroambiental



Dagoberto Torres Valencia

Título: Hidrología Aplicada: Manual Teórico–Práctico para la Formación Agroambiental

Autor: Dagoberto Torres Valencia

Edición, portada y diagramación: Leonardo Valencia Echeverry (Edit. Cuarto Creciente)

Diagramación y portada: Leonardo Valencia Echeverry

© Dagoberto Torres Valencia

© EDITORIAL: LIBROS PARA PENSAR

Primera Edición 2025

ISBN: 978-628-02-2108-3

No se permite la reproducción total o parcial de este libro, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier medio, sea este electrónico, mecánico, por fotocopia u otro método, sin el permiso previo y por escrito del autor.

Hecho en Colombia

Printed in Colombia

Queda hecho el Depósito Legal



Hidrología Aplicada: Manual Teórico-Práctico para la Formación Agroambiental

Docente:

Dagoberto Torres Valencia

Ingeniero Agrícola

Magister en Ciencias Agrarias

Docente Asociado – Programa de Agronomía

Universidad del Pacífico

Programa: Agronomía

Asignatura: Hidrología

Período académico: 2025-2

ISBN: 978-628-02-2108-3

Buenaventura, Colombia

Fecha: diciembre de 2025

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN 15

Objetivos	19
Objetivos General.....	19
Objetivos Específicos	19
Hidrología.....	21
Ciclo Hidrológico.....	23
Distribución de agua en la tierra	27
Gestión y planificación del recurso hídrico.....	31
Diseño de infraestructura hidráulica	31
Prevención y manejo de riesgos naturales.....	32
Agricultura y manejo de suelos.....	33
Conservación ambiental y gestión de cuencas.....	33
Modelación y predicción hidrológica	34
Representación de una cuenca hidrográfica.....	37
Divisoria hidrográfica y geográfica.....	41
Ciclo hidrológico a nivel de una hoya hidrográfica.	45
Elementos principales de la cuenca hidrográfica	47
Río principal	47
Afluentes	47
Divisoria de aguas.....	48
Relieve de la cuenca	48
Partes de una cuenca hidrográfica.....	48
Clasificación de las áreas de drenaje de acuerdo a su extensión	51
Terminología general de áreas de drenaje según su extensión	53
Cuenca	53
Subcuenca.....	54
Microcuenca.....	54

Área de drenaje.....	54
Definiciones en marcos normativos latinoamericanos.....	59
Enfoque de los entes conservacionista y agroecológicos en cuanto a la superficie de las hoya hidrográficas.....	61
Algunas características morfológicas de la cuenca hidrográfica	63
Forma de la cuenca.....	63
Parámetros de forma.....	64
Factor de forma	64
Interpretación del resultado	66
Factor de compacidad	67
Cuadro de forma a partir del índice de compacidad (Ic).....	68
Curva Hipsométrica	71
Representación gráfica del estado geomorfológico de una cuenca hidrográfica	72
Curva A.....	72
Curva B	72
Curva C	73
Ecuaciones usadas para el grafico de curva hipsométrica.....	74
Pendiente De Una Cuenca Hidrográfica	77
Precipitación.....	81
Condiciones Necesarias Para Que Se Produzca Lluvia.....	81
Tipos De Precipitación O Lluvias.....	83
<i>Precipitación Orográfica</i>	83
Variables que Afectan la lluvia	87
Magnitud de la precipitación	87
Área de lluvia.....	87
Duración.....	87
Intensidad.....	87

Frecuencia o período de retorno	88
Medida de la precipitación.....	88
Pluviómetro	88
Altura total de la precipitación.....	92
Intensidad media de la lluvia.....	93
Precipitación media de un área.....	94
Método de la Media Aritmética	95
Polígonos de Thiessen.....	96
Método de las Isoyetas.....	99
Hidrometría	103
Métodos de aforo	103
Método de Volumen y Tiempo.....	104
Métodos basados en Secciones Hidráulicas.....	104
Método de Sección y Velocidad.....	104
Método de Volumen y Tiempo.....	105
Método de las Secciones Hidráulicas	106
Orificios.....	107
Orificio Circular	107
Medición de caudal por el método área-velocidad con flotadores	110
Paso 1: Selección del sitio de aforo	111
Paso 2: Medición de la velocidad superficial (Vs).....	112
Medición de la velocidad superficial	114
Paso 3: Cálculo del radio hidráulico (R).....	115
Paso 4: Determinación del coeficiente de flotación (C)	115
Paso 5: Cálculo de la velocidad media (Vm).....	116
Paso 6: Cálculo del caudal (Q).....	116
Paso 7: Medición del área de la sección transversal	116

Referencias..... 123

LISTA DE FIGURA

Tabla 1. Distribución de agua en la tierra	28
<i>Tabla 2. Terminología general de áreas de drenaje según su extensión</i>	55
<i>Tabla 3. Clasificación FAO (2016) – Manual para la planificación de cuencas hidrográficas</i>	58
<i>Tabla 4. Definiciones en marcos normativos latinoamericanos</i>	59
<i>Tabla 5. Enfoque de los entes conservacionista y agroecológicos en cuanto a la superficie de las hoyas hidrográficas</i>	62
<i>Tabla 6. Cuadro de forma a partir del índice de compacidad (Ic)</i>	69
<i>Tabla 7. Representación gráfica del estado geomorfológico de una cuenca hidrográfica.</i>	74
<i>Tabla 8. Representación de valores para graficar curva hipsométrica.</i>	76
<i>Tabla 9. Clasificación de la pendiente de un terreno.</i>	77
<i>Tabla 10. Cálculo de la pendiente de un terreno en grados y en porcentaje.</i>	78
<i>Tabla 11. Valores de coeficientes de flotación para cálculo de caudal de aforo con flotador.</i>	118

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. <i>Ciclo Hidrológico</i>	25
Ilustración 2. <i>Representación de una cuenca hidrográfica.</i>	39
Ilustración 3. <i>Divisoria hidrográfica y geográfica.</i>	41
Ilustración 4. <i>Ciclo hidrológico a nivel de una hoya hidrográfica.</i>	46
Ilustración 5. <i>Representación de las partes de una cuenca hidrográfica.</i>	50
Ilustración 6. <i>Representación gráfica del fenómeno del efecto de montaña (lluvia orográfica)</i>	84
Ilustración 7. <i>Representación gráfica de cómo se forma la lluvia convectiva.</i>	85
Ilustración 8. <i>Gráfico ilustrativo de cómo se forma la precipitación ciclónica.</i>	86
Ilustración 9. <i>Imagen externa de un pluviómetro.</i>	89
Ilustración 10. <i>Esquema que me representa las partes principales de un pluviómetro.</i>	90
Ilustración 11. <i>Gráfica del pluviógrafo y sus partes elementales</i>	91
Ilustración 12. <i>Gráfico que ilustra ejemplo de aplicación práctica numérica</i>	94
Ilustración 13. <i>Representación gráfica de la construcción de los polígonos de Thiessen</i>	98
Ilustración 14. <i>Trazado de las isoyetas de acuerdo con los valores de precipitación más cercanos.</i>	100
Ilustración 15 <i>Ejercicio resuelto de precipitación media teniendo en cuenta el mapa de isoyetas de precipitación.</i>	102
Ilustración 16. <i>Representación de método volumétrico para medición del caudal.</i>	106
Ilustración 17. <i>Corte longitudinal de orificio circular de pared delgada.</i>	109
Ilustración 18. <i>Representación de las diferentes formas de los orificios de pared delgada.</i>	109
Ilustración 19. <i>Esquema para la medición de la velocidad superficial de una corriente de agua.</i>	112
Ilustración 20. <i>Esbozo para determinar la velocidad superficial de una corriente de agua.</i>	113
Ilustración 21. <i>Vista superior y corte longitudinal representando la determinación del caudal de un río por el método del flotador.</i>	114

Ilustración 22. Geometría para hallar el área total en la sección transversal del punto de interés de aforo..... 118

INTRODUCCIÓN

El agua acompaña silenciosamente cada proceso vital que sostiene nuestra existencia: nutre suelos, modela paisajes, permite la agricultura, regula el clima y hace posible el desarrollo de las comunidades. Comprender cómo se mueve, cómo se transforma y cómo interactúa con el ambiente es, por tanto, una necesidad humana tanto como un desafío científico. En este contexto, la hidrología emerge como una disciplina fundamental que nos invita a observar el territorio con otros ojos: a reconocer los flujos visibles e invisibles del agua, a interpretar sus patrones y a valorar su papel dentro de los ecosistemas y las dinámicas sociales.

Este manual ha sido construido para acompañar al estudiante en un recorrido progresivo que une teoría y práctica, ciencia y territorio, análisis técnico y reflexión ambiental. A lo largo de sus capítulos se profundiza en los procesos esenciales del ciclo hidrológico —evaporación, precipitación, escorrentía e infiltración—, permitiendo comprender cómo el agua se desplaza desde la atmósfera hasta las cuencas, y cómo estas unidades geográficas actúan como verdaderos sistemas vivos que recolectan, transportan, transforman y almacenan el recurso hídrico.

De manera didáctica y aplicada, el contenido aborda temas clave como la estructura y clasificación de

las cuencas hidrográficas, sus elementos morfológicos y funcionales, el análisis de pendientes, la utilización de curvas hipsométricas, y las implicaciones que estas características tienen sobre la velocidad de escorrentía, la erosión y la dinámica fluvial. Asimismo, se profundiza en la precipitación como insumo central del ciclo, sus tipos, variables asociadas, formas de medición y métodos utilizados para estimar la lluvia media en un área.

El manual también integra herramientas prácticas fundamentales para el ejercicio profesional, como los métodos de aforo y la hidrometría, que permiten cuantificar caudales y comprender el comportamiento de ríos y quebradas a través de técnicas accesibles, desde el uso de flotadores hasta procedimientos más especializados. Estas prácticas fortalecen competencias esenciales para la gestión ambiental, la planificación territorial y el diseño de obras hidráulicas.

Si bien el texto se apoya en conceptos científicos y normativos, también reconoce que el agua no es únicamente un objeto de estudio: es un elemento profundamente vinculado a las comunidades, a su cultura, a sus formas de uso y conservación. Por ello, se promueve una mirada integral y responsable que articula dimensiones ecológicas, técnicas y sociales, especialmente relevante en regiones como el Pacífico

colombiano, donde la lluvia, las cuencas y los paisajes fluviales constituyen la base de la vida cotidiana.

Esta introducción, por tanto, invita a leer la hidrología no solo como una ciencia, sino como una herramienta para comprender y proteger el territorio. Cada tabla, figura, ecuación y método presentado en este manual cumple un propósito: aportar al estudiante capacidades para analizar, interpretar y actuar sobre los recursos hídricos con rigor, sensibilidad ambiental y compromiso con la sostenibilidad.

Objetivos

Objetivos General

Desarrollar en los estudiantes una comprensión integral de los procesos hidrológicos y su aplicación práctica en el análisis, medición y gestión sostenible del recurso hídrico, con énfasis en el contexto agroambiental y en las cuencas hidrográficas del Pacífico vallecaucano y colombiano.

Objetivos Específicos

- Fomentar el interés y la motivación de los estudiantes por el estudio de la hidrología, promoviendo la valoración de sus procesos y su relevancia en la formulación y ejecución de proyectos con enfoque agroambiental.
- Fortalecer las competencias técnicas necesarias para interpretar curvas Intensidad–Frecuencia–Duración (I.F.D.), utilizar la malla de puntos en la estimación de superficies a partir de fotografías aéreas, calcular la precipitación media de una zona y realizar aforos para determinar caudales en corrientes de agua.
- Promover la comprensión sistémica y el manejo integral de cuencas hidrográficas, con especial atención a las realidades socioambientales de las comunidades del Pacífico vallecaucano y

colombiano, integrando saberes técnicos y contextuales para la gestión del recurso hídrico.

Hidrología

La hidrología es la ciencia que nos permite comprender la historia y el recorrido del agua en la Tierra: su origen, cómo se distribuye, cómo circula y cómo interactúa con los ecosistemas y las actividades humanas. No se limita a describir procesos físicos; más bien, nos invita a observar el agua como un elemento dinámico que conecta la atmósfera, el suelo, los ríos, los océanos y la vida misma.

Desde su enfoque clásico, la hidrología estudia las propiedades físicas y químicas del agua y analiza fenómenos como la precipitación, la infiltración, la escorrentía, la evaporación y el almacenamiento subterráneo. Como señalan Chow, Maidment y Mays (1994, 2013), comprender estos procesos es esencial para interpretar el comportamiento de los ríos, las cuencas y los sistemas hídricos que sostienen nuestras comunidades.

Pero más allá del campo técnico, la hidrología también promueve una mirada sensible al territorio. Nos recuerda que cada gota que fluye por un río ha seguido un camino complejo, influenciado por la geografía, el clima, los suelos, la vegetación y, cada vez más, por las acciones humanas. Tal como lo destaca Sivapalan (2013) en la socio-hidrología, el agua y la sociedad están en permanente diálogo: nuestras

decisiones afectan los sistemas hídricos, y éstos, a su vez, moldean nuestra forma de habitar y gestionar el entorno.

Así, estudiar hidrología no solo significa manejar conceptos científicos, sino también comprender el valor del agua como recurso vital y como patrimonio natural, indispensable para la sostenibilidad ambiental y el bienestar de las generaciones presentes y futuras.

Ciclo Hidrológico

El ciclo hidrológico es el viaje permanente que realiza el agua por todo nuestro planeta. Es un proceso continuo, silencioso y esencial que conecta la atmósfera, la superficie terrestre, los ríos, los océanos y los seres vivos. Aunque a simple vista parezca algo cotidiano —la lluvia, un charco que se evapora, una quebrada que crece después de un aguacero—, en realidad es un sistema complejo que sostiene la vida y regula el clima.

En palabras de la hidrología clásica (Chow, Maidment & Mays, 1994; Singh, 1992), el ciclo hidrológico describe cómo el agua se evapora, se transporta, se condensa, precipita, escurre, infiltra y finalmente regresa a los océanos, iniciando de nuevo el recorrido. Cada fase está influenciada por elementos naturales como la energía solar, la topografía, los suelos, la vegetación y, como advierte la FAO (2016), también por las actividades humanas que alteran los paisajes y modifican la dinámica del agua.

Cuando el sol calienta océanos y ríos, el agua se transforma en vapor y asciende. En la atmósfera se mueve guiada por los vientos, tal como lo explica Enciso et al. (2022) al analizar los flujos de humedad que alimentan lluvias en diferentes regiones. Allí se enfría, se condensa y forma nubes. Luego, cuando las condiciones

lo permiten, ese vapor regresa a la superficie en forma de lluvia, nieve o granizo.

Una vez en tierra, el agua puede penetrar el suelo para alimentar acuíferos, escurrir por la superficie hasta llegar a los ríos o regresar a la atmósfera por evaporación o transpiración de las plantas. En este punto, el comportamiento del paisaje juega un papel clave: la forma de las cuencas, la pendiente del terreno y el tipo de cobertura vegetal —aspectos estudiados por autores como Horton (1932) y Strahler (1952)— determinan cómo se mueve el agua y qué tan rápido fluye hacia los cauces principales.

El ciclo hidrológico, por tanto, no es solo un proceso físico: es una red de interacciones que define la disponibilidad de agua, influye en los ecosistemas y sustenta las actividades humanas. Comprenderlo nos permite reconocer el valor del agua y asumir una actitud más responsable frente a su conservación, tal como recomiendan los organismos internacionales encargados de la gestión del recurso (FAO, 2016).

Más que un ciclo, es la historia infinita del agua, un movimiento que ha permitido la vida en la Tierra durante millones de años y que hoy más que nunca necesita ser protegido.

Ilustración 1. *Ciclo Hidrológico*



Fuente: Adaptado de National Oceanic and Atmospheric Administration [NOAA], s. f.)

Distribución de agua en la tierra

Comprender cómo se distribuye el agua en nuestro planeta es esencial para valorar su disponibilidad y las dinámicas que gobiernan su movimiento dentro del ciclo hidrológico. Aunque el agua cubre la mayor parte de la superficie terrestre, su distribución es profundamente desigual: la gran mayoría se encuentra en los océanos, inaccesible para el consumo humano o agrícola, mientras que solo una fracción muy pequeña corresponde al agua dulce disponible.

La siguiente tabla, elaborada con base en los datos clásicos de Chow (1994), presenta una visión global de cómo se reparte el agua entre océanos, hielos, aguas subterráneas, lagos, ríos, atmósfera y otros reservorios. Esta información permite dimensionar la importancia crítica del agua dulce —especialmente aquella presente en glaciares y acuíferos— y comprender por qué su gestión responsable es un desafío mundial.

A través de estos valores, se evidencia que el agua accesible de manera inmediata (como la de ríos y lagos) representa menos del 1 % del total de agua dulce del planeta, lo que subraya la necesidad de planificar su uso con criterios de sostenibilidad y conservación.

Tabla 1.
Distribución de agua en la tierra

Agua	Área (10 ⁶ km ²)	Volumen (km ³)	% Agua Total	% Agua Dulce
Océanos	361,3	1.338.000.000	96,5	
Agua Subterránea Dulce	134,8	10.530.000	0,76	30,1
Agua Subterránea Salada	134,8	12.870.000	0,93	
Humedad de Suelo	82	16.500	0,0012	0,05
Hielo Polar	16	24.023.500	1,7	68,6
Hielo no polar y nieve	0,3	340.600	0,025	1
Lagos Dulces	1,2	91.000	0,007	0,26
Lagos Salinos	0,8	85.400	0,006	
Pantanos	2,7	11.470	0,0008	0,03
Ríos	148,8	2.120	0,0002	0,006
Agua Biológica	510	1.120	0,0001	0,003
Agua Atmosférica	510	12.900	0,001	0,04
Agua Total	510	1.385.984.610	100	
Agua Dulce	148,8	35.029.210	2,5	100

La hidrología no solo explica cómo se mueve el agua en la naturaleza; también ofrece herramientas para resolver muchos de los retos que enfrentan las comunidades, los territorios y los sistemas productivos. Gracias a esta ciencia, es posible comprender la dinámica de las lluvias, los caudales de los ríos, la recarga de los acuíferos y la disponibilidad real del agua que sostiene la vida y el desarrollo.

De acuerdo con autores clásicos como Chow, Maidment y Mays (1994), la hidrología aplicada proporciona los fundamentos necesarios para analizar, modelar y predecir el comportamiento del agua en distintos entornos. Esto permite diseñar obras hidráulicas seguras, gestionar cuencas hidrográficas, anticipar inundaciones y planificar el uso sostenible del recurso hídrico. Desde una perspectiva más reciente, la FAO (2016) destaca que la hidrología es clave para la planificación territorial y la protección de ecosistemas estratégicos, especialmente en un contexto de variabilidad climática.

Entre sus principales aplicaciones se encuentran:

Gestión y planificación del recurso hídrico

Permite estimar la disponibilidad de agua superficial y subterránea, proyectar la demanda futura y establecer estrategias para su uso eficiente y equitativo (FAO, 2016). Este enfoque es fundamental para garantizar que comunidades, ecosistemas y actividades productivas cuenten con agua suficiente a corto y largo plazo.

Ejemplo	número
En una cuenca donde la población ha crecido rápidamente, las autoridades ambientales realizan un estudio hidrológico para conocer cuánto agua ofrecen los ríos durante el año y cuál es la capacidad de recarga del acuífero. Con esta información, diseñan un plan de abastecimiento que incluye la construcción de pequeños reservorios, la protección de áreas de recarga y la regulación del consumo en los meses secos. Esto permite evitar desabastecimientos, asegurar el suministro para la agricultura local y proteger los ecosistemas que dependen del flujo natural del río.	1.

Diseño de infraestructura hidráulica

La hidrología es fundamental para calcular los caudales de diseño que permiten construir presas, canales, drenajes, acueductos, alcantarillados y obras de control de inundaciones (Chow et al., 1994; Monsalve, 2002). Estos cálculos buscan asegurar que las

estructuras funcionen correctamente incluso bajo condiciones extremas, como tormentas intensas o periodos prolongados de sequía.

Ejemplo	número	2.
----------------	---------------	-----------

Antes de construir un puente sobre un río, los ingenieros realizan un estudio hidrológico para determinar cuál ha sido el caudal máximo registrado y cuál podría ser el caudal durante una creciente extraordinaria, como la que ocurre cada 50 o 100 años. Con estos datos, diseñan el puente con una altura y un ancho que permitan el paso seguro del agua durante eventos extremos, evitando desbordamientos y posibles colapsos. Sin esta información hidrológica, la obra sería vulnerable y podría fallar durante una crecida significativa.

Prevención y manejo de riesgos naturales

A través del análisis de máximas avenidas, crecidas históricas, tormentas intensas y patrones de escorrentía, la hidrología permite identificar zonas vulnerables y diseñar medidas de mitigación. Autores como Singh (1992) destacan que estos estudios son esenciales para proteger vidas y bienes, especialmente en regiones expuestas a inundaciones o deslizamientos.

Ejemplo	número	3
----------------	---------------	----------

En un municipio atravesado por un río de

respuesta rápida, los estudios hidrológicos permiten determinar que durante eventos extremos el caudal puede triplicarse. Con esta información, se establecen zonas de evacuación, se construyen muros de contención en sectores críticos y se implementa un sistema de alerta temprana que avisa a la población cuando el nivel del río comienza a subir peligrosamente.

Agricultura y manejo de suelos

La hidrología ayuda a planificar riegos, estimar la evapotranspiración y administrar la humedad del suelo, optimizando la productividad agrícola y reduciendo pérdidas económicas (FAO, 2016). También permite identificar épocas de déficit hídrico y seleccionar cultivos más resistentes a la sequía.

Ejemplo	número	4.
----------------	---------------	-----------

En una zona agrícola, los técnicos realizan balances hídricos mensuales que muestran una disminución de la humedad del suelo durante el trimestre seco. Gracias a este análisis, los agricultores ajustan sus calendarios de siembra y aplican riego tecnificado solo cuando es necesario, ahorrando agua y mejorando el rendimiento de los cultivos.

Conservación ambiental y gestión de cuencas

La hidrología es clave para comprender cómo las actividades humanas alteran los flujos de agua, los

procesos de recarga de acuíferos, la calidad del agua y la salud de los ecosistemas. Ponce (2014) y la FAO (2016) subrayan la importancia de incorporar principios hidrológicos en la conservación de ríos, bosques, humedales y zonas de recarga.

Ejemplo	número	5.
----------------	---------------	-----------

En una cuenca donde se ha perdido gran parte de la cobertura vegetal, los estudios hidrológicos muestran un incremento en la escorrentía y la erosión. Con esta información, la comunidad implementa programas de reforestación y conservación de suelos, logrando reducir la sedimentación del río y mejorando la calidad del agua utilizada por la población.

Modelación y predicción hidrológica

La hidrología permite simular escenarios futuros de lluvia, caudales, inundaciones, sequías e incluso efectos derivados del cambio climático. Estas predicciones apoyan la planificación territorial, las medidas de adaptación y los sistemas de alerta temprana.

Ejemplo	número	6.
----------------	---------------	-----------

Mediante un modelo hidrológico, los investigadores simulan cómo respondería una cuenca ante una tormenta excepcional. Los resultados muestran que ciertas veredas quedarían incomunicadas. Con esto,

las autoridades deciden reforzar puentes, ampliar drenajes y preparar rutas alternas de evacuación.

Una cuenca hidrográfica es mucho más que el área donde fluye el agua hacia un río. Es un territorio vivo, un espacio natural donde el agua, el suelo, la vegetación y las comunidades interactúan de forma constante. Según la FAO (2016), una cuenca puede entenderse como la superficie terrestre delimitada por elevaciones o montañas, dentro de la cual toda el agua —ya sea lluvia, escorrentía o subterránea— converge hacia un mismo punto de salida, conocido como desembocadura o punto de drenaje.

Desde el enfoque hidrológico clásico, Chow, Maidment y Mays (1994) señalan que la cuenca hidrográfica funciona como un sistema que recibe agua (entrada), la almacena temporalmente (por ejemplo, en suelos o acuíferos) y finalmente la libera hacia un cauce principal. Este sistema responde a factores físicos como la pendiente, el clima, el tipo de suelos y la cobertura vegetal, aspectos que determinan cómo se mueve el agua dentro del territorio.

Autores pioneros como Horton (1932) y Strahler (1952) explican que la forma, tamaño y jerarquía de los ríos en una cuenca influyen directamente en su comportamiento hidrológico. Por ejemplo, una cuenca circular concentra más rápidamente la escorrentía,

mientras que una alargada distribuye los aportes en un tiempo mayor.

Más allá de su definición técnica, una cuenca es también un espacio socioambiental: un territorio donde habitan personas, animales y plantas, y donde se desarrollan actividades como agricultura, industria, pesca, turismo y conservación. Monsalve (2002) y Ponce (2014) coinciden en que el manejo adecuado de una cuenca es fundamental para garantizar la disponibilidad del agua, evitar inundaciones, prevenir la erosión y proteger los ecosistemas que dependen de ella.

Representación de una cuenca hidrográfica

Representar una cuenca hidrográfica es una forma de visualizar cómo funciona este sistema natural que recolecta, conduce y entrega el agua hacia un punto común. En la práctica, esta representación se realiza mediante mapas o esquemas que permiten identificar los elementos físicos que determinan su comportamiento hidrológico.

De acuerdo con la FAO (2016) y Chow, Maidment y Mays (1994), una cuenca se representa normalmente como un área delimitada por líneas divisorias de aguas, ubicadas en las partes más altas del terreno. Estas líneas marcan el límite natural donde la lluvia que cae dentro de la cuenca fluye hacia el cauce principal, mientras que la que cae fuera se dirige a otros sistemas vecinos.

En un esquema de cuenca hidrográfica se suelen destacar:

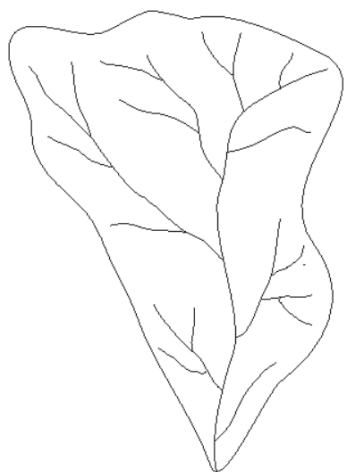
- **La parte alta o zona de recarga** donde predominan la infiltración y la formación de caudales iniciales.
- **Las partes medias**, donde los ríos reciben aportes de afluentes y aumenta la velocidad del flujo.

- La parte baja o zona de salida, donde el cauce principal entrega el agua a un río mayor, un lago o el mar.
- El cauce principal, que actúa como eje estructural de la cuenca.
- Los afluentes o subcuencas, que aportan caudal en diferentes puntos.
- Las pendientes, que influyen en la velocidad del agua y en la erosión.
- La cobertura vegetal y el uso del suelo, que afectan la infiltración, la escorrentía y la calidad del agua.

Autores como Horton (1932) y Strahler (1952) han desarrollado métodos clásicos para representar y clasificar los cursos de agua dentro de una cuenca, permitiendo comprender su jerarquía, forma y comportamiento hidrológico. Por su parte, Ponce (2014) destaca que la representación de una cuenca no solo es un ejercicio cartográfico, sino una herramienta para gestionar el territorio y tomar decisiones informadas sobre el manejo del recurso hídrico.

Ilustración 2.

Representación de una cuenca hidrográfica.



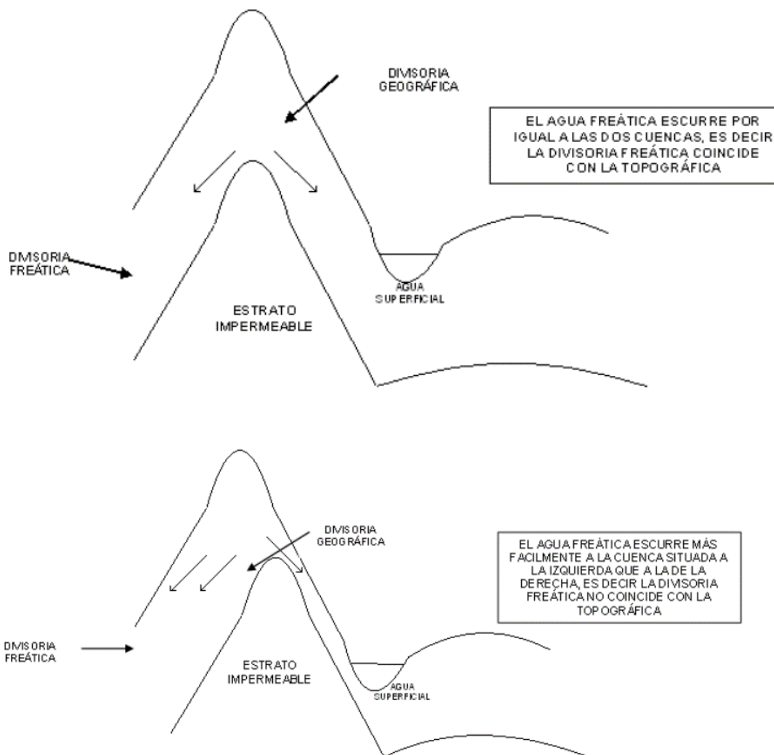
Fuente. Hidrología UNAD.2006

Divisoria hidrográfica y geográfica.

Una divisoria geográfica, que corresponde a la línea más alta del relieve (las cumbres o crestas del terreno). Una divisoria freática, que es la línea que separa el flujo subterráneo del agua subterránea hacia diferentes direcciones.

Ilustración 3.

Divisoria hidrográfica y geográfica.



Fuente. Imagen tomada de Hernández, 2006.

El agua superficial y el agua subterránea escurren hacia las mismas cuencas.

El agua freática fluye proporcionalmente hacia ambos lados de la montaña.

La topografía controla directamente el flujo superficial y subterráneo.

La precipitación es el principal insumo del ciclo hidrológico en una cuenca hidrográfica, pues constituye la fuente inicial de agua para procesos esenciales como la escorrentía, la infiltración, la evapotranspiración y la recarga de acuíferos (Cenicafé, s. f.). Su medición y análisis permiten comprender cómo se comporta el agua en un territorio y son la base para la planificación sostenible del recurso hídrico, especialmente en países con gran diversidad climática y fisiográfica.

En Colombia, la precipitación exhibe una marcada variabilidad espacial y temporal debido a la influencia de múltiples factores: la compleja topografía andina, la cercanía a los océanos, la interacción de sistemas atmosféricos regionales y fenómenos de variabilidad climática como El Niño–Oscilación del Sur (ENOS). Estas dinámicas generan contrastes notables entre regiones muy húmedas, como el Pacífico, y zonas con marcada estacionalidad o régimen bimodal (Gómez-Latorre et al., 2021).

Estudios recientes, como los de Enciso et al. (2022), han ampliado la comprensión de estos patrones al

analizar procesos como el *precipitation recycling* y la contribución de diversas fuentes de humedad atmosférica. Estos factores explican gran parte de la heterogeneidad de las lluvias en cuencas costeras, montañosas y tropicales, donde el agua que retorna desde la vegetación o se transporta desde océanos cercanos desempeña un papel determinante en la formación de eventos de precipitación.

En conjunto, entender la dinámica de la lluvia en el territorio colombiano no solo es un ejercicio hidrológico, sino también una herramienta fundamental para gestionar cuencas, anticipar riesgos climáticos y asegurar el abastecimiento hídrico de las comunidades.

Ciclo hidrológico a nivel de una hoya hidrográfica.

La precipitación es el principal insumo del ciclo hidrológico en una cuenca hidrográfica, pues constituye la fuente inicial de agua para procesos esenciales como la escorrentía, la infiltración, la evapotranspiración y la recarga de acuíferos (Cenicafé, s. f.). Su medición y análisis permiten comprender cómo se comporta el agua en un territorio y son la base para la planificación sostenible del recurso hídrico, especialmente en países con gran diversidad climática y fisiográfica.

En Colombia, la precipitación exhibe una marcada variabilidad espacial y temporal debido a la influencia de múltiples factores: la compleja topografía andina, la cercanía a los océanos, la interacción de sistemas atmosféricos regionales y fenómenos de variabilidad climática como El Niño–Oscilación del Sur (ENOS). Estas dinámicas generan contrastes notables entre regiones muy húmedas, como el Pacífico, y zonas con marcada estacionalidad o régimen bimodal (Gómez-Latorre et al., 2021).

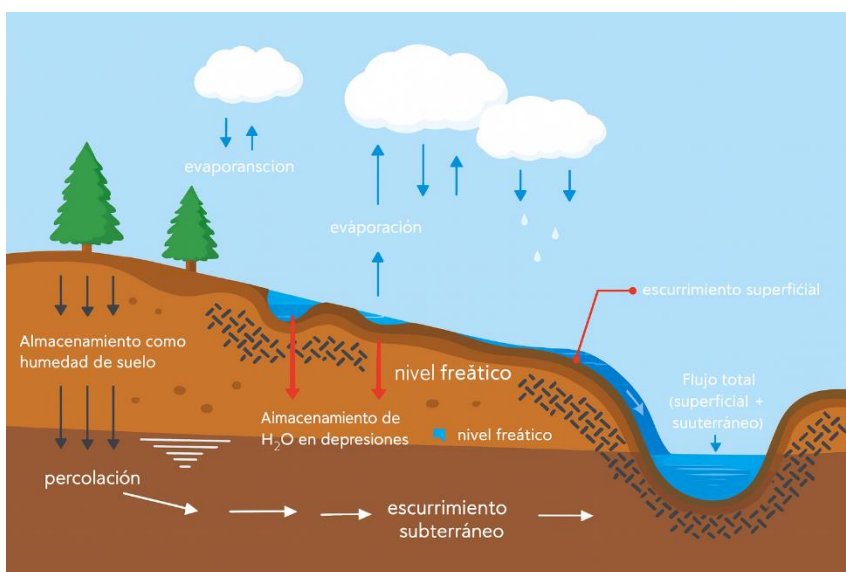
Estudios recientes, como los de Enciso et al. (2022), han ampliado la comprensión de estos patrones al analizar procesos como el *precipitation recycling* y la contribución de diversas fuentes de humedad atmosférica. Estos factores explican gran parte de la heterogeneidad de las lluvias en cuencas costeras,

montañosas y tropicales, donde el agua que retorna desde la vegetación o se transporta desde océanos cercanos desempeña un papel determinante en la formación de eventos de precipitación.

En conjunto, entender la dinámica de la lluvia en el territorio colombiano no solo es un ejercicio hidrológico, sino también una herramienta fundamental para gestionar cuencas, anticipar riesgos climáticos y asegurar el abastecimiento hídrico de las comunidades.

Ilustración 4.

Ciclo hidrológico a nivel de una hoya hidrográfica.



Fuente: de National Oceanic and Atmospheric Administration [NOAA], s. f.)

Elementos principales de la cuenca hidrográfica

Los elementos que componen una cuenca hidrográfica permiten entender cómo se mueve el agua, cómo fluye la energía y cómo se integra el paisaje. Cada uno cumple un papel fundamental en el funcionamiento del sistema hídrico.

Río principal

Es el eje estructural de la cuenca y actúa como el colector natural de todas las aguas que bajan por las laderas y los afluentes. La identificación del río principal puede variar, ya que depende del criterio adoptado: puede ser el curso más largo, el que presenta el mayor caudal medio o máximo, o aquel cuya cuenca tiene mayor extensión (Chow et al., 1994). Su recorrido va desde su nacimiento hasta la desembocadura, donde entrega sus aguas a un río mayor, una laguna o al océano.

Afluentes

Son los cursos de agua secundarios que desembocan en el río principal. Cada afluente posee su propia área de drenaje una subcuenca o microcuenca que aporta caudal, sedimentos y nutrientes al sistema. La interacción entre afluentes y río principal define la jerarquía de drenaje, una estructura estudiada desde los trabajos clásicos de Horton (1932) y Strahler (1952).

Divisoria de aguas

También llamada divisoria de vertientes, es la línea imaginaria que separa dos o más cuencas vecinas. Se ubica generalmente en las partes más elevadas del terreno y determina hacia dónde se dirige el agua de la lluvia. Esta línea es fundamental para definir límites naturales, jurisdicciones ambientales y unidades de planificación territorial (FAO, 2016).

Relieve de la cuenca

El relieve abarca todas las formas del terreno: montañas, colinas, laderas y valles principales y secundarios. Este elemento influye directamente en la velocidad de escorrentía, la erosión, la infiltración y la capacidad de retención de la cuenca. Un relieve abrupto genera respuestas rápidas ante la lluvia, mientras que uno más suave permite mayor retención de agua y sedimentación (Ponce, 2014; Monsalve, 2002).

Partes de una cuenca hidrográfica

La cuenca se divide tradicionalmente en tres zonas alta, media y baja, cada una con características propias que influyen en el flujo del agua y en los procesos geomorfológicos.

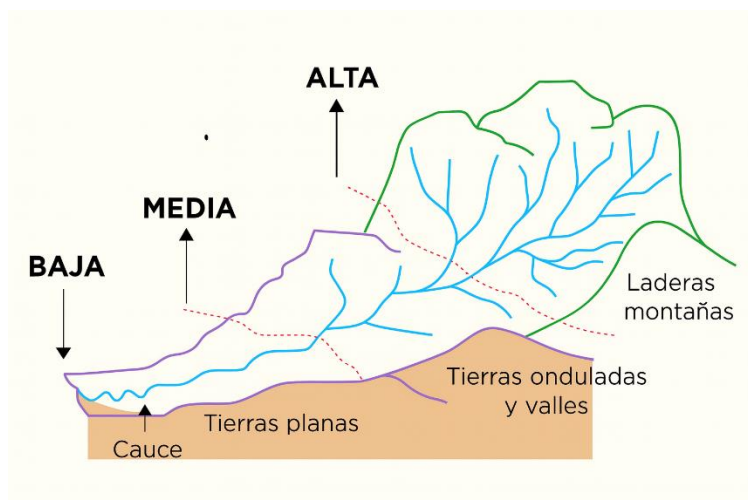
- Cuenca alta. Es la zona de mayor altitud y pendiente. Comúnmente está cubierta por vegetación primaria o bosques, y es el sitio donde se originan las corrientes

de agua. Debido a la inclinación del terreno, aquí predominan los procesos de erosión regresiva y socavación, lo que significa que el material del suelo y de las rocas tiende a desprenderse y ser transportado hacia zonas inferiores. En esta parte del paisaje son evidentes las huellas de erosión y deslizamientos.

- Cuenca media, Corresponde a la zona intermedia donde las pendientes se suavizan y los cauces se “encajonan” entre las laderas. En esta región suele existir un equilibrio dinámico entre el material sólido que ingresa desde la parte alta y el que es transportado hacia la parte baja. Aquí los procesos erosivos son menos visibles y el cauce tiende a estabilizar su forma.
- Cuenca baja o zona de deyección, Es la parte final de la cuenca, donde el valle se abre y la energía del agua disminuye. Como resultado, los sedimentos arrastrados desde las zonas altas se depositan y forman los llamados conos o abanicos de deyección, característicos por su forma convexa. Esta zona tiene gran importancia agrícola y ecológica debido a la fertilidad generada por la acumulación de sedimentos

Ilustración 5.

Representación de las partes de una cuenca hidrográfica.



Fuente: Adaptado de World Vision-Manual de Manejo de Cuencas.

Clasificación de las áreas de drenaje de acuerdo a su extensión

La clasificación de las áreas de drenaje según su extensión es un aspecto fundamental en el estudio hidrológico y en la gestión integrada del recurso hídrico. Esta clasificación permite organizar el territorio en unidades cada vez más específicas, facilitando la planificación, el diagnóstico ambiental y el manejo de los recursos hídricos en distintos niveles de escala.

De acuerdo con la FAO (2016), una cuenca hidrográfica se entiende como el territorio delimitado por líneas divisorias de aguas, dentro del cual toda la precipitación que cae fluye hacia un punto común. Esta estructura responde a una organización jerárquica del drenaje, donde los cauces se conectan entre sí siguiendo patrones definidos por el relieve y la dinámica del flujo.

A partir de esta estructura mayor, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia (2018) destaca que es posible subdividir el territorio en unidades más pequeñas, como subcuencas y microcuencas, las cuales se diferencian principalmente por su extensión, su funcionalidad hidrológica y características geomorfológicas. Estas divisiones permiten realizar análisis más precisos de los procesos de escorrentía, infiltración, erosión, transporte de sedimentos y disponibilidad del agua.

La clasificación de las áreas de drenaje facilita:

La delimitación de zonas prioritarias de conservación.

- La planificación del uso del suelo según la oferta y demanda de agua.
- El diseño de obras de infraestructura hidráulica.
- El establecimiento de estrategias diferenciales de manejo para cada nivel de cuenca.
- La identificación de impactos ambientales en escalas específicas.

Asimismo, los aportes de autores clásicos como Horton (1932) y Strahler (1952) han permitido comprender cómo la morfometría forma, tamaño, jerarquía y densidad del drenaje condiciona el comportamiento hidrológico de estas unidades, lo que refuerza la importancia de clasificarlas adecuadamente.

Terminología general de áreas de drenaje según su extensión

La organización de una cuenca hidrográfica en unidades de diferente tamaño permite comprender cómo se distribuye el agua en el territorio y facilita el manejo del recurso hídrico de manera ordenada y coherente. Cada escala de drenaje refleja un nivel particular de interacción entre el relieve, los cauces, la cobertura vegetal y los procesos hidrológicos que intervienen en el ciclo del agua.

Según la FAO (2016) y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018), las áreas de drenaje se clasifican de forma jerárquica, desde las superficies más extensas como cuencas mayores hasta unidades más detalladas como microcuencas. Esta clasificación responde no solo a criterios de tamaño, sino también a la funcionalidad hidrológica, la morfometría y la dinámica interna de los sistemas de drenaje.

En términos generales, la terminología utilizada para describir estas áreas incluye:

Cuenca

Es la unidad de drenaje de mayor escala. Abarca todo el territorio delimitado por divisorias de agua y que drena hacia un único punto de salida. Su extensión puede comprender cientos o miles de kilómetros

cuadrados. Dentro de ella se desarrollan procesos hidrológicos complejos y se articula una red fluvial principal.

Subcuenca

Corresponde a una subdivisión de la cuenca principal. Drena hacia un afluente relevante y presenta dinámicas propias de escorrentía e infiltración. Su tamaño es intermedio y permite realizar análisis más detallados del comportamiento hidrológico.

Microcuenca

Es la unidad más pequeña de drenaje en la jerarquía. Suele comprender superficies reducidas, lo que permite identificar con mayor precisión procesos como erosión localizada, recarga de acuíferos, transporte de sedimentos y variabilidad de caudales. Por su escala, es muy utilizada en planes de manejo comunitario o de conservación ambiental.

Área de drenaje

Es un término general que se refiere al terreno que aporta agua a un cauce específico, sin importar su tamaño. Puede representar desde el aporte de una ladera hasta el drenaje completo de un sistema mayor.

Tabla 2.

Terminología general de áreas de drenaje según su extensión

TÉRMINO	RANGO DE SUPERFICIE (APROX.)	DESCRIPCIÓN TÉCNICA	FUENTE
Cuenca hidrográfica	> 25.000 ha (250 km ²)	Área geográfica delimitada por divisorias de aguas que drena hacia un punto común en un río principal o lago. Incluye múltiples subcuencas.	FAO (2016); Ministerio de Ambiente de Colombia (2018)
Subcuenca	5.000 – 25.000 ha (50 – 250 km ²)	División interna de una cuenca que drena a un afluente principal. Permite una gestión intermedia y escalonada.	FAO (2016); INE Chile (2019)
Microcuenca	500 – 5.000 ha (5 – 50 km ²)	Unidad mínima de planificación hídrica, generalmente vinculada a comunidades locales. Se usa para proyectos de conservación de suelos y agua.	FAO (2016); CATIE (2014)

Nanocuenca	< 500	ha	Áreas muy pequeñas, a menudo manejadas por un único predio o comunidad.	Movimiento Agroecológico Latinoamericano (MAL, 2020)
o Micro- microcuenca	(menos de 5 km ²)		Relevante para cosecha de agua y restauración localizada.	

Fuente. Movimiento Agroecológico Latinoamericano (MAL, 2020) y Red de Acción en Cuencas de América Latina y el Caribe (RA-Cuencas, 2019).

Las cuencas hidrográficas, además de ser unidades técnicas de análisis, son territorios donde viven comunidades, se desarrollan actividades productivas y se sostienen ecosistemas completos. Por eso, clasificarlas según su tamaño no es solo un ejercicio académico: es una forma de entender cómo se organiza el agua en el paisaje y cómo debemos cuidarla.

La FAO (2016) propone una clasificación sencilla pero muy útil: distingue entre cuencas grandes (más de 1.000 km²), medianas (entre 100 y 1.000 km²) y pequeñas (menos de 100 km²). Esta forma de ordenar el territorio permite planificar de manera más efectiva, pues cada escala implica dinámicas distintas de escorrentía, uso del suelo y manejo del recurso hídrico. Una cuenca grande puede involucrar varios municipios o departamentos, mientras que una pequeña puede

abarcando una sola vereda y afectar directamente la vida cotidiana de sus habitantes.

En Colombia, el Ministerio de Ambiente (2018) ajusta esta clasificación a la realidad del país, donde la diversidad de climas, montañas y paisajes exige un enfoque más detallado. Aquí se consideran cuencas las áreas mayores a 25.000 hectáreas, subcuencas las que tienen entre 5.000 y 25.000 hectáreas, y microcuencas las que van de 500 a 5.000 hectáreas. Esta diferenciación permite que las acciones de conservación, restauración o manejo del agua se adapten mejor a la escala local y a las necesidades de cada comunidad.

En México, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2015) utiliza umbrales más amplios para definir estas unidades. Esto refleja no solo una geografía distinta, sino también otra forma de organizar el territorio y gestionar el agua. Cada país adapta la clasificación a sus propias realidades físicas y a sus marcos institucionales.

Clasificación FAO (2016) – Manual para la planificación de cuencas hidrográficas

La FAO (2016), en su Manual para la planificación de cuencas hidrográficas, propone una clasificación práctica que permite organizar el territorio según la extensión de las áreas de drenaje. Esta categorización no solo facilita el análisis hidrológico, sino que también orienta la toma de decisiones en planificación ambiental, gestión del agua y manejo sostenible del paisaje.

Cada tamaño de cuenca implica dinámicas distintas: las más grandes requieren coordinación institucional a gran escala, mientras que las más pequeñas permiten acciones directas con las comunidades.

Tabla 3.

Clasificación FAO (2016) – Manual para la planificación de cuencas hidrográficas

CATEGORÍA	SUPERFICIE (KM ²)	OBSERVACIONES
Cuenca mayor	> 1.000 km ²	Manejo macrohidrológico, generalmente involucra varios departamentos o provincias.
Cuenca mediana	100 – 1.000 km ²	Combinan planificación regional y local.
Cuenca pequeña	< 100 km ²	Adecuada para proyectos comunitarios y piloto.

Fuente: FAO. (2016). Planificación y manejo de cuencas hidrográficas. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Definiciones en marcos normativos latinoamericanos

La forma en que se clasifica una cuenca hidrográfica no es universal; cada país adapta sus criterios según su geografía, su marco institucional y las necesidades de gestión del agua. Por eso, aunque todas las naciones coinciden en distinguir entre cuencas, subcuencas y microcuencas, los rangos de superficie asignados a cada categoría pueden variar significativamente. Estas diferencias reflejan no solo la dimensión territorial de cada país, sino también su manera de organizar la planificación hídrica y ambiental. Mientras algunos territorios requieren rangos más amplios debido a su gran extensión geográfica, otros adoptan escalas más finas para facilitar el trabajo comunitario y la gestión local.

La siguiente tabla presenta una comparación entre los criterios de clasificación utilizados por instituciones oficiales en Colombia, México, Perú y Chile, lo que permite visualizar cómo cada nación ajusta la escala de análisis a su propia realidad hidrográfica y administrativa.

Tabla 4.

Definiciones en marcos normativos latinoamericanos

PAÍS O INSTITUCIÓN	CUENCA	SUBCUENCA	MICROCUENCA
-----------------------	--------	-----------	-------------

Colombia – Ministerio de Ambiente (2018)	> ha	25.000	5.000 – 25.000 ha	500 – 5.000 ha
--	---------	--------	----------------------	----------------

México – CONAGUA (2015)	> ha	50.000	10.000 – 50.000 ha	1.000 – 10.000 ha
----------------------------	---------	--------	-----------------------	-------------------

Perú – ANA (2019)	> ha	20.000	2.000 – 20.000 ha	< 2.000 ha
----------------------	---------	--------	----------------------	------------

Chile – DGA (2019)	>	500 km ²	50 – 500 km ²	5 – 50 km ²
-----------------------	---	---------------------	--------------------------	------------------------

Fuente: RA-Cuencas, 2019

Enfoque de los entes conservacionista y agroecológicos en cuanto a la superficie de las hoya hidrográficas.

En los enfoques conservacionistas y agroecológicos, la escala de trabajo no se define únicamente por criterios hidrológicos o administrativos, sino por las dinámicas sociales, ecológicas y culturales que caracterizan cada territorio. A diferencia de los marcos normativos tradicionales, estas aproximaciones privilegian la relación directa entre las comunidades y los espacios que gestionan, reconociendo que la protección del agua comienza en los lugares donde nace, se infiltra y se distribuye en el paisaje.

Por ello, organizaciones y movimientos ambientales en América Latina, como el Movimiento Agroecológico Latinoamericano (MAL, 2020), utilizan categorías más flexibles que permiten intervenir de manera precisa en los puntos críticos de recarga, conservación y uso comunitario del recurso hídrico. Estas escalas promueven prácticas locales de gobernanza, restauración ecológica y manejo sostenible del suelo y el agua.

La siguiente tabla presenta tres niveles de intervención comunes en estos enfoques, destacando su

superficie referencial y el tipo de acciones que se priorizan en cada uno.

Tabla 5.
Enfoque de los entes conservacionista y agroecológicos en cuanto a la superficie de las hoyas hidrográficas

ESCALA	SUPERFICIE REFERENCIAL	ENFOQUE
Cuenca ecológica	social-Variable (> 10.000 ha)	Planificación territorial integral, gobernanza hídrica participativa.
Microcuenca comunitaria	50 – 5.000 ha	Restauración de nacimientos de agua, manejo forestal comunitario.
Unidad mínima de captación	< 50 ha	Prácticas agroecológicas y cosecha de agua in situ.

Fuente: Movimiento Agroecológico Latinoamericano (MAL, 2020) y Red de Acción en Cuencas de América Latina y el Caribe (RA-Cuencas, 2019).

Algunas características morfológicas de la cuenca hidrográfica

La morfología de una cuenca hidrográfica —es decir, su forma, dimensiones y patrones geométricos— influye profundamente en la manera como el agua se moviliza sobre el territorio. Estas características condicionan el tiempo de concentración, la magnitud de los caudales y la forma en que la cuenca responde frente a un evento de lluvia. Comprender estos rasgos es esencial para la planificación hidrológica, el diseño de infraestructura y la gestión del riesgo.

Forma de la cuenca

La forma de la cuenca describe la configuración geométrica del área que la compone cuando se observa en planta. Este aspecto determina cómo se distribuye el flujo hacia el cauce principal y, por lo tanto, cómo se comporta la escorrentía durante y después de un evento de precipitación.

En términos generales:

- Cuencas alargadas suelen dispersar la escorrentía a lo largo del tiempo, por lo que tienden a presentar caudales máximos más bajos y tardíos.
- Cuencas más circulares concentran la escorrentía rápidamente, lo que incrementa la posibilidad de

generar picos de caudal elevados en menor tiempo (Chow et al., 2013).

Parámetros de forma

Los parámetros de forma permiten representar numéricamente cómo la geometría de una cuenca influye en la velocidad con la que el agua llega al cauce principal. Su análisis constituye una herramienta fundamental para estimar el comportamiento hidrológico y prever posibles crecidas.

Entre los índices más utilizados se encuentran:

- Factor de forma (Ff)
- Índice o factor de compacidad
- Rectángulo equivalente

Cada uno de estos parámetros ayuda a determinar el grado de circularidad, alargamiento o eficiencia geométrica de una cuenca frente a la concentración de caudales.

Factor de forma

El factor de forma —también conocido como índice de Gravelius expresa la relación entre el ancho promedio de la cuenca y su longitud axial, ofreciendo una medida clara del grado de alargamiento o circularidad del sistema.

La ecuación se define como:

$$Ff = \frac{AP}{La}$$

Donde:

- Ap: ancho promedio, obtenido mediante la relación entre el área y la longitud axial de la corriente principal.
- La: longitud axial de la corriente principal.
- Ff: factor de forma.

Interpretación:

- Valores cercanos a 1 representan cuencas más circulares, con alta capacidad para generar picos de caudal rápidos y elevados.
- Valores menores a 0,5 corresponden a cuencas alargadas, que suelen mostrar una respuesta hidrológica más suave y atenuada (Horton, 1932; Singh, 1992).

Ejemplo de cálculo del factor de forma (Ff)

Para ilustrar la aplicación del factor de forma, consideremos la cuenca del río Raposo, para la cual se conocen los siguientes parámetros morfométricos:

- Área (A): 59,45 km²

- Longitud axial (La): 23,11 km

El primer paso consiste en calcular el ancho promedio (Ap) de la cuenca, que se obtiene dividiendo el área entre la longitud axial:

$$Ap = \frac{A}{La} = \frac{59.45 \text{ km}^2}{23,11 \text{ km}} = 2.57 \text{ km}$$

Luego, se aplica la fórmula del factor de forma (Ff):

$$Ff \frac{AP}{La} = \frac{AP}{La} = \frac{2.57 \text{ km}}{23,11 \text{ km}} = 0,11$$

Interpretación del resultado

El valor obtenido (Ff = 0.11) es significativamente menor que 1, lo que indica que la cuenca presenta una forma alargada. Según los criterios hidrológicos establecidos por Horton (1932) y Singh (1992), valores bajos del factor de forma se asocian con:

Tiempo de concentración más largo,

Escorrentía distribuida en el tiempo, y

Menor probabilidad de crecidas súbitas, en comparación con cuencas más circulares.

La cuenca del río Raposo tenderá a generar respuestas hidrológicas más atenuadas frente a eventos de lluvia, característica típica de sistemas con alta elongación.

Factor de compacidad

El factor de compacidad (I_c) es un parámetro morfométrico utilizado para comparar la forma real de una cuenca hidrográfica con la forma ideal de un círculo que posee la misma área. Esta comparación es relevante porque el círculo representa la figura geométrica con el perímetro mínimo posible para un área dada; por lo tanto, cuanto más se aleje una cuenca de esta forma ideal, mayor será su tendencia a dispersar los caudales y a reducir la rapidez con la que se concentra la escorrentía.

El índice relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro del círculo equivalente, permitiendo cuantificar el grado de irregularidad o elongación del contorno. Según Horton (1932) y Strahler (1952), valores altos del I_c indican cuencas más irregulares, con mayor propensión a retrasar la llegada del agua al cauce principal; valores cercanos a 1 señalan formas más compactas, con mayor capacidad para generar caudales pico elevados y rápidos.

La fórmula empleada es:

$$I_c = \frac{0,282P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

- I_c : coeficiente o índice de compacidad, adimensional.

- P: perímetro de la cuenca (km).
- A: área de la cuenca (km²).

El factor 0,282 corresponde a la constante derivada de la relación geométrica entre el perímetro de un círculo y su área equivalente.

Cuadro de forma a partir del índice de compacidad (Ic)

La forma de una cuenca hidrográfica influye de manera directa en su comportamiento hidrológico, especialmente en la velocidad con que la escorrentía llega al cauce principal. El índice de compacidad (Ic) permite evaluar cuantitativamente esa forma, comparando el perímetro real de la cuenca con el perímetro ideal de un círculo equivalente. A partir de este valor, es posible clasificar la cuenca en categorías geométricas que facilitan interpretar su tendencia a concentrar o dispersar los caudales.

La siguiente tabla resume las principales categorías morfológicas derivadas del Ic, permitiendo identificar si una cuenca es más circular, ovalada o alargada, y por tanto, anticipar su respuesta frente a eventos de lluvia.

Tabla 6.

Cuadro de forma a partir del índice de compacidad (Ic)

Valor de (Ic)	Nombre
1.00 – 1.25	Redonda-oval redonda
1.26 - 1.50	Oval redonda – oval oblonga
1.51- 1.75	Oval, oblonga- Rectangular oblonga.

Fuente, Hidrología en la ingeniería 2002.

Ejemplo de cálculo del índice de compacidad (Ic)

Para ilustrar la aplicación del índice de compacidad, consideremos nuevamente la cuenca del río Raposo, de la cual se conocen los siguientes parámetros morfométricos:

- Perímetro (P): 45,45 km
- Área (A): $59,45 \text{ km}^2$

Aplicando la ecuación del índice de compacidad:

$$Ic = 0,282 \left(\frac{P}{\sqrt{A}} \right)$$

Procedemos al cálculo:

$$Ic = 0,282 \left(\frac{45,45}{\sqrt{59,45}} \right)$$

$$Ic = 1,66$$

Interpretación del resultado

El valor obtenido ($Ic = 1.66$) indica que la cuenca del río Raposo presenta una forma alargada, lo que coincide con la clasificación morfológica incluida en la Tabla, donde los valores entre 1.51 y 1.75 corresponden a cuencas de forma oval oblonga a rectangular oblonga.

Desde el punto de vista hidrológico, un índice de compacidad alto sugiere una cuenca con menor eficiencia geométrica para concentrar rápidamente el flujo, lo que generalmente se traduce en tiempos de concentración más largos y una menor probabilidad de presentar picos de caudal súbitos, coherente con lo señalado por autores como Horton (1932) y Strahler (1952).

Curva Hipsométrica

La curva hipsométrica es una herramienta geomorfológica fundamental que representa gráficamente la relación entre la superficie relativa acumulada de una cuenca y la altitud relativa de su relieve (Strahler, 1952). Esta representación permite visualizar cómo se distribuye el volumen del terreno en diferentes niveles de altura, ofreciendo una lectura clara del estado evolutivo del paisaje fluvial.

Según su forma, la curva hipsométrica permite identificar el “grado de madurez” geomorfológica de una cuenca:

- Cuenca joven: presenta una curva convexa, típica de relieves poco erosionados y estructuras topográficas robustas.
- Cuenca madura: exhibe una curva en forma sigmoide, lo que indica un equilibrio entre erosión y sedimentación.
- Cuenca vieja: muestra una curva predominantemente cóncava, reflejando un relieve ampliamente erosionado y con menor energía potencial.

Esta herramienta es especialmente útil para estudiar procesos de erosión, estabilidad de laderas, transporte de sedimentos y evolución morfodinámica de una cuenca. Como señalan Pike y Wilson (1971):

“La hipsometría es una herramienta diagnóstica del grado de disección y estabilidad de un paisaje fluvial” (p. 69).

Representación gráfica del estado geomorfológico de una cuenca hidrográfica.

La imagen presenta tres curvas hipsométricas (A, B y C) dibujadas dentro de un gráfico cartesiano.

En el eje vertical se muestra la altura relativa (de 0 a 1), mientras que en el eje horizontal aparece el porcentaje de área acumulada respecto a la altura relativa (de 0% a 100%). Cada curva representa un estado evolutivo diferente del relieve de una cuenca hidrográfica, según el modelo geomorfológico de Strahler.

Curva A

- Tiene forma claramente convexa.
- Se mantiene alta en sus primeros tramos y desciende de forma pronunciada solo cerca del final.
- Interpretación: representa una cuenca en fase juvenil, con un alto potencial erosivo, pendientes fuertes y poco tiempo de modelado.

Curva B

- Presenta una forma intermedia o sigmoide (en “S”).

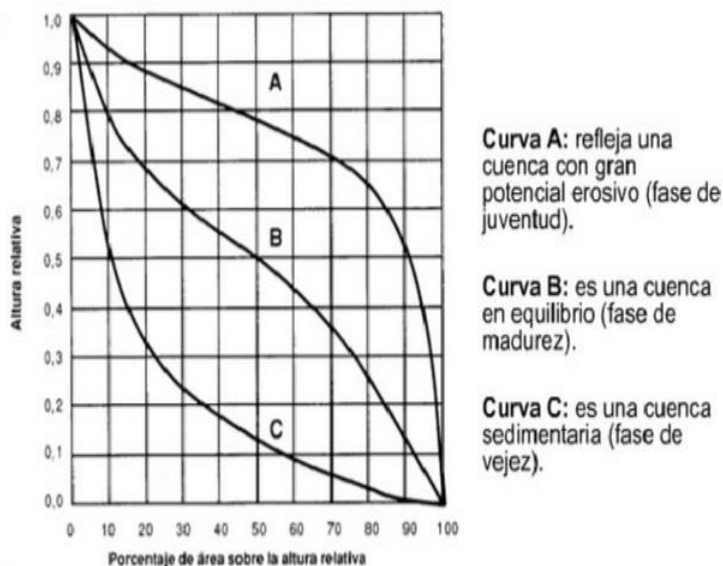
- Refleja un equilibrio entre áreas altas y bajas.
- Interpretación: corresponde a una cuenca en fase de madurez, donde la erosión y la sedimentación se encuentran relativamente equilibradas.

Curva C

- Es cóncava y se mantiene muy baja durante la mayor parte del gráfico.
- Desciende rápidamente en las primeras áreas y se aplana hacia el final.
- Interpretación: indica una cuenca en fase de vejez, donde predomina la sedimentación y el relieve está ampliamente erosionado.

Tabla 7.

Representación gráfica del estado geomorfológico de una cuenca hidrográfica.



Fuente. Curva hipsométrica (Ingeciv, s.f.).

Ecuaciones usadas para el grafico de curva hipsométrica.

La curva hipsométrica se obtiene a partir del análisis estadístico de las elevaciones y áreas parciales de una cuenca. Para ello, se emplean indicadores como la elevación media y la elevación mediana, calculados mediante las siguientes expresiones:

Ecuación de la elevación media (Em)

$$Em = \frac{\sum(a_i * e_i)}{A_c}$$

Donde:

- a_i : áreas parciales de cada intervalo altitudinal (m^2)
- e_i : elevación media correspondiente a cada intervalo (m)
- A_c : área total de la cuenca (m^2)

Ecuación de la elevación mediana (Me)

$$Me = L_i + \left(\frac{0,5 - (F_i - 1)}{f_i} \right) * c_i$$

- Donde:
- L_i : límite inferior de la clase donde se ubica la mediana

- $F_i - 1$: frecuencia acumulada anterior a la clase mediana
- f_i : frecuencia absoluta de la clase mediana
- c_i : amplitud de la clase

Tabla 8.

Representación de valores para graficar curva hipsométrica.

Cotas intervalo de clase(msnm)	Cota media (msnm)	Área (Km2)	Área acumulada	% de Área	% de Área acumulada
940-920		1.92		1083	1083
920-900		2.90		1636	2719
900-880		3.68		2076	4795
880-860		4.07		2297	7092
860-840		4.60		2595	9687
840-820		2.92		1648	11335
820-800		19.85		11199	22534
800-780		23.75		13.40	35934
780-760		30.27		17077	53011
760-740		32.09		18104	71115
740-720		27.86		15720	86835
720-700		15.45		8716	95551
700-680		7.89		4451	100.00
Área total			177.25		

Fuente. Monsalve, Hidrología en la ingeniería. 2002

Pendiente De Una Cuenca Hidrográfica

La pendiente de una cuenca hidrográfica es un parámetro fundamental para comprender su comportamiento hidrológico. Debido a la variación de las inclinaciones dentro del área de drenaje, es necesario calcular una pendiente ponderada, ya que esta representa de forma más realista la inclinación promedio del terreno.

La pendiente influye directamente en la velocidad del escurrimiento superficial y subterráneo, afectando el tiempo de concentración, la respuesta ante eventos de lluvia y el transporte de sedimentos. Asimismo, condiciona los procesos de erosión, los cuales dependen tanto de la magnitud de la pendiente como del manejo y uso del suelo en las vertientes.

De acuerdo con el valor de la pendiente, los terrenos dentro de una cuenca pueden clasificarse en diferentes categorías, lo que permite establecer criterios técnicos para la planificación del manejo ambiental, el diseño hidráulico y el control de erosión.

Tabla 9.

Clasificación de la pendiente de un terreno.

PENDIENTE (%)	RELIEVE
----------------	---------

0-3	Plano o casi plano
45841	Ligeramente inclinado o ligeramente Ondulado
45998	Moderadamente ondulado
45992	Fuertemente inclinado
25-50	Quebrado o moderadamente empinado
50-80	Empinado o escarpado
80	Muy empinado o muy escarpado

Fuente. Hidrología básica 1998.

Tabla 10.

Cálculo de la pendiente de un terreno en grados y en porcentaje.

ALTURA	DISTANCIA	PENDIENTE (%)	PENDIENTE
(DV.)	(DH.)	(DV/DH) *100	EN GRADOS
3	120	2.5 %	1.43 °
9	120	7.5 %	4.28 °
15	120	12.5 %	7.12 °
30	120	25 %	14.03 °
45	120	37.5 %	20.55 °
90	120	0,75	36.86 °
175	120	145.8 %	55.56 °

215	120	179.16 %	60.83 °
-----	-----	----------	---------

Fuente. Elaboración propia.

Precipitación

La precipitación es el proceso mediante el cual el agua contenida en la atmósfera se libera y cae a la superficie terrestre en forma de lluvia, nieve, granizo o rocío. Este fenómeno constituye la fuente principal de entrada de agua al ciclo hidrológico y es fundamental para el análisis de las cuencas y el comportamiento hidrometeorológico.

La precipitación puede presentarse principalmente en dos modalidades:

Lluvia ligera y de larga duración: asociada normalmente a sistemas frontales o nubosidad estratiforme, produce acumulaciones moderadas pero sostenidas.

Lluvia intensa y de corta duración: característica de tormentas convectivas, genera altos volúmenes de precipitación en poco tiempo y puede producir inundaciones repentinas.

Condiciones Necesarias Para Que Se Produzca Lluvia.

- Las condiciones necesarias para que se produzca lluvia están asociadas a la dinámica atmosférica y a las características microfísicas de las nubes. Según Monsalve Sáenz (2002), para que ocurra la

precipitación deben cumplirse los siguientes requisitos fundamentales:

- Condiciones físicas adecuadas en la nube: La nube debe presentar la estructura y el estado microfísico apropiado —contenido de humedad, temperatura y tamaños de gotas— que permitan la condensación y el crecimiento de partículas de agua hasta alcanzar un peso suficiente para precipitar.
- Temperatura ambiente menor que la temperatura de punto de rocío: La temperatura del aire (T_a) debe ser inferior a la temperatura de punto de rocío (T_d), lo que favorece la condensación del vapor de agua y facilita el desarrollo de gotas dentro de la nube.
- Existencia de corrientes ascendentes de aire: Es indispensable la presencia de corrientes convectivas que mantengan las gotas en suspensión mientras aumentan de tamaño por coalescencia. Esta condición permite la auto-propagación del proceso de precipitación y determina tanto la intensidad como la duración de la lluvia.

Tipos De Precipitación O Lluvias

Los tipos de precipitación se originan cuando una masa de aire asciende dentro de la troposfera y su temperatura disminuye según un gradiente determinado por el contenido de humedad. Este ascenso puede ocurrir por distintos mecanismos físicos que favorecen la condensación y posterior formación de lluvia. Según Fernández (2006), los procesos más representativos son tres:

- Precipitación orográfica: ocurre cuando el aire húmedo es forzado a ascender al encontrar una barrera montañosa, provocando enfriamiento y condensación en las laderas de barlovento.
- Precipitación convectiva: se genera por el calentamiento intenso de la superficie, lo que produce corrientes ascendentes de aire caliente que, al enfriarse en altura, forman nubes de desarrollo vertical.
- Precipitación ciclónica: está asociada a sistemas de baja presión que inducen el ascenso del aire a gran escala debido a la convergencia y al movimiento frontal entre masas de aire frío y caliente.

Precipitación Orográfica

En la **precipitación orográfica**, una masa de aire cálido y húmedo avanza siguiendo la superficie terrestre hasta encontrarse con una barrera montañosa. Esta elevación del relieve obliga al aire a ascender, provocando su enfriamiento y condensación, lo que favorece la formación de lluvia en la vertiente de barlovento. En cambio, en la vertiente posterior o de sotavento predominan condiciones más secas debido al calentamiento y descenso del aire, fenómeno conocido como **sombra orográfica** (Fernández, 2006).

Ilustración 6.

Representación gráfica del fenómeno del efecto de montaña (lluvia orográfica)



Fuente: Gabriela Antuñez, (2020)

Precipitación Convectiva.

Una masa de aire se calienta al entrar en contacto con la superficie terrestre, la cual ha sido calentada previamente por la radiación solar. Al aumentar su temperatura, el aire reduce su densidad y asciende de manera vertical. Durante este ascenso, la temperatura disminuye gradualmente, lo que favorece el enfriamiento del aire y, con ello, la condensación del vapor de agua.

Ilustración 7.

Representación gráfica de cómo se forma la lluvia convectiva.



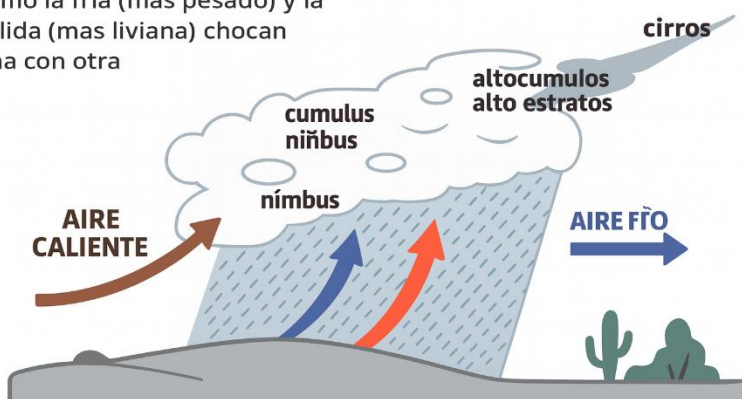
Fuente. Gabriela Antuñez, (2020)

La precipitación ciclónica ocurre cuando una masa de aire cálido en desplazamiento se encuentra con una masa de aire más fría. Debido a su menor densidad, el aire caliente asciende sobre el aire frío y se enfría progresivamente durante el ascenso, lo que favorece la condensación del vapor de agua y la formación de lluvia (Fernández, 2006).

Ilustración 8.

Gráfico ilustrativo de cómo se forma la precipitación ciclónica.

Ocurre cuando 2 masas de aire de distintas presiones, tales como la fría (más pesado) y la calida (mas liviana) chocan una con otra



Fuente. Gabriela Antuñez, (2020)

Variables que Afectan la lluvia

Las variables que influyen en la lluvia se relacionan con las características del evento pluviométrico, entre ellas su magnitud, el área afectada, la duración, la intensidad y la frecuencia o período de retorno (Monsalve, 2002).

Magnitud de la precipitación

Corresponde a la altura de la lámina de agua generada durante un evento de lluvia, suponiendo que esta permanece en el lugar donde cayó. Se expresa en milímetros (mm).

Área de lluvia

Es la superficie territorial cubierta por el evento de precipitación, pudiendo abarcar la totalidad de una cuenca, una parte de ella o incluso zonas externas al área de estudio.

Duración

Es el intervalo de tiempo comprendido entre el inicio y el final de un episodio de lluvia. Habitualmente se mide en minutos.

Intensidad

Se refiere al volumen de agua que cae por unidad de tiempo y se expresa en milímetros por hora (mm/h). Es una variable clave para el diseño de obras hidráulicas y de drenaje, especialmente ante eventos extremos.

Frecuencia o período de retorno

Indica el intervalo promedio de años en el cual un evento de una magnitud igual o superior ocurre al menos una vez. Muchas infraestructuras hidráulicas se proyectan considerando un período de retorno específico para garantizar seguridad y funcionalidad.

Medida de la precipitación

La medición de la precipitación se realiza mediante instrumentos como los pluviómetros y los pluviógrafos, los cuales permiten cuantificar la cantidad de agua que cae sobre una superficie durante un evento de lluvia. Un milímetro (mm) de precipitación corresponde a un litro de agua distribuido uniformemente sobre un metro cuadrado (1 m^2), bajo el supuesto de que no existe infiltración ni escorrentía superficial (Monsalve, 2002).

Pluviómetro

El pluviómetro es un instrumento utilizado para medir la cantidad de agua caída en forma de lluvia durante un periodo determinado. Está compuesto por

un recipiente que posee en su parte superior un brocal o abertura de 200 cm^2 de área, a través del cual el agua ingresa mediante un embudo hacia un colector interno. Allí queda depositada hasta su medición posterior con una probeta graduada en milímetros, permitiendo determinar con precisión la precipitación registrada en ese intervalo de tiempo (Pluviómetro, s. f.).

Ilustración 9.

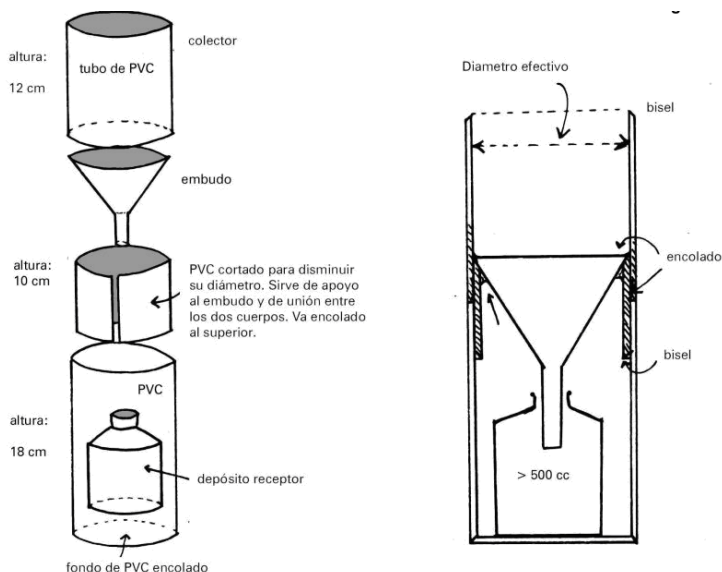
Imagen externa de un pluviómetro.



Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Pluvi%C3%B3metro>

Ilustración 10.

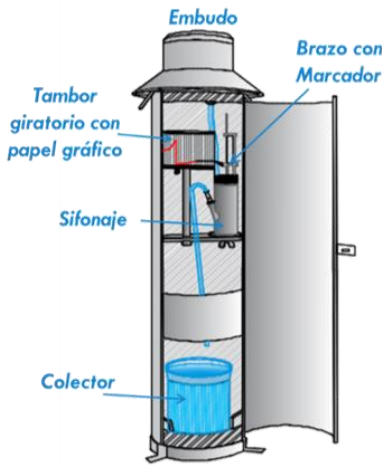
Esquema que me representa las partes principales de un pluviómetro.



Fuente: CalongeMeteoWeb,(s.f.)

El pluviómetro permite medir la cantidad de precipitación caída durante un periodo determinado, generalmente expresada en milímetros (mm). Para obtener este valor, el agua acumulada en el recipiente se registra mediante una regla o probeta graduada, siempre a la misma hora del día para garantizar uniformidad en el registro (Chow, Maidment & Mays, 1994).

Ilustración 11.

Gráfica del pluviógrafo y sus partes elementales

Fuente: Intesco, (s.f.)

Ejemplo de aplicación

Para ilustrar el uso de un pluviógrafo en el análisis de eventos de precipitación, considérese la banda pluviográfica registrada en la estación X durante un evento de lluvia. A partir del gráfico, se identifican los siguientes datos operativos:

- Inicio de la lluvia: 16:30 horas del 18 de diciembre de 1984
- Fin de la lluvia: 23:50 horas del 18 de diciembre de 1984

Con esta información es posible determinar parámetros hidrológicos como la duración total del evento, la intensidad variable a lo largo del tiempo, así como la lámina acumulada de precipitación. Estos valores son fundamentales para el cálculo de escorrentía, análisis de tormentas y diseño de obras hidráulicas.

Duración de la lluvia:

El evento tuvo una duración total de 6 horas y 20 minutos, lo cual equivale a:

$$6 \text{ h} \times 60 + 20 = 380 \text{ minutos}$$

Altura total de la precipitación.

A partir de la lectura de la banda pluviográfica, las láminas parciales registradas fueron:

$$6 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + 9 \text{ mm} = 35 \text{ mm}$$

Intensidad media de la lluvia

La intensidad media se obtiene dividiendo la altura total entre la duración del evento:

$$I_M = \frac{35 \text{ mm}}{380 \text{ min}} = \frac{0,092 \text{ mm}}{\text{min}}$$

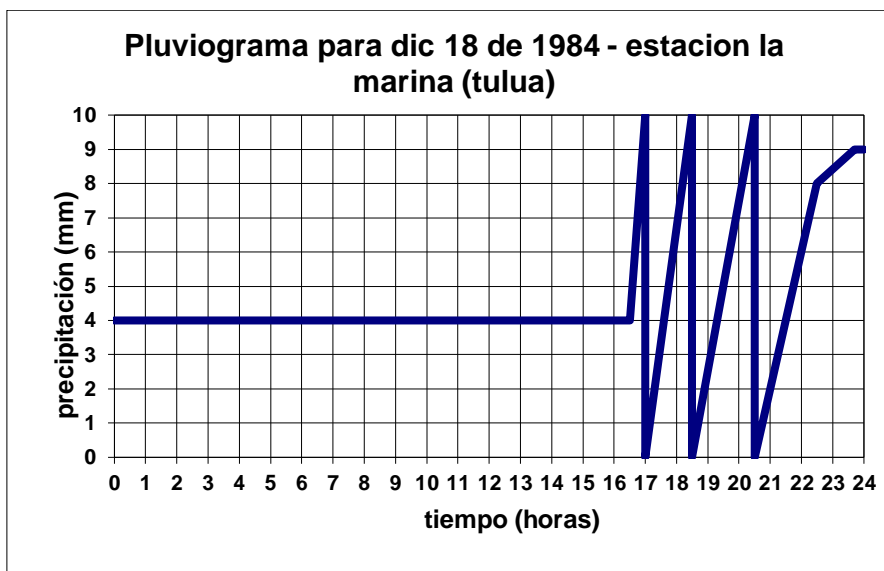
Para expresarla en unidades convencionales (mm/h):

$$I_M = \frac{0.092 \text{ mm}}{\text{min}} * 60 = 5.52 \frac{\text{mm}}{\text{h}}$$

La pendiente de la curva pluviográfica en un punto específico representa la intensidad instantánea de la lluvia, es decir, la tasa de precipitación en ese momento del evento.

Ilustración 12.

Gráfico que ilustra ejemplo de aplicación práctica numérica



Fuente: Yepes, 2024.

Precipitación media de un área

La precipitación media de un área es el valor representativo de la lluvia que cae sobre una superficie determinada, como una cuenca hidrográfica, un distrito o una zona de estudio. Dado que la lluvia no se distribuye de forma uniforme en el espacio, es necesario estimar un valor promedio que integre las mediciones obtenidas en diferentes pluviómetros ubicados dentro o alrededor del área.

Este parámetro es fundamental para el análisis hidrológico, ya que permite calcular volúmenes de escorrentía, evaluar balances hídricos y diseñar obras hidráulicas. Para su determinación se emplean métodos como:

- Promedio aritmético, adecuado cuando las estaciones están uniformemente distribuidas y las precipitaciones no varían significativamente.
- Método de los polígonos de Thiessen, que pondera la influencia de cada estación según el área que representa.
- Método hipsométrico, aplicado cuando existen variaciones importantes de precipitación con la elevación o la topografía.

La correcta estimación de la precipitación media garantiza mayor precisión en modelos hidrológicos y cálculos de escorrentía, especialmente en cuencas con variabilidad espacial significativa (Monsalve, 2002; Chow et al., 1994).

Método de la Media Aritmética

Es la media aritmética de las precipitaciones puntuales registradas por las estaciones ubicadas dentro del área de estudio. Se considera una primera aproximación, ya que, si los valores entre pluviómetros varían mucho o la distribución espacial no es adecuada,

pueden presentarse errores al estimar la precipitación media.

La precipitación media se calcula con la siguiente expresión:

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i$$

- Donde:
- P = precipitación media sobre la cuenca (mm)
- n = número de estaciones
 P_i = precipitación registrada en cada estación (mm)

Polígonos de Thiessen

En este método, los registros de cada estación se ponderan según el área de influencia que tiene esa estación dentro de la cuenca. Es un método más preciso que la media aritmética cuando las estaciones no están uniformemente distribuidas.

Procedimiento

- Identificar las estaciones pluviométricas que se utilizarán.
- Unir las estaciones mediante rectas.

- Trazar las mediatrices perpendiculares a cada recta.
- Con las mediatrices se forman polígonos que delimitan el área de influencia de cada estación.
- Calcular el peso de cada estación mediante la relación entre el área de su polígono y el área total de la cuenca.

La precipitación media ponderada se obtiene mediante:

$$P = \sum_{i=1}^n P_i * \frac{A_i}{A}$$

Donde:

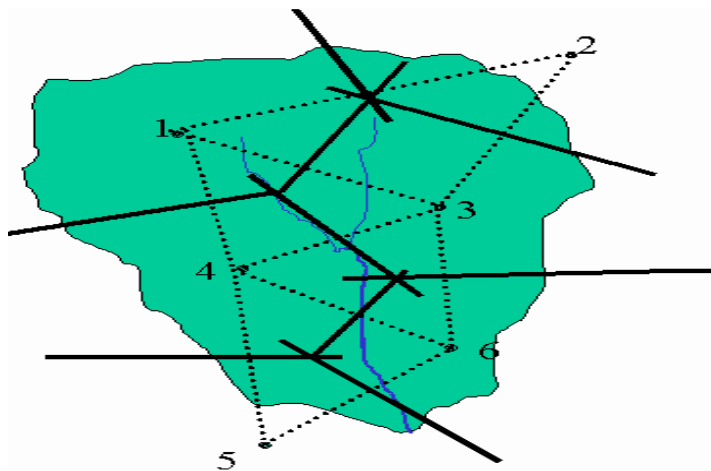
P_i = precipitación en la estación i

A_i = área del polígono Thiessen correspondiente a la estación i

A = área total de la cuenca

Ilustración 13.

Representación gráfica de la construcción de los polígonos de Thiessen



Fuente: ingenieriacivil.tutorialesaldia,2012.

Para el cálculo de la precipitación media por este método se usa la siguiente expresión:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n P_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

Donde:

- P = precipitación media sobre la cuenca expresada en (mm)
- P_i = precipitación en cada estación expresada en milímetros (mm)
- A_i = área de cada estación en Km^2
- n = número de estaciones

Método de las Isoyetas

El método de las isoyetas consiste en trazar líneas que unen puntos de igual precipitación, obtenidas a partir de la interpolación de los valores registrados en cada estación pluviométrica. Este procedimiento permite representar de forma precisa la distribución espacial de la lluvia en una cuenca (Chow, Maidment & Mays, 1988).

Es considerado uno de los métodos más racionales y representativos para estimar la precipitación media areal, especialmente cuando existe una distribución irregular de estaciones o variaciones significativas en el relieve. Su aplicación es particularmente recomendable en zonas montañosas debido a los cambios abruptos en la precipitación asociados a la altitud (Linsley, Franzini & Freyberg, 1992).

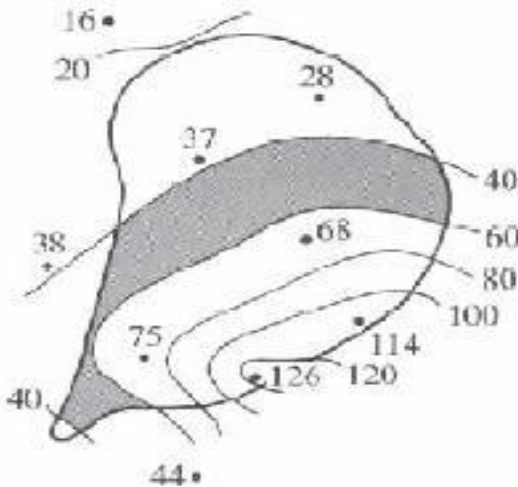
Normalmente, las isoyetas anuales se trazan con intervalos de 100 mm. Sin embargo, este intervalo debe ajustarse a las características de la región: en zonas de mayor altitud los valores pueden duplicarse o

triplicarse, mientras que en zonas bajas el intervalo puede reducirse a la mitad (Chow et al., 1988).

Después de trazar las isoyetas, se calcula el área comprendida entre cada par de curvas consecutivas. A cada una de estas áreas se les asigna una precipitación media igual al promedio de las dos isoyetas que la delimitan. Finalmente, la precipitación media de la cuenca se obtiene ponderando estas precipitaciones por sus áreas respectivas (Viessman & Lewis, 2003).

Ilustración 14.

Trazado de las isoyetas de acuerdo con los valores de precipitación más cercanos.



Fuente. ingenieriacivil.tutorialesaldia, 2012.

Para el cálculo de la precipitación media por este método se usa la siguiente expresión:

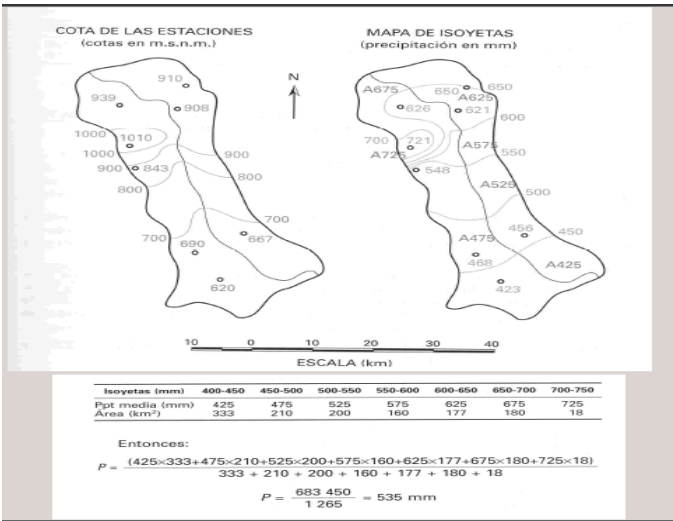
$$P = \frac{\sum_{i=1}^n P_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

Donde:

- P = precipitación media sobre la cuenca expresada en (mm)
- P_i = precipitación media entre cada dos isoyetas expresadas en milímetros (mm)
- A_i = área entre cada dos isoyetas en Km^2
- n = número de estaciones

Ilustración 15

Ejercicio resuelto de precipitación media teniendo en cuenta el mapa de isoyetas de precipitación.



Fuente. Captación del libro de planes de ordenación de cuencas 2018.

Hidrometría

Métodos de aforo

La magnitud del caudal en un curso de agua depende fundamentalmente de dos variables:

1. El área de la sección transversal del cauce, y
2. La velocidad media del flujo.

De acuerdo con la ecuación de continuidad, el caudal se determina como:

$$Q = A * V$$

donde:

- Q es el caudal (m^3/s),
- A corresponde al área mojada o sección transversal (m^2),
- V representa la velocidad media del agua (m/s).

Los distintos métodos de aforo se apoyan en esta relación básica, y su selección depende tanto de las características hidráulicas del cauce como de los requerimientos técnicos del estudio. Cada método presenta ventajas y limitaciones, y su aplicabilidad varía según el tipo de corriente, el nivel de precisión requerido y las condiciones de acceso al sitio (Chow, 1959; OMM, 2010).

Método de Volumen y Tiempo

Consiste en medir el tiempo que tarda en llenarse un volumen conocido de agua. Es adecuado para canales pequeños o descargas controladas.

Métodos basados en Secciones Hidráulicas

Se emplean estructuras que permiten conocer el gasto a partir de una relación geométrica y el tirante del agua:

- Orificios,
- Vertederos,
- Medidores sin cuello.

Estos métodos proporcionan alta precisión cuando la estructura está correctamente calibrada (Linsley et al., 1992).

Método de Sección y Velocidad

Requiere medir directamente la velocidad del flujo en una sección transversal conocida. Entre las técnicas más utilizadas se encuentran:

- Flotadores,
- Molinetes hidrométricos,

- Métodos de trazadores o concentración de sales.

Estos métodos resultan especialmente útiles en ríos naturales donde no existen estructuras de control (OMM, 2010).

Método de Volumen y Tiempo

El método de volumen y tiempo consiste en dirigir el flujo de una corriente hacia un recipiente con capacidad suficiente para contener el agua durante un intervalo determinado. El caudal se obtiene dividiendo el volumen captado entre el tiempo empleado en llenarlo:

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

donde:

- Q es el caudal (m^3/s),
- V es el volumen de agua recolectado (m^3),
- t es el tiempo de llenado (s).

Este procedimiento es especialmente útil en trabajos experimentales de laboratorio y en la medición de corrientes pequeñas, como aquellas presentes en zonas de ladera. En estos casos, los caudales son reducidos y la topografía favorece la conducción del flujo hacia el

recipiente, lo que permite obtener mediciones confiables de manera sencilla y económica (Chow, 1959; Linsley, Kohler & Paulhus, 1992).

Ilustración 16.

Representación de método volumétrico para medición del caudal.



Fuente: La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO),2028.

Método de las Secciones Hidráulicas

El método de las secciones hidráulicas se basa en hacer pasar el flujo de agua a través de una abertura u estructura diseñada (como orificios, vertederos o medidores), cuya geometría permite relacionar la carga hidráulica con el caudal descargado. El principio fundamental que rige este método es la ecuación de continuidad, en combinación con las ecuaciones de energía, como la de Bernoulli, lo que permite establecer

una relación confiable entre el nivel de agua y el caudal descargado (Chow, 1959).

Orificios

Los orificios son aberturas de forma regular ubicadas en una superficie vertical o pared transversal a la corriente, a través de los cuales pasa toda el agua. Sobre la cota superior del orificio siempre existe una lámina de agua (carga hidráulica), necesaria para generar la descarga. Estos pueden ser circulares, rectangulares u otras formas, y pueden estar contruidos como orificios de pared delgada (afilada) o de pared gruesa, según el espesor de la estructura donde se encuentren (French, 1986).

Orificio Circular

El cálculo del caudal que fluye a través de un orificio circular se obtiene aplicando conjuntamente la ecuación de continuidad y la ecuación de Bernoulli, considerando además el coeficiente de descarga asociado a las pérdidas por contracción y fricción.

De manera general, el gasto se expresa como:

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

donde:

- Q = caudal descargado (m^3/s),
- C_d = coeficiente de descarga (adimensional),
- A = área del orificio (m^2),
- g = aceleración de la gravedad (9.81 m/s^2),

h = carga hidráulica o altura de agua sobre el centro del orificio (m).

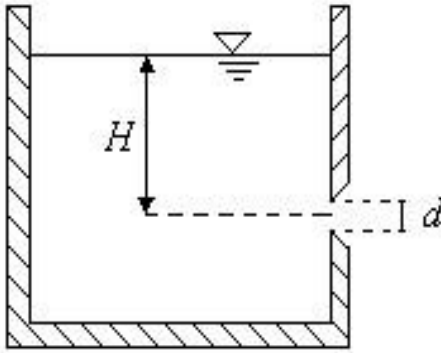
Este método se utiliza ampliamente por su simplicidad, precisión y facilidad de instalación, especialmente en aforos de canales, conductos y estructuras de control (Linsley et al., 1992).

Ecuación de Bernoulli

$$P_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h = P_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Ilustración 17.

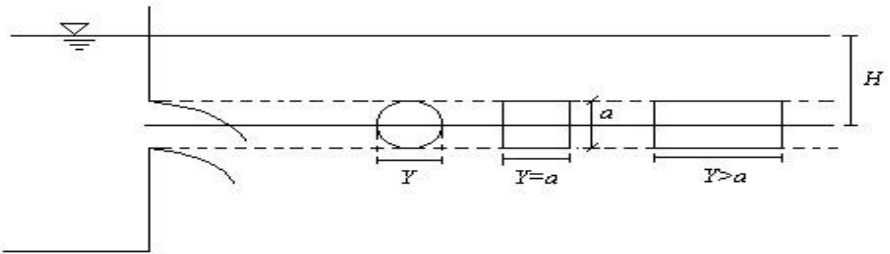
Corte longitudinal de orificio circular de pared delgada.



Fuente: Rodríguez 2018.

Ilustración 18.

Representación de las diferentes formas de los orificios de pared delgada.



Fuente: Rodriguez, 2018

Métodos de Aforo

Los métodos de aforo basados en la sección y velocidad consisten en determinar el caudal mediante la medición del área transversal del flujo y la velocidad

media del agua. Dentro de este grupo se encuentran tres técnicas principales:

- Aforo con flotadores
- Aforo con molinete hidrométrico
- Aforo químico o de concentración de trazadores (sales)

Estos procedimientos se fundamentan en la ecuación de continuidad:

$$Q = A * V$$

Donde Q es el caudal (m^3/s), A el área de la sección transversal (m^2) y V la velocidad promedio del flujo (m/s) (Chow, 1959).

Medición de caudal por el método área-velocidad con flotadores

El método de flotadores es una técnica sencilla que permite estimar la velocidad superficial del agua a partir del tiempo que tarda un objeto flotante en recorrer una distancia conocida. Aunque es fácil de aplicar, presenta baja precisión, ya que la velocidad superficial suele ser mayor que la velocidad media del flujo. Por esta razón, se recomienda aplicar un factor de corrección (usualmente entre 0.7 y 0.85) para aproximar la velocidad media (OMM, 2010).

Materiales necesarios

- Un objeto flotante que se desplace con la corriente y no sea afectado por el viento (bola de ping-pong, botella pequeña, rama o trozo de madera liviana).
- Reloj o cronómetro.
- Cinta métrica o huincha.
- Regla o tabla graduada para medir profundidades.
- Estacas, cuerda y machete para despejar vegetación si es necesario.

Paso 1: Selección del sitio de aforo

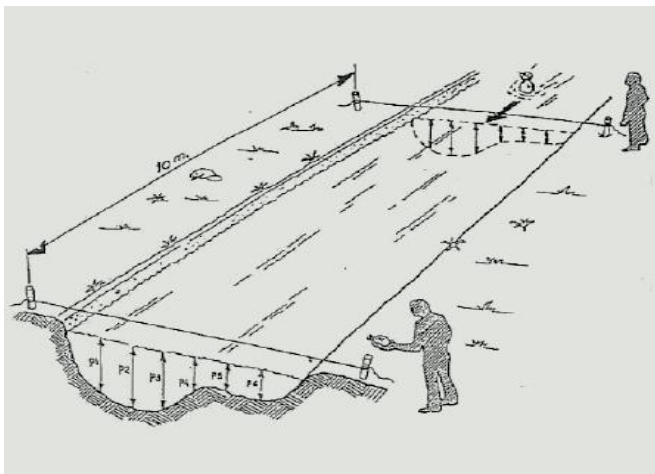
Debe elegirse un tramo del río o quebrada que cumpla las siguientes condiciones:

- Sección **uniforme y estable**.
- Ausencia de grandes rocas, troncos u obstáculos que alteren el flujo.
- Canal **recto** y con corriente claramente definida.
- Flujo **laminar o moderado**, sin remolinos ni turbulencia excesiva.

Estas condiciones garantizan que la velocidad medida represente adecuadamente el comportamiento del flujo (Cárdenas & Rojas, 2015).

Ilustración 19.

Esquema para la medición de la velocidad superficial de una corriente de agua.



Fuente: Proyecto Kumbo (Camerún). ANALES ICAI (s.f.).

Paso 2: Medición de la velocidad superficial (Vs)

La velocidad superficial del agua corresponde a la distancia recorrida por la corriente en un intervalo de tiempo determinado. Para obtenerla, se marca un tramo recto del río o quebrada —generalmente entre 5 y 20 metros— y se deja flotar un objeto ligero que sea arrastrado únicamente por la corriente.

La velocidad se calcula aplicando la fórmula básica:

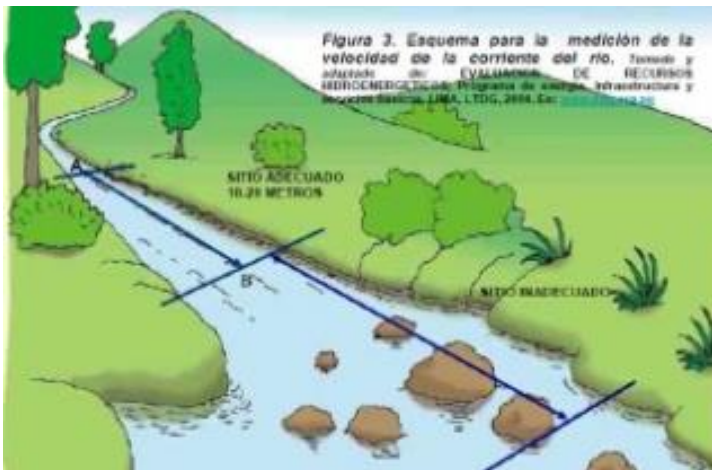
$$V_s = \frac{D}{t}$$

donde:

- D = distancia recorrida (m)
- t = tiempo empleado (s)

Ilustración 20.

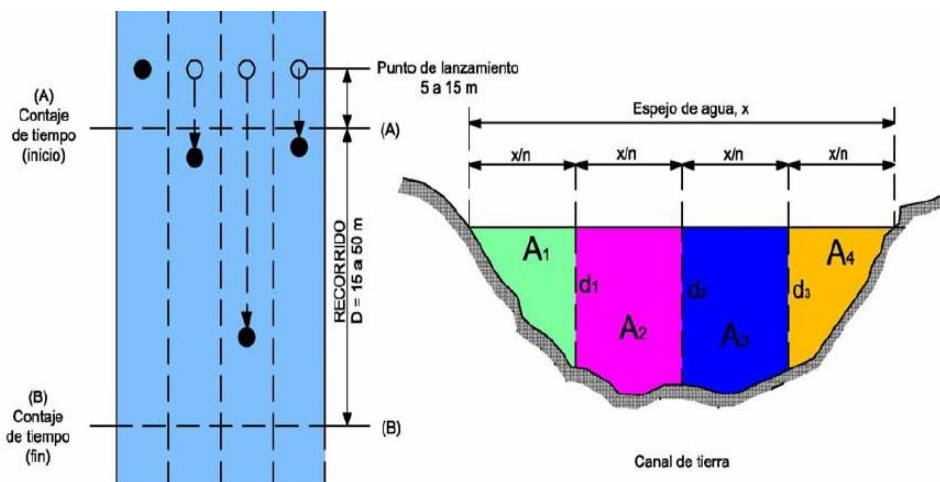
Esbozo para determinar la velocidad superficial de una corriente de agua.



Fuente: AgroNoticias2012. (2016). Medición de caudal por el método del flujo continuo

Ilustración 21.

Vista superior y corte longitudinal representando la determinación del caudal de un río por el método del flotador.



Fuente: Murillos, 2011.

Método de aforo por sección y velocidad

Medición de la velocidad superficial

Para realizar la medición en campo, una persona se ubica en el punto A con el flotador y otra en el punto B con el cronómetro. Se mide el tiempo que tarda el flotador en desplazarse del punto A al punto B. Es recomendable realizar al menos diez mediciones y calcular el promedio para reducir errores.

La velocidad superficial se obtiene mediante la expresión:

$$V_s = \frac{L}{t}$$

donde:

- L = longitud del tramo (m)
- t = tiempo promedio de recorrido (s)

Paso 3: Cálculo del radio hidráulico (R)

El radio hidráulico representa la relación entre el área mojada y el perímetro húmedo de la sección transversal. Se obtiene mediante:

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

donde:

- A = área mojada o sección transversal (m^2)
- P = perímetro mojado (m)

Paso 4: Determinación del coeficiente de flotación (C)

Una vez obtenido el radio hidráulico, se consulta la tabla de coeficientes de flotación correspondiente. El valor de C permite corregir la velocidad superficial para aproximarla a la velocidad media real de la corriente.

Paso 5: Cálculo de la velocidad media (V_m)

La velocidad media del flujo se estima aplicando el coeficiente de flotación:

$$V_m = C * V_S$$

Paso 6: Cálculo del caudal (Q)

Utilizando la ecuación de continuidad, el caudal de aforo se obtiene como:

$$Q = A * V_m$$

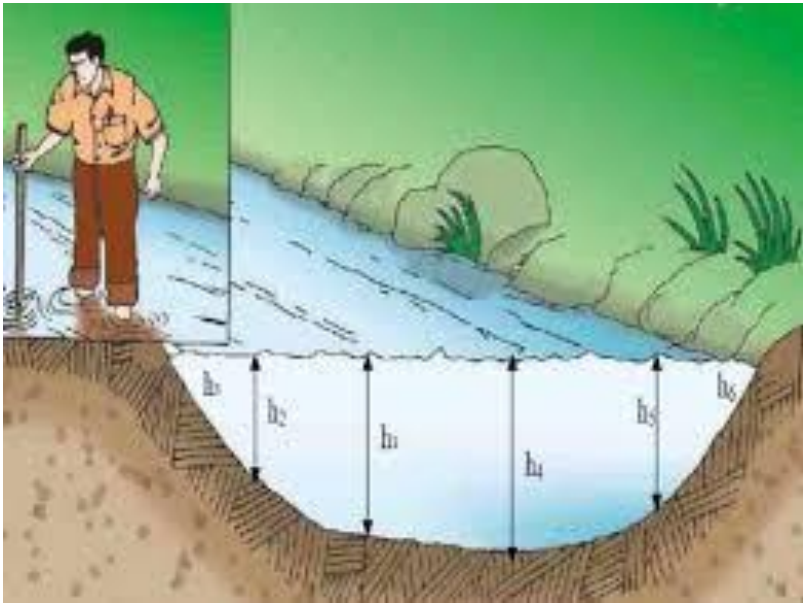
Paso 7: Medición del área de la sección transversal

Para determinar el área de la sección transversal del río o quebrada, se realiza el siguiente procedimiento:

1. Ubicar los puntos extremos de la sección en ambas orillas.
2. Tensar una cuerda entre estacas colocadas en dichos extremos.
3. Medir el ancho superficial del cauce.

- Dividir el ancho en varias fajas de igual tamaño (mínimo tres).
- Medir la profundidad del agua en cada faja utilizando una regla graduada.
- Registrar todos los datos en el formato de campo.
- Calcular el área parcial de cada faja.
- Sumar las áreas de todas las fajas para obtener el área total de la sección transversal.
- Las fajas pueden adoptar formas geométricas como rectángulos, triángulos o trapecios. El área total resulta de sumar las áreas de cada figura correspondiente en la sección.

Ilustración 22.
Geometría para hallar el área total en la sección transversal del punto de interés de aforo.



Fuente: University of Vienna, BIOREM. (2009).
Instructivo de medición de caudal

Valores de coeficientes de flotación para cálculo de caudal de aforo con flotador.

$R = \frac{A}{p}$	Madera		
	Madera lisa o cemento	sin cepillar o pared de pedrusco de ladrillo	Pared de Tierra

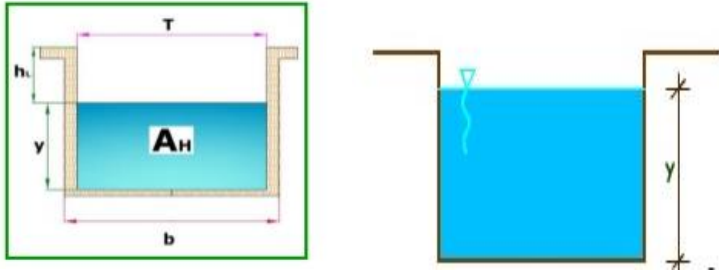
0.1	0.860	0.840	0.748	0.565
0.2	0.865	0.858	0.792	0.645
0.3	0.870	0.865	0.812	0.685
0.4	0.875	0.868	0.822	0.712
0.5	0.880	0.870	0.830	0.730
0.6	0.885	0.871	0.835	0.745
0.7	0.890	0.872	0.837	0.755
0.8	0.892	0.873	0.839	0.763
0.9	0.895	0.874	0.842	0.771
1.0	0.895	0.875	0.844	0.778
1.2	0.895	0.876	0.847	0.786
1.3	0.895	0.877	0.850	0.794
1.4	0.860	0.840	0.748	0.565

Fuente. Materón 1985

Ejemplo De Aplicación.

Calcular el caudal que circula por un cauce construido en tierra y de forma rectangular el cual tiene 2 metros de ancho = b ; $y = 80$ cm de profundidad de flujo, el tramo de aforo seleccionado es de 15 metros de

longitud y el tiempo promedio utilizado por el flotador en el recorrido fue de 20 segundos.



Solución

$$\text{Área húmeda} = A_h = 2\text{m} \times 0.8\text{m} = 1.6\text{m}^2$$

$$\text{Perímetro húmedo} = P_h = 0.8\text{m} + 2\text{m} + 0.8\text{m} = 3.6\text{m}$$

$$\text{Velocidad de flujo superficial} = V_s = \frac{e}{t} = \frac{15\text{m}}{20\text{s}} = 0.75\text{m/s}$$

$R_h = \frac{A}{P_h} = \frac{1.6\text{m}^2}{3.6\text{m}} = 0.444$, entonces como el cauce es tierra, de acuerdo con la tabla de coeficiente de flotación $C = 0.712$

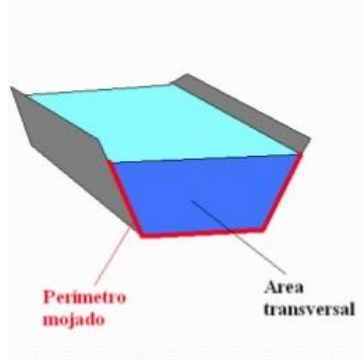
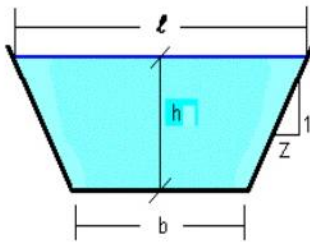
$$V_m = C \times V_s = 0.712 \times 0.75\text{m/s} = 0.534\text{ m/s}$$

$$\text{Ahora el caudal} = A \times V_m = 1.6\text{m}^2 \times 0.534\text{m/s}$$

$$Q = 0.8544\text{m}^3/\text{s}$$

Ejercicio de aplicación propuesto.

Encuentre el flujo o caudal que circula por un canal trapezoidal construido en la tierra como se muestra en el gráfico, la distancia de aforo es de 25 metros y los tiempos del flotador fueron los siguientes: 40 s, 35 s, 30 s, 38 s, 32 s.



Referencias

CATIE. (2014). *Guía metodológica para el manejo de microcuencas hidrográficas*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.

Cenicafé. (s.f.). *Distribución de la precipitación en Colombia: Análisis por cuencas*. Centro Nacional de Investigaciones de Café.
<https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/746>

Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1994). *Hidrología aplicada*. McGraw-Hill.

Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (2013). *Applied hydrology* (2.^a ed.). McGraw-Hill Education.

CONAGUA. (2015). *Clasificación y gestión de cuencas en México*. Comisión Nacional del Agua.

Dirección General de Aguas. (2019). *Inventario de cuencas hidrográficas de Chile*. Ministerio de Obras Públicas.

Enciso, A. M., Baquero, O. L., Escobar-Carbonari, D., Tapasco, J., & Cerón, W. L. (2022). Variability of precipitation recycling and moisture sources over the Colombian Pacific region: A precipitationshed approach. *Atmosphere*, 13(8), 1202.
<https://doi.org/10.3390/atmos13081202>

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y Ambientales. (2006). *Hidrología básica*. Medellín, Colombia.

(Nota: si deseas, puedo ajustar este registro si me das el título completo.)

FAO. (2016). *Planificación y manejo de cuencas hidrográficas*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Gómez-Latorre, D., Araujo-Carrillo, G., Martínez, F. E., Rodríguez Roa, A. O., Estupiñan, J. M., & Deantonio, L. Y. (2021). Análisis de eventos climáticos extremos asociados a excesos de lluvia y heladas meteorológicas en el Altiplano Cundiboyacense de Colombia. *Revista de Climatología*, 21, 112–126.

Hernández, F. D. (2006). *Hidrología*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD.

Horton, R. E. (1932). Drainage-basin characteristics. *Transactions of the American Geophysical Union*, 13, 350–361. <https://doi.org/10.1029/TR013i001p00350>

Jiménez, H. (1986). *Hidrología básica* (2.^a ed.). Universidad del Valle.

Materón, H. (1985). *Hidrología básica* (Tomo II). Universidad del Valle.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). *Manual para la formulación de planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas*. Bogotá, Colombia.

Monsalve Sáenz, G. (2002). *Hidrología en la ingeniería*. Escuela Colombiana de Ingeniería.

Movimiento Agroecológico Latinoamericano. (2020). *Gestión comunitaria de microcuencas y territorios de agua*. Quito, Ecuador.

Paz, A., Rodríguez, H., & Cáceres, L. (2024). Agroforestry landscape mosaics and climate resilience in tropical Andean catchments. *Ecological Indicators*, 157, 110380. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110380>

Pike, R. J., & Wilson, S. E. (1971). Elevation-relief ratio, hypsometric integral, and geomorphic area-altitude analysis. *Geological Society of America Bulletin*, 82(2), 1079–1084. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1971\)82\[1079:ERHIAG\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1971)82[1079:ERHIAG]2.0.CO;2)

Ponce, V. M. (2014). *Engineering hydrology: Principles and practices*. Prentice Hall.

Red de Acción en Cuencas de América Latina y el Caribe. (2019). *Lineamientos para la gestión participativa de microcuencas*.

Rodríguez-Santos, J., et al. (2018). Estimación de coeficientes de descarga en orificios circulares de pared delgada, en modelos físicos. *Revista Lasallista de Investigación*, 15(2), 20–32.
<https://doi.org/10.22507/rli.v15n2a2>

Silva Medina, G. (1998). *Hidrología básica*. Universidad Nacional de Colombia.

Singh, V. P. (1992). *Elementary hydrology*. Prentice Hall.

Sivapalan, M. (2013). Socio-hydrology: Explorations of societal-hydrologic systems. *Hydrological Sciences Journal*, 58(4), 1152–1166.

Strahler, A. N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*, 63(11), 1117–1142.
[https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1952\)63\[1117:HAAOET\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[1117:HAAOET]2.0.CO;2)

Vich, A. I. J. (1996). *Aguas continentales: Formas y procesos*.

El autor

Dagoberto

Torres

Valencia

*Ingeniero Agrícola – Magíster en Ciencias Agrarias
(Suelos)*

Es reconocido en el Pacífico colombiano como un referente en el estudio del suelo, el agua y sus interacciones en los sistemas productivos tropicales. Su trayectoria, construida con rigor científico y un profundo compromiso con la docencia, lo ha convertido en uno de los pilares de la formación agronómica en la región. Su vida profesional está estrechamente ligada a la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, donde obtuvo el título de Magíster en Ciencias Agrarias con énfasis en Suelos, y a la Universidad del Pacífico, institución en la que hoy ejerce como docente y formador de nuevas generaciones de agrónomos.

A lo largo de su carrera, el ingeniero Torres Valencia ha orientado su mirada hacia la comprensión integral de los recursos edáficos y su vinculación con el ciclo del agua. Su experiencia combina investigación aplicada, trabajo de campo, análisis de laboratorio, cartografía temática y una sólida fundamentación pedagógica. Desde su cátedra en el programa de Agronomía de la Universidad del Pacífico, ha impulsado una enseñanza que reconoce el entorno como aula viva: un laboratorio donde la hidrología, la geomorfología, el clima y la biología

convergen para explicar la complejidad de los territorios tropicales.

El Pacífico colombiano —pluvial, exuberante, diverso y frágil— ha sido el escenario natural de sus investigaciones y reflexiones. Allí, el autor ha liderado procesos que integran teoría científica con prácticas comunitarias, promoviendo el uso responsable del agua y la comprensión de las cuencas como espacios socioecológicos en permanente transformación. Su enfoque destaca la sostenibilidad, la eficiencia en el uso del recurso hídrico y la optimización de los suelos como bases para la producción agrícola y la protección de la biodiversidad.

Este *Manual Teórico-Práctico de Hidrología* es la síntesis de años de estudio, acompañamiento académico y experiencia territorial. En sus páginas, el autor presenta una hidrología que no se limita a fórmulas ni conceptos abstractos, sino que dialoga con los paisajes, los ríos y las comunidades que habitan el Litoral Pacífico. Con un lenguaje claro y estructurado, Dagoberto expone los principios fundamentales del ciclo hidrológico, las características de las cuencas, los métodos de medición y los parámetros necesarios para comprender el comportamiento del agua en sistemas complejos.

El lector encontrará aquí un equilibrio entre teoría e interpretación, entre ciencia y sensibilidad ambiental. Cada concepto es explicado no solo desde su

fundamento técnico, sino desde su utilidad para el manejo del territorio, la planificación agrícola y la gestión del riesgo. El autor orienta al estudiante a observar el paisaje con pensamiento crítico, a medir, comparar, analizar y tomar decisiones fundamentadas en datos y procesos naturales.

Este libro invita a reconocer el agua como patrimonio vivo y a comprender que su estudio va más allá del cálculo hidrológico: es una responsabilidad ética. En territorios como el Pacífico vallecaucano, donde la lluvia define los ritmos de la vida y la hidrología se entrelaza con la cultura, la movilidad, la economía y la alimentación, comprender el comportamiento del agua es también comprender la identidad del territorio.

Con esta obra, Dagoberto Torres Valencia aporta una herramienta formativa indispensable tanto para estudiantes como para profesionales que trabajan en agronomía, ingeniería ambiental, manejo de cuencas y ciencias de la tierra. Su legado académico se refleja en la claridad del texto, la rigurosidad conceptual y la capacidad de traducir fenómenos complejos en aprendizajes significativos.

Asimismo, este manual fortalece la misión de la Universidad del Pacífico de formar talento humano comprometido con el desarrollo sostenible de la región. La obra se inscribe en un momento histórico en el que el país demanda soluciones innovadoras para el uso y la

protección del agua, y en el que la educación ambiental adquiere un papel estratégico para enfrentar los desafíos climáticos y productivos del siglo XXI.

El autor ofrece este libro como guía, como mapa y como invitación: una guía para aprender a leer el territorio a través del agua; un mapa para interpretar el funcionamiento de las cuencas; y una invitación a pensar la hidrología como ciencia aplicada al servicio de la vida.

Este capítulo constituye un reconocimiento a su trayectoria, a su disciplina y a su vocación docente. La obra que el lector tiene entre manos es el testimonio de un maestro que ha recorrido montañas, ríos, parcelas y aulas con la convicción de que el conocimiento es más fecundo cuando se comparte.