

1. Hidrología
2. Cuencas hidrográficas
3. precipitación pluvial

LA IMPORTANCIA DE LA HIDROLOGIA EN EL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS

LUCIO LEGARDA BURBANO*
MIGUEL VIVEROS ZARAMA**

INTRODUCCION

Según Linsley, Kohler y Paulhus (1985), la hidrología es la ciencia que trata del agua, su ocurrencia, su circulación, distribución, sus propiedades y su relación con el ambiente y los seres vivos.

La hidrología aporta los elementos técnicos y científicos que le permitirán conocer adecuadamente el ciclo del agua y realizar estudios y obras para la regulación y ordenamiento de las cuencas hidrográficas.

El manejo de una cuenca hidrográfica no es otra cosa que el resultado benéfico obtenido del estudio conjunto de todos los factores que ella encierra como el suelo, el agua y la cobertura vegetal, ya que ellos están íntimamente relacionados entre sí y por consiguiente, dependen unos de otros.

Según Marín (1985), en su estudio "El Uso del Agua en Colombia", Colombia es uno de los países más ricos del mundo en recursos hídricos, su precipitación media es el doble de la de los países suramericanos, posee más de 720 mil cuencas hidrográficas con una área menor de 20 kilómetros cuadrados, posee más de mil ríos caudalosos, es decir, por todos sus costados escurre agua hacia los océanos y sin embargo el precioso líquido falta por todas partes. En el presente trabajo se analiza la importancia de la hidrología sobre las cuencas hidrográficas, en especial la utilización de técnicas y procedimientos para determinar la precipitación pluvial media de una área, las curvas de frecuencias, la medición de caudales, el análisis de escurrimiento

* Profesor Titular, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto, Colombia.

** Profesor Asociado, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto, Colombia.

superficial y todas las demás variables que se analizan en una cuenca.

Es decir la hidrología es una valiosa herramienta útil para el estudio de las cuencas hidrográficas, en la colección de datos y métodos de análisis y de aplicación a la solución práctica de los problemas de manejo, control y conservación de dichas áreas.

El ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico es el término descriptivo aplicado a la circulación general del agua desde los océanos hasta la atmósfera en forma de vapor, de esta al suelo en forma de lluvia y de aquí al mar en forma de escorrentía e infiltración. El concepto de ciclo hidrológico es muy importante hasta el punto de considerarlo como el principio de la hidrología.

Deducción de datos faltantes de lluvia de una cuenca

El relleno de las estadísticas de precipitación constituye un problema muy frecuente cuando se desea diseñar obras de irrigación y drenajes. Muchas estaciones de precipitación tienen cortos intervalos en los cuales, por uno y otro factor no se tiene la información por fallas en la observación o por desperfectos de los aparatos registradores (Silva, 1984).

Existen varios métodos para el cálculo de estos datos:

Promedio aritmético

Por este método la precipitación se estima partiendo de la observación dada en las estaciones más próximas y uniformemente espaciadas al rededor de la estación, cuyo registro se quiere completar. Si la precipitación anual normal en cada estación, difiere menos del 10% de la correspondiente a la estación con registro deficiente, basta una simple media aritmética de las precipitaciones índices para obtener la cantidad estimada.

Proporción normal o razón de valores normales

En este método, las cantidades de las estaciones índices se afectan de un cuyo valor es la relación de los valores de la precipitación anual normal. Si la precipitación anual normal de cualquiera de las estaciones índice, difiere de la correspondiente a la estación en cuestión en más del 10% es conveniente

emplear este método.

La precipitación faltante se obtiene por la siguiente ecuación

$$P_X = \frac{1}{3} \left[\frac{N_X}{N_A} P_A + \frac{N_X}{N_B} P_B + \frac{N_X}{N_C} P_C \right]$$

donde:

P_A = Dato faltante de precipitación que se desea obtener.

N_A, N_B y N_C = La precipitación anual normal de las estaciones índices.

P_A, P_B y P_C = La precipitación en las tres estaciones índices durante un mismo período de tiempo del dato faltante

N_X = Precipitación anual normal de la estación en estudio

Cuando se va a usar esta fórmula, es conveniente verificarla primero, para algunos períodos de tiempo donde existen valores de la precipitación en X, antes de adoptarla sin reserva.

Interpolaciones sucesivas

Puede usarse en el caso de que no existan estaciones adyacentes, entonces se procede con los datos solos de la estación en estudio y se toman los valores de los meses restantes dentro del mismo año, así se plantea una ecuación para cada dato faltante, resultando para n datos faltantes un sistema de n ecuaciones con n incógnitas. Cada una de las ecuaciones tendrá la siguiente forma:

$$\frac{\text{Precipitación durante el mes } i \text{ del año en estudio}}{\text{Promedio de precipitación durante el mes } i, \text{ para todos los años de registro}} = \frac{\text{suma de todas las precipitaciones mensuales del año en estudio}}{\text{Promedio anual de precipitación para todos los años de registro}}$$

La exactitud de estos métodos, debe comprobarse mediante el uso de un registro completo, tomando algunos datos existentes como si faltasen y calculándolos luego para compararlos con las medidas en la realidad. Un error en esta comparación $\pm 10\%$ puede considerarse aceptable. Para hacer estas interpolaciones", el registro de la estación debe ser suficientemente largo (unos 25 años), sin embargo, para los países latinoamericanos y en especial Colombia, es difícil encontrar estaciones con este período de registro, y quedarán muchas veces otra solución, que aceptar como "largo" un período de 10 años o quizá menos.

Método de las correlaciones

Este método permite el cálculo de los datos faltantes establecido en relación entre una estación y otra, o entre una estación y los datos promedios de un grupo de estaciones, requiriéndose para el trazado de la línea que mejor se ajuste a los datos existentes, un período común de registro para ambas estaciones (Legarda, 1984).

Con los datos del período común de mediciones para ambas variables se calcula gráfica o analíticamente, la línea recta que mejor se ajuste a las condiciones. Una vez establecido el gráfico, los datos faltantes pueden calcularse a partir de los datos existentes para el mismo período de tiempo. El método analítico se basa en los mínimos cuadrados y es más preciso que el gráfico.

Para que exista una buena correlación las condiciones hidrológicas deben ser semejantes mientras mayor sea el lapso de tiempo con registro común, mejor será el valor del dato calculado. Este parámetro tiene la propiedad de tener un valor máximo de 1, en cuyo caso las variables tendrían una correlación lineal.

Análisis de las curvas de doble masa o curvas de doble acumulación

El análisis de las curvas de doble masa prueba la regularidad del registro de lluvias de una estación meteorológica, comparando su precipitación acumulada anual, con los valores acumulados correspondientes a la precipitación media de un grupo de estaciones circundantes.

La variación en la curva, indica un cambio en el régimen de las

precipitaciones de una estación climatológica determinada, debido a un cambio en la localización del pluviómetro, alteración en las mediciones, interrupciones en el registro de datos, construcción de edificios próximos (Linsley, Kohler y Paulhus, 1985).

Determinación de la precipitación media de una cuenca

Para calcular el volumen total de agua producida por una lluvia, es necesario obtener la profundidad o altura promedia de precipitación sobre el área cubierta por ésta. La profundidad media puede obtenerse por cuatro métodos: método del promedio aritmético, método de Thiessen, método de las Isoyetas y el método de las Curvas Isoporcentuales respecto a los valores normales (Cano, 1971).

Método de la media aritmética

Este es el método más simple y consiste en sacar el promedio de las lluvias registradas en un área. Este método da buenas estimaciones en terrenos planos si los pluviómetros están uniformemente distribuidos y las cantidades recogidas individualmente no difieren mucho de la media. Estas limitaciones pueden superarse parcialmente si las influencias topográficas y la representatividad del agua, se han tenido en cuenta en la selección de los emplazamientos de pluviómetros (Materón, 1985).

Método de Thiessen

Este método admite una distribución no uniforme de pluviómetros, afectando de un peso a los valores de cada una. Los resultados obtenidos por este método son más precisos que los obtenidos por simple media aritmética.

La mayor limitación del método de Thiessen es una falta de flexibilidad, requiriéndose un diagrama Thiessen nuevo, cada vez que se produce un cambio en la red pluviométrica. Además el método supone una variación lineal de precipitación entre estaciones y asigna cada segmento de área a la estación más próxima (Silva, 1985).

Método de las Isoyetas o líneas de igual lluvia

Este método es el más preciso para promediar la precipitación sobre un área. El método de las Isoyetas permite usar e interpretar todos los datos disponibles. Al confeccionar un mapa con curvas Isoyetas, se tiene en cuenta los efectos orográficos y morfología de las lluvias. La precisión de este método depende en gran parte de la pericia del analista. En Colombia, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Medio Ambiente utiliza el método de las Isoyetas para determinar la precipitación media de una ciudad, departamento, etc.

Método de las curvas isoporcentuales respecto a los valores normales

En zonas montañosas la distribución de las lluvias de determinados temporales está íntimamente relacionada con la topografía y se ha visto que para una serie de estaciones, el porcentaje de la altura de precipitación de un temporal respecto a la altura de precipitación normal estacional o anual presenta relaciones uniformes, permitiendo de esta manera el trazado de curvas isoporcentuales. Estas curvas no necesariamente deben ser paralelas a las Isoyetas o parecidas a un modelo definido por curvas Isoyetas.

En resumen, este método tiene gran aplicación en zonas en que las variaciones de la precipitación obedecían fundamentalmente a razones orográficas. El cálculo de la precipitación media sobre la hoya se hace de la misma manera aplicada al método de las curvas Isoyetas.

Análisis de altura de precipitación máxima

El análisis de altura de precipitación máxima correspondiente a lluvias de diferentes duraciones y área diversas se utiliza para determinar los gastos de aportación a un almacenamiento o los gastos por drenar en una cuenca. Dentro de los estudios básicos que se utilizan para la predicción de caudales máximos figura el de altura de precipitación máxima área duración, el análisis de intensidad de precipitación frecuencia duración, variación de capacidad de infiltración respecto al tiempo y determinación de probabilidad de ocurrencia de la tormenta de diseño que permiten predecir caudales máximos basados en la teoría del hidrograma unitario (Jiménez, 1985).

Los hidrólogos que estudian los recursos de agua deben proceder a determinar todas las relaciones de altura e intensidad de precipitación en áreas diversas y de lluvias de diferente duración en períodos de recurrencia en que suceden los fenómenos para la planeación de las obras de almacenamiento de aguas, de irrigación y de drenaje de las cuencas.

Para determinar las relaciones de precipitación - área duración se requiere analizar los registros de lluvias y tipificar el estudio de precipitación sobre áreas variables de una cuenca determinada. Para el análisis de registros de precipitación es necesario contar con una red de pluviógrafos y pluviómetros técnicamente distribuidos con el objeto de obtener registros de láminas precipitadas sobre la cuenca y sus respectivos valores de intensidad.

Análisis de intensidad, frecuencia y duración de las lluvias

Según Jiménez (1985), estas curvas son de gran utilidad para el diseño de sistemas de riego, sistemas de drenaje y en el análisis de flujo de crecientes y tormentas.

Dentro del drenaje urbano los estudios sobre intensidad de precipitación pluvial y el escurrimiento de las crecientes son el punto de partida en el diseño de alcantarillados.

Las curvas de intensidad, frecuencia y duración suministran información sobre:

- Las dimensiones apropiadas de vertederos y ductos diverso para presas y estructuras similares.
- La localización y protección de las obras para aguas residuales dentro del plano de inundación de las corrientes.
- La determinación de las proporciones adecuadas de las obras colectoras de aguas pluviales.

Dentro del drenaje agrícola la intensidad de la lluvia y la rata de infiltración de los suelos determinan la capacidad de los canales de drenaje necesarios para la

evaluación del agua en las regiones húmedas.

Análisis de probabilidad de las curvas frecuencia y período de retorno de las lluvias

La frecuencia representa el número de veces que un fenómeno determinado puede ocurrir dentro de un lapso dado y se expresa en porcentaje. El tiempo de retorno o intervalo de ocurrencia expresa el número probable de años que deben transcurrir para que ocurra un evento de intensidad o magnitud igual o mayor que la estudiada (Chow Ven Te, 1980).

La intensidad representa la razón de lluvias y generalmente se expresa en mm/h. La duración es el tiempo transcurrido entre la iniciación y terminación de una lluvia que se asume uniforme.

Los conceptos anteriores son importantes para establecer los elementos de diseño de las obras de riego y drenaje, para el control de la erosión, de las inundaciones, para estudiar la precipitación anual.

Las curvas de frecuencia y tiempo de retorno sirven para estimar la probabilidad de futuras ocurrencias de lluvias, siempre que los datos sean de duración suficientemente confiable para representar variaciones normales.

Para derivar una curva de frecuencia hay que tabular los datos en orden de magnitud. Los métodos más empleados para determinar la frecuencia son :

- Método de Kimbal : $F = \frac{m}{n + 1} 100$
- Método de Hanzen : $F = \frac{m - 0.5}{n} 100$
- Método de California : $F = \frac{m}{n} 100$

Donde F = porcentaje de frecuencia
m = número de orden
n = número total de años

Para deriva una curva de tiempo de retorno (Tr) se emplea la siguiente ecuación :

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

Según Israelsen y Hansen (1975), dado que la precipitación es un parámetro meteorológico muy variable, conviene conocer su valor probable mediante el análisis estadístico para obtener la precipitación que realmente contribuye a la evapotranspiración de los cultivos. Para ello se coloca n valores de precipitación mensual, en orden decreciente, asignándole a cada uno un número de orden o rango decreciente.

Estimación de la precipitación efectiva

Es posible obtener una medida relativamente exacta de la precipitación que contribuye al crecimiento de las plantas durante un experimento. Pero cuando se requiere hacer un estimativo de la precipitación efectiva para el diseño de proyectos, grandes o pequeños el problema se hace mucho más complejo. Si se tiene en cuenta que la demanda de riego, o en otras palabras, el agua que debe aplicarse en forma de riego, depende de la cantidad de la lluvia efectiva, entonces estos estimativos deben hacerse en la forma más precisa posible. Se discutirán tres métodos usados en la estimación de la precipitación efectiva (Nemec, 1988).

Método de Anderson

Según Anderson (1963), el método consiste en eliminar 12,5 mm de cada individual, y el 80% del resto se considera que es la precipitación efectiva, de tal forma que :

$$Pe = (P - 12.5) * 0,80$$

Pe = Precipitación efectiva (mm)
P = Lluvia individual (mm)

Cuando se desea obtener la precipitación efectiva media para un período dado, puede emplearse la siguiente relación: Se multiplica por el número de eventos.

El método de Anderson, aunque simple, presenta la desventaja de requerir información detallada de agua caída por cada lluvia o el número (n) de lluvias durante el período o períodos bajo consideración.

Método de Blaney-Criddle

El Método de Blaney-Criddle (1962) consiste en aplicar coeficientes de decrecientes por cada 25 mm de incremento en el total de lluvia mensual.

Método del Servicio de Conservación de Suelos

El Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (1972), ha desarrollado un método en la estimación de Pe en el cual se integran tres factores afectando la efectividad de las lluvias, la precipitación mensual total, evapotranspiración mensual y lámina de riego aplicada con los valores de precipitación efectiva.

Análisis de la determinación de la escorrentía de una cuenca

Según Legarda (1984), la escorrentía es el agua que fluye a través del suelo. La determinación de la escorrentía máxima y el volumen de la misma es importante en las obras de riego y drenaje, puesto que de estas variables depende el tamaño de los canales y demás estructuras hidráulicas. También es importante para el control de las inundaciones y los embalses para los sistemas de riego.

Las estructuras hidráulicas de tipo temporal son diseñadas generalmente para una escorrentía que se prevé que ocurra una vez cada diez o cinco años; las estructuras hidráulicas de tipo permanente se diseñan para una escorrentía que se espera ocurra una vez en veinte años (Azevedo, 1969).

La escorrentía está afectada por dos grupos principales de factores: climáticos y fisiográficos. Entre los primeros se incluyen el tipo de precipitación, la intersección, la evaporación y transpiración, los cuales presentan variaciones estacionales de acuerdo con las condiciones climáticas. Los factores fisiográficos pueden clasificarse en : características de la cuenca y de los caudales.

Las características de la cuenca son el tamaño, la forma y la pendiente del área de drenaje, la permeabilidad y la capacidad de formación de aguas subterráneas (Federación Nacional de Cafeteros, 1975).

Cálculo del tiempo de concentración

Según Materón (1985), el tiempo de concentración se ha definido como el lapso entre el inicio de la precipitación y el momento en que toda el área de drenaje contribuye a el escurrimiento superficial.

El tiempo de concentración se calcula mediante fórmulas que toman en cuenta fundamentalmente la longitud y la pendiente del cauce principal, también se encuentran fórmulas que relacionan esta última variable con el tamaño de la superficie drenada. Las fórmulas más utilizadas para calcular el tiempo de concentración son entre otras: Las de Kirpich, la del servicio de conservación de Estados Unidos y la Guaire.

La fórmula de Guaire se expresa así:

$$T_c = 0.355 \left(\frac{H \cdot A}{L \sqrt{S}} \right)^{0.595}$$

Donde :

- T_c = Es el tiempo de concentración, en horas
- L = Es la longitud del cauce principal, en kilómetros desde su nacimiento hasta el punto de referencia
- H = Es la diferencia de cotas de los puntos extremos en metros
- S = Es la pendiente media de la cuenca
- A = Es el área de la cuenca, en kilómetros cuadrados

Las características de los canales se refieren principalmente a las propiedades hidráulicas del canal que gobierna el movimiento de las corrientes y determina la capacidad del almacenaje del canal.

Métodos para estimar el escurrimiento de una cuenca

Método de Ramser o "Fórmula Racional". Ramser, a través de cuidadosas medidas verificadas en cuencas pequeñas, desarrolló la fórmula que expresa de la siguiente forma (Arias, 1992)

$$Q = \frac{CIA}{360}$$

Donde :

Q = Escorrentía crítica en m³/seg.

C = Coeficiente de escorrentía que depende de las características del área de drenaje

A = Área de la cuenca en hectáreas

I = Intensidad máxima de lluvia en mm/hora en un período equivalente

Cálculo del tiempo de concentración

Complejo precipitación suelo - cobertura

También puede calcularse la escorrentía de una cuenca por medio de una combinación de un suelo específico y una cobertura específica que se denomina "complejo suelo - cobertura", teniendo en cuenta la precipitación por medio de la siguiente ecuación: (Buriticá, 1988).

$$Q = \frac{\left[P - 2 \left(\frac{100}{NS} - 1 \right) \right]^2}{\left(P + 8 \left(\frac{100}{NS} - 1 \right) \right)}$$

donde:

Q = escorrentía directa

P = precipitación

NS = número de curva de escorrentía que depende de varios factores tales como el uso de la tierra, o cobertura, el sistema de siembra del cultivo, las condiciones de la vegetación y las características físicas del suelo.

Método de Kook

Otro de los métodos para determinar la escorrentía de una cuenca, es el llamado método de Kook, mencionado por Legarda (1981), el cual tiene en cuenta varios factores tales como las características físicas de la cuenca como el relieve, grado de infiltración, coberturas de vegetales y almacenamiento en base al drenaje, forma de la misma como largo y ancho de la misma, el tiempo de retorno y la frecuencia.

La fórmula de máxima escorrentía para un intervalo de recurrencia determinado es :

$$Q = M L R F$$

donde :

Q = máxima escorrentía para un determinado intervalo de recurrencia o tiempo de retorno.

M = máxima escorrentía basada en una frecuencia de 20 años y un factor lluvia de 1,00.

L = factor de lluvia.

R = factor corrección para el intervalo de recurrencia deseado

F = factor de forma de la cuenca

El Hidrograma

La comparación gráfica de los gastos de escurrimiento contra el tiempo necesario para que se presenten es conocido como hidrograma de descarga.

Según Materón (1985) y King (1962), el hidrograma o hidrógrafo se considera como una expresión integral de las características climáticas y fisiográficas que gobiernan la relación entre la lluvia y el escurrimiento superficial de una cuenca en estudio.

Con base en lo anterior, se deduce que el hidrograma representa en el punto de medición la complejidad de las características de la cuenca. El análisis de un hidrograma es de mucha importancia desde el punto de vista de la ingeniería hidrológica, estos se utilizan para encontrar muchos parámetros dentro de los estudios de crecientes, la predicción de avenidas o para determinar las descargas de diseño de algunas estructuras hidráulicas que deben transportar el agua originada de avenidas.

El caudal

El escurrimiento como proceso de transferencia de ciclo hidrológico debe ser conocido suficientemente para lograr un eficiente aprovechamiento del recurso agua. La magnitud y variabilidad de los caudales que escurren son muy importantes para definir las dimensiones de obras hidráulicas de captación, conducción y de control de escurrimiento, para satisfacer en forma racional las necesidades del hombre.

Métodos de aforo

Según Buriticá (1988), la magnitud del caudal depende de dos factores: El área de la sección transversal de la corriente (A) y la velocidad promedio del agua (V), por la ecuación de continuidad se tiene que :

$$Q = A.V$$

Donde :

Q = caudal en m³/seg

A = área de la sección transversal en m²

V = velocidad promedio del agua en m/seg.

Todos los métodos de aforo se basan generalmente en la ecuación de continuidad, la selección del método está en función de las necesidades técnicas y de la naturaleza de la corriente que se desea medir; cada método tiene sus alcances y limitaciones, de acuerdo a esto se tendrá un nivel de calidad en las observaciones realizadas, con esta base se presenta a continuación algunos métodos de aforo que se utilizan con bastante frecuencia en nuestro medio (Linsley y Franzini, 1997).

Método volumen y tiempo

El método volumen y tiempo también se denomina método volumétrico y consiste en hacer pasar una corriente a un recipiente o tanque que sea capaz de contenerlo en un tiempo reducido; el caudal aforado será la relación entre el volumen captado y el tiempo empleado en la captación.

Método de las secciones hidráulicas

Los métodos de las secciones hidráulicas consisten en hacer pasar el agua a través de un orificio o escotadura que se encuentra en una pared transversal a la dirección de la corriente; la pared produce un efecto de aquietamiento en el agua, produciendo un remanso indispensable para el control del flujo.

Según Trueba (1976), la utilización de los vertederos y medidores es fundamentalmente la medición de las descargas en canales y embalses, así será posible lograr un eficiente uso del agua para diversos propósitos.

Orificios

Un orificio consiste en una abertura de forma regular por donde pasa toda la corriente de agua.

La abertura debe trabajar hidráulicamente a sección plana, caso contrario se convierte en un vertedor, por lo tanto, cuando trabaja un orificio siempre existirá una lámina de agua por encima de la cota superior de la sección (Lupue, 1985).

Vertedores

Un vertedor consiste en una escotadura por donde fluye el agua. Cuando un orificio no trabaja hidráulicamente a sección plena se convierte en un vertedor.

Las formas más comunes de vertedores son el rectangular, triangular, trapezoidal y el parabólico, sin embargo por facilidad de construcción se adoptan en la práctica las tres primeras formas (Henao, 1988).

Vertedero rectangular

Según Legarda (1981), un vertedero rectangular puede presentar contracciones laterales dependiendo de la longitud efectiva de la cresta (L_e), esta se puede calcular en la siguiente forma:

$$L_e = L - nL_1$$

En donde,

L_e = longitud efectiva de la cresta

L = longitud real de la cresta

L_1 = longitud de la contracción lateral

n = número de las contracciones laterales (1, 2 y 0)

$$Q = 1.838 (L - 0.1nh) h^{3/2}$$

Cuando no se tiene contracciones laterales $n = 0$, entonces la ecuación queda simplificada así:

$$Q = 1.838 L n^{3/2} \text{ (Ecuación de Francis)}$$

Vertedero triangular

El vertedero triangular recibe su nombre por la forma de escotadura, se lo utiliza con frecuencia para la determinación de gastos de poca magnitud.

Vertedero trapezoidal

Por su forma resulta una combinación de los vertederos rectangulares y triangulares.

El cálculo se puede efectuar con base en la ecuación de gasto de cada uno de los vertederos mencionados, sin embargo la ecuación que resulta es poco práctica.

Aforador parshall

Según Chow Ven Te (1980), el aforador Parshall está formado por tres secciones principales; una sección convergente o de contracción, se localiza en su extremo aguas arriba; una sección constreñida o garganta; y una última sección divergente o de expansión aguas abajo.

Una ventaja importante del aforador Parshall es la posibilidad de que opere como dispositivo de cabeza sencilla con la mínima pérdida de carga. Esta cualidad permite emplearlo en canales relativamente poco profundos con pendiente escasa. Para una descarga determinada la pérdida de carga a través de un aforador Parshall es, aproximadamente, una cuarta parte que la que requiere un vertedero en condiciones similares de flujo libre (Regalado 1980).

Correntómetro o molinete

Es un elemento mecánico que gira sobre un eje vertical u horizontal con una velocidad angular que depende de la velocidad lineal del agua en ese punto de medición. El elemento de medición giratoria puede ser una hélice o un sistema de cazoletas cuando se utiliza una hélice, esta gira sobre un eje de tipo horizontal y si se utiliza el sistema de cazoletas el giro se realiza sobre un eje vertical.

La experiencia ha demostrado que el sistema de hélice presenta mayor precisión y versatilidad para las distintas condiciones de flujo, la turbulencia y la presencia de sedimentos en el agua afectan en menor grado el sistema de hélice en comparación con el sistema de cazoletas (Materón 1988).

Flotadores

El caudal de una corriente de agua se puede calcular mediante el uso de flotadores. El método se fundamenta en la determinación indirecta de la velocidad superficial de flujo. Las medidas de caudal por medio de flotadores se utiliza en el caso de corrientes de agua pequeñas con escasa presión, sin embargo se utilizan muchas ocasiones para correlacionar con los gastos obtenidos por otros métodos de aforo, Henao (1988).

Concentración de sales

Es un método de aforo desarrollado básicamente por la necesidad de tener precisión en las mediciones de la velocidad, específicamente cuando el flujo es del tipo turbulento y a bajas velocidades. El método de concentración de sales es muy similar al método de trazador radioactivo (Cano, 1971).

Método sección y pendiente

El método área pendiente se utiliza para determinar en forma indirecta el caudal que circuló por un cauce después de ocurrida una avenida. La información básica como lo indica su nombre consiste en determinar las marcas o huellas dejadas en los taludes por los niveles de agua, con esta base se calculan las secciones del cauce por donde circuló la avenida y las pendientes de la superficie libre alcanzada por el agua (Materón, 1985).

BIBLIOGRAFIA

- ADDISON, H. Tratado de hidráulica aplicada. 3 ed. Barcelona, 1969. 700 p.
- ANDERSON, B.H. A method for estimating evapotranspiration, California University Library, 1963.
- ARIAS, A.H. Drenaje de tierras. Cali, Universidad del Valle, 1992, 147 p.
- AZEVEDO, H.J. Manual de hidráulica. 5 ed. Brasil, Universidad Sao Paulo, 1976.

- BLANEY, H.F. y CRDIDLE, U.D. Determining Consumptive used and irrigation water requeriments. USDA, Department of Agriculture, USA, 1962.
- CANO, G.R. Fundamentos de hidrología. Medellín, Universidad Nacional, Facultad de Minas, 1971. 20 p.
- CHOW VEN TE. Handbook of applied hidrology. A compendium of water resources technology. New York, McGraw-Hill, 1980, 350 p.
- FAIR, G.M., GEYER, J y OKOND, D. Ingeniería Sanitaria. México, Limusa, 1975. 200 p.
- FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Manual de conservación de suelos de ladera. Chinchiná, Caldas, 1975. 265 p.
- HENAO SARMIENTO, J. Introducción al manejo de cuencas hidrográficas. Bogotá, Universidad Santo Tomás, 1988. pp. 105-107.
- ISRAELSEN, O. y HANSEN, E. Principios y aplicaciones del riego. 3 ed. Reverte, Barcelona, 1975. 410 p.
- JIMENEZ, H. Hidrología básica I. Cali, Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, 1985. pp. 169-283.
- KING, H. Handbook of hydraulics. 3th. ed. New Yor, Mac-Graw-Hill, 1962. 520 p.
- LEGARDA, L. Manual de prácticas de riego y drenajes. Pasto, Universidad de Nariño, Departamento de Ingeniería Agrícola, 1984. 350 p.
- LEGARDA, L. Hidráulica agrícola. Pasto, Universidad de Nariño, 1981. 150 p.
- LINSLEY, R., KOHLER, M. y PAULHUS, J. Hidrología para ingenieros. 2 ed. New York, McGraw-Hill, 1985. 350 p.
- LINSLEY, R. y FRANZINI, J. Ingeniería de los recursos hidráulicos. Continental, México, 1977. 216 p.