



Sociedad Geográfica de Lima



# CICLO HIDROLÓGICO



## CARTILLA TÉCNICA

“Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y  
la Gestión Integral de Recurso Hídrico”

LIMA - PERÚ

2011



# CARTILLA TÉCNICA: CICLO HIDROLÓGICO

Juan Julio Ordoñez Gálvez  
SENAMHI



Sociedad Geográfica de Lima



# CARTILLA TÉCNICA: CICLO HIDROLÓGICO

*Editado por : Sociedad Geográfica de Lima*

*Dirección : Jr. Puno 450 - Lima*

*Editor : Zaniel I. Novoa Goicochea*

*Coeditor : Foro Peruano para el Agua - GWP Perú*

*Autor : Dr. Juan Julio Ordoñez Gálvez*

*Edición : Primera*

*Diseño : Juan Julio Ordoñez Gálvez, Miriam Rocío Casaverde Riveros*

*ISBN: 978-9972-602-77-1*

*Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2012-08841*

*Esta Carpeta s publicado con el apoyo de la Sociedad Geográfica de Lima*

## **CONTENIDO**

- I.- Introducción**
- II.- Objetivo**
- III.- Antecedentes**
- IV.- Materiales y métodos**
  - 4.1 Definiciones**
  - 4.2 Medición de las variables del Ciclo Hidrológico**
- V.- Cuestionario práctico**
- VI.- Bibliografía**

# Ciclo Hidrológico

## El ciclo hidrológico, regulando y gestionando las necesidades de cada ser vivo

### I.- INTRODUCCIÓN

*Digamos que el ciclo hidrológico se basa en el permanente movimiento o transferencia de las masas de agua, tanto de un punto del planeta a otro, como entre sus diferentes estados (líquido, gaseoso y sólido). Está animado por dos causas: La energía solar y la gravedad. La naturaleza ha creado una especie de máquina insuperable, regulando y gestionando las necesidades de cada uno de los seres vivos.*

*Ese circuito cerrado perfecto que es el ciclo hidrológico, ahora tiene fugas, no funciona como es debido. A la naturaleza le ha salido un duro competidor “EL HOMBRE”. Hasta ahora se había integrado en el sistema con los demás seres vivos del planeta, pero de unos años a esta parte, ha crecido y se ha hecho poderoso, tanto, como para competir con la Diosa Naturaleza.*

*Hoy, todos los usuarios del agua estamos en la encrucijada: Escasez y Deterioro de la calidad de las fuentes, lo cual es un círculo vicioso pues todo lo que se descargue al entorno inexorablemente irá al subsuelo, a los ríos o al océano.*

*En ese sentido, es necesario tener un conocimiento básico del ciclo hidrológico, que determina el estado actual del recurso hídrico, así como la presión por la demanda del mismo, teniendo en cuenta su distribución espacial y temporal, que permita establecer lineamientos a seguir para su protección, y que sirva de base a los usuarios del recurso y planificadores, para considerar su uso y disponibilidad en proyectos actuales y futuros.*

*La GWP- Perú presenta este documento información básica referente al ciclo hidrológico con el que se pretende que el lector se familiarice con la terminología que se utiliza y visualice la importancia de cada uno de los procesos que se realizan en él, además se explica las metodologías utilizadas para el cálculo de cada uno de ellos..*

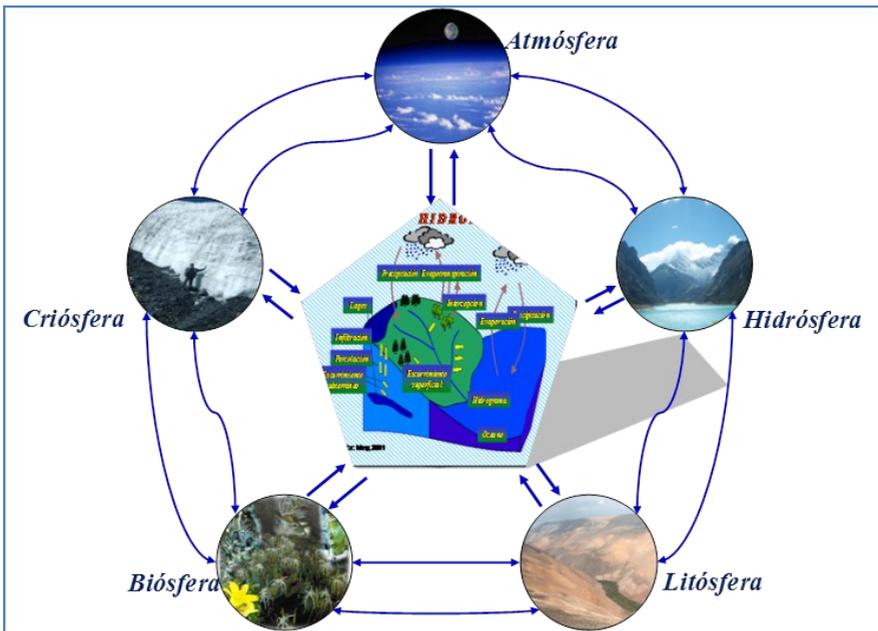
\* \* \*

## II.- OBJETIVO

*Dar a conocer los aspectos los aspectos conceptuales y metodológicos del Ciclo Hidrológico; así como la descripción de cada una de las variables hidrometeorológicas y su medición .*

## III.- ANTECEDENTES

*El ciclo hidrológico, es un modelo conceptual que describe el almacenamiento y movimiento del agua entre la Biosfera, Atmósfera, Litosfera, Hidrosfera, lo que se denomina Sistema Climático (**Figura 3.1**).*



**Figura 3.1.** El Sistema Climático  
Fuente: Ordoñez, 2011

*El agua en la Tierra, puede ser almacenada en cualquier uno de los reservorios siguientes: Atmósfera, Océanos, Lagos, Ríos, Suelos, Glaciares, Campos de Nieve, y las Aguas Subterráneas.*

*El agua en nuestra atmosfera, se mueve desde un depósito o reservorio a otro, a través de los diferentes procesos entre los cuales tenemos: Evaporación, Condensación, Precipitación, Sedimentación, Escorrentía, Infiltración, Sublimación, Transpiración, Fusión, y flujo de agua subterránea.*

*Los océanos, suministran la mayor parte del agua como producto de la evaporación. De esta agua evaporada, sólo el 91% es devuelto a las cuencas oceánicas por medio de la precipitación. El 9% restante se transporta a las zonas continentales donde los factores climatológicos inducen la formación de la precipitación.*

*El desequilibrio resultante entre la tasa de evaporación y precipitación, sobre la tierra y el océano, se corrige por la escorrentía y el flujo de agua hacia los océanos.*

*El suministro de agua del planeta está dominado por los océanos (**Tabla 3.1**). Aproximadamente el 97% de toda el agua en la Tierra está en los océanos. El otro 3% se mantiene como el agua dulce en los glaciares y capas de hielo, las aguas subterráneas, lagos, suelos, la atmósfera, y dentro de la vida.*

**Tabla 3.1.** Contenido de agua en la superficie de la tierra

Reservorios	Volúmen (cubic km x 1,000,000)	Porcentaje
Océanos	1370	97.25
Glaciares	29	2.05
Agua subterránea	9.5	0.68
Lagos	0.125	0.01
Suelos húmedo	0.065	0.005
Atmósfera	0.013	0.001
Ríos	0.0017	0.0001
Biosfera	0.0006	0.00004

Fuente: Pidwirny, 2006

*El agua que transita continuamente entre los diferentes depósitos de la atmósfera, genera un ciclo. Este ciclo, se produce a través de los procesos de evaporación, condensación, precipitación, sedimentación, la escorrentía, el flujo de la infiltración, la sublimación, la transpiración, la fusión y las aguas subterráneas. En la Tabla 3.2, se describen los tiempos de residencia del agua en los embalses principales. El promedio de agua se renueva en los ríos una vez cada 16 días. El agua en la atmósfera está completamente sustituida una vez cada 8 días.*

*Algunos de estos recursos (sobre todo las aguas subterráneas) están siendo utilizados por los seres humanos a tasas que superan con creces sus tiempos de renovación. Este tipo de uso de los recursos está haciendo este tipo de agua efectivamente no renovables.*

**Tabla 3.2.** Permanencia del agua en períodos de tiempo

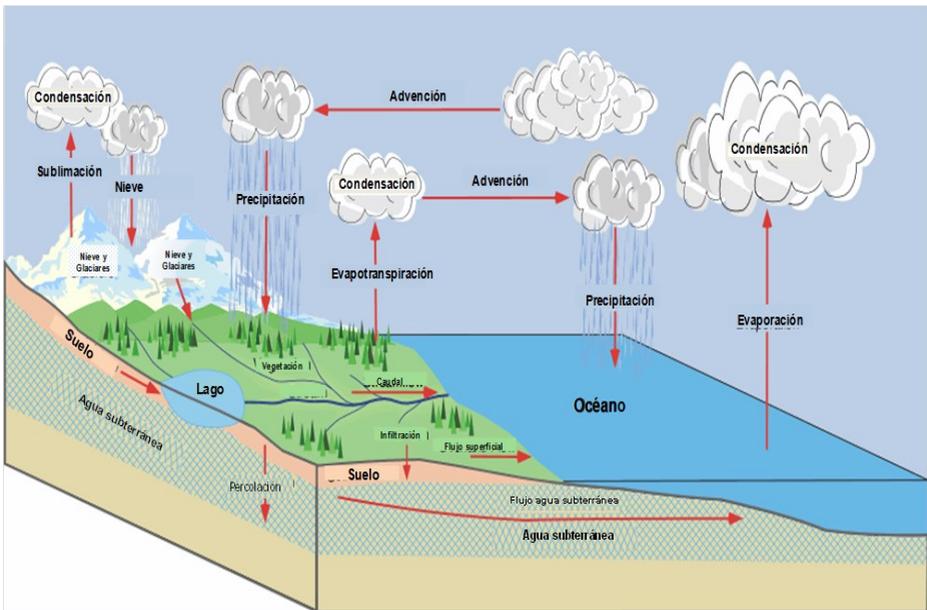
Reservorio	Tiempo promedio
Glaciares	20 a 100 años
Cubierta de nieve	2 a 6 meses
Humedad del suelo	1 a 2 meses
Aguas subterránea superficial	100 a 200 años
Agua subterránea profunda	10,000 años
Lagos	50 a 100 años
Ríos	2 a 6 meses

Fuente: Pidwirny, 2006

## IV.- MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 Definiciones

*Dentro de los principales componentes que gobiernan el ciclo hidrológico tenemos las siguientes:*



**Figura 4.1.** Representación del Ciclo Hidrológico

Fuente: [www.eoearth.org/article/Hydrologic\\_cycle](http://www.eoearth.org/article/Hydrologic_cycle), adaptado por Ordoñez, 2011

- **Ciclo Hidrológico**

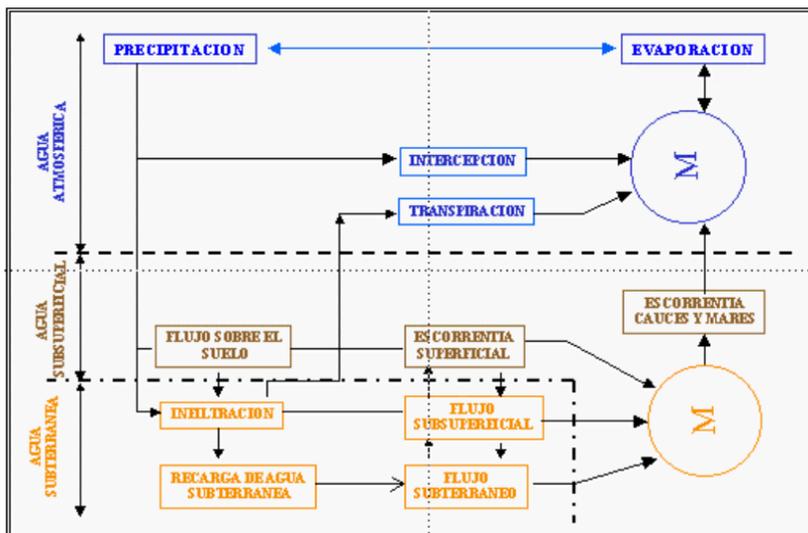
*Es la sucesión de etapas que atraviesa el agua al pasar de la tierra a la atmósfera y volver a la tierra: evaporación desde el suelo, mar o aguas continentales, condensación de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o masas de agua y reevaporación (Figura 4.1).*

*El ciclo hidrológico involucra un proceso de transporte recirculatorio e indefinido o permanente, este movimiento permanente del ciclo se debe fundamentalmente a dos causas: la primera, el sol que proporciona la energía para elevar el agua (evaporación); la segunda, la gravedad terrestre, que hace que el agua condensada descienda (precipitación y escurrimiento).*

*Chereque, 1989, se entiende como el conjunto de cambios que experimenta el agua en la naturaleza, tanto en su estado (sólido, líquido y gaseoso) como en su forma (superficial, sub-superficial, subterránea, etc.).*

- **Sistema hidrológico**

*Guevara y Cartaya, 1991: los fenómenos hidrológicos son muy complejos, por lo que nunca pueden ser totalmente conocidos. Sin embargo, a falta de una concepción perfecta, se pueden representar de una manera simplificada mediante el concepto de sistema.*



**Figura 4.2.** Representación del sistema hidrológico.

Fuente: Estrela, 1992.

Un sistema viene a ser un conjunto de partes diferenciadas que interactúan como un todo. El ciclo hidrológico podría considerarse como un sistema, cuyos componentes son: precipitación, evaporación, escorrentía, y las otras fases del ciclo, tal como se muestra en la **Figura 4.2**.

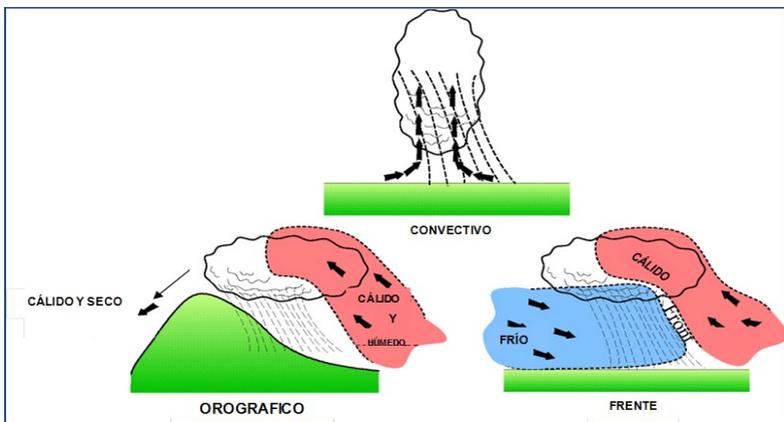
## • Precipitación

Se denomina precipitación, a toda agua meteórica que cae en la superficie de la tierra, tanto en forma líquida (llovizna, lluvia, etc.) y sólida (nieve, granizo, etc.) y las precipitaciones ocultas (rocío, la helada blanca, etc.). Ellas son provocadas por un cambio de la temperatura o de la presión. La precipitación constituye la única entrada principal al sistemas hidrológico continental (Musy, 2001).

Para la formación de la precipitación se requiere la condensación del vapor de agua atmosférico. La saturación es una condición esencial para desbloquear la condensación. Los varios procesos termodinámicos son convenientes para realizar la saturación de las partículas atmosféricas inicialmente no saturadas y causar su condensación:

- Saturación y condensación isobárica (a presión constante),
- Saturación y condensación por presión adiabática,
- Saturación y condensación por presión de vapor de agua,
- Saturación por mezcla y turbulencia.

Existen diferentes tipos de precipitación: precipitación convectiva, precipitación orográfica y precipitaciones frontales, tal como se puede apreciar en la **Figura 4.5**.



**Figura 5.** Principales tipos de precipitación: convectiva, orográficas y frontales  
Fuente: Musy, André, 2001.

**Precipitación Convectiva.** Resultan de una subida rápida de las masas del aire en la atmósfera. Se asocian a los cúmulos y cumulonimbus, desarrollo vertical significativo, y son generados así por el proceso de Bergeron. La precipitación que resulta de este proceso es generalmente tempestuosa, de corta duración (menos de una hora), de intensidad fuerte y de poca extensión espacial.

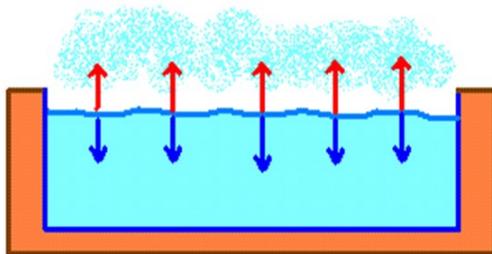
**Precipitación Orográfica.** Como su nombre indica (del griego oros = montaña), este tipo de precipitación se relaciona con la presencia de una barrera topográfica. La característica de la precipitación orográfica depende de la altitud, de la pendiente y de su orientación, pero también de la distancia que separa el origen de la masa del aire caliente del lugar del levantamiento. En general, presentan una intensidad y una frecuencia regular.

**Precipitación Frontal o del tipo ciclónico.** Se asocian a las superficies de contacto entre la temperatura de la masa de aire, el gradiente térmico vertical, la humedad y de los diversos índices del recorrido, que uno nombra Frentes. Los frentes fríos crean precipitaciones cortas e intensas. Los Frentes calientes generan precipitaciones de larga duración pero no muy intensas.

- **Evaporación**

Se define como el proceso mediante el cual se convierte el agua líquida en un estado gaseoso. La evaporación puede ocurrir solamente cuando el agua está disponible. También se requiere que la humedad de la atmósfera ser menor que la superficie de evaporación (a 100% de humedad relativa no hay evaporación más) (**Figura 4.6**).

El proceso de evaporación requiere grandes cantidades de energía. Por ejemplo, la evaporación de un gramo de agua a una temperatura de 100 ° Celsius requiere 540 calorías de energía de calor (600 calorías a 0 ° C).



**Figura 4.6.** Evaporación  
Fuente: [www.sitiosolar.com](http://www.sitiosolar.com)

- **Condensación**

El cambio en el estado de la materia de vapor a líquido que se produce con el enfriamiento. Normalmente se utiliza en meteorología cuando se

habla de la formación de agua líquida en vapor. Este proceso libera energía de calor latente para el medio ambiente (**Figura 4.7**).

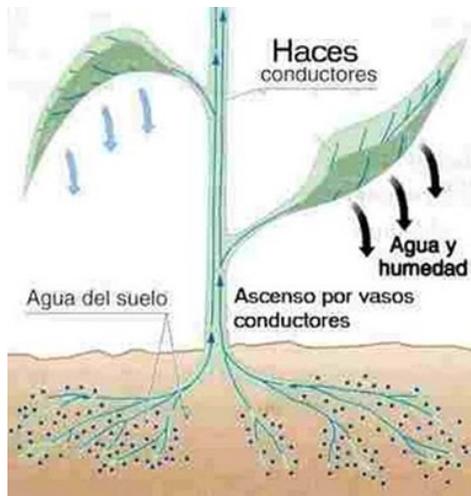


**Figura 4.7.** Condensación

Fuente: <http://www.bancodeimagenesgratis.com/2010/08/gotas-de-rocio-sobre-las-hojas-verdes-7.html>  
<http://elhocino-adra.blogspot.com/2012/03/calor-latente-una-de-fantasmas-fisicos.html>

- **Transpiración**

Es la evaporación a través de las hojas. El proceso fisiológico de alimentación de las plantas se efectúa mediante el paso de ciertas cantidades de agua, portadoras de los alimentos, por el interior de ellas y ese tráfico solamente es posible gracias a la transpiración. (**Figura 4.8**).

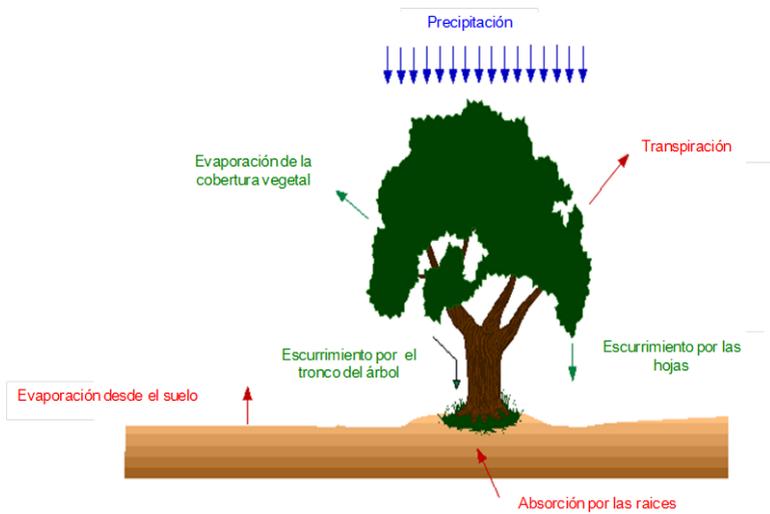


**Figura 4.8.** Transpiración

Fuente: [www.biogeodemagallanes](http://www.biogeodemagallanes)

- **Intercepción**

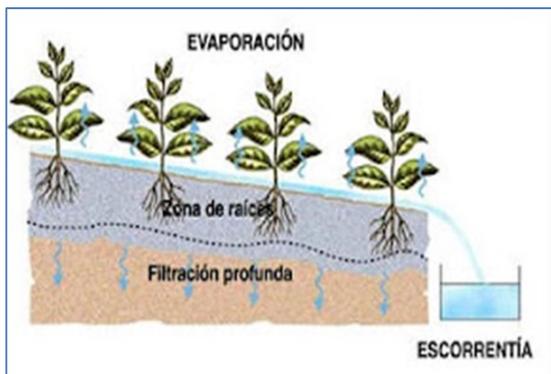
Es la parte de la precipitación que es interceptada por objetos superficiales como la cubierta vegetal (**Figura 4.9**) o los tejados, en general, parte de esta agua interceptada nunca alcanza al suelo porque se adhiere y humedece estos objetos y se evapora.



**Figura 4.9.** Componentes que intervienen en la interceptación.  
Fuente: Musy, André, 2001.

- **Escorrentía superficial**

Es la porción de lluvia que no es infiltrada, interceptada o evaporada y que fluye sobre las laderas. En realidad la escorrentía superficial, la infiltración y la humedad del suelo son interactivas entre sí, por tal motivo se debe tener cuidado en seleccionar el modelo adecuado para cada caso (**Figura 4.10**).



**Figura 4.10.** Escorrentía superficial  
Fuente: [www.mariagdc93.blogspot.c](http://www.mariagdc93.blogspot.c)

- **Escorrentía subsuperficial**

Es el agua que ha sido previamente infiltrada y no alcanza el almacenamiento subterráneo o acuífero, por lo tanto debe ser considerada como parte de la escorrentía.

## 4.2 Medición de las variables del ciclo hidrológico

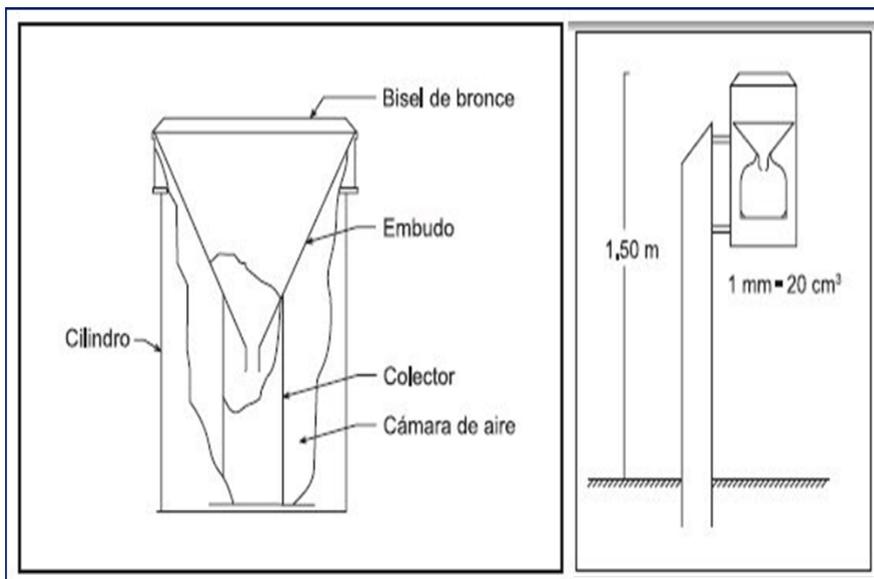
La necesidad de cuantificar cada una de las variables que gobiernan el Ciclo Hidrológico, nos plantea el reto de registrar su variabilidad en el tiempo y espacio, para lo cual se recurren a equipos e instrumentos (convencionales y automáticos) entre los cuales tenemos:

### a) Precipitación

Se ha desarrollado una variedad de instrumentos y técnicas para obtener información de las diferentes fases de la precipitación. Los instrumentos para medir la cantidad y la intensidad de la precipitación son los más importantes.

Otros instrumentos, incluyen aparatos para medir el tamaño y la distribución de las gotas de agua y para establecer el tiempo de comienzo y fin de la precipitación.

Todas las formas de precipitación se miden sobre la base de una columna vertical de agua que se acumularía sobre una superficie a nivel, si la precipitación permaneciese en el lugar donde cae. En el sistema métrico, la precipitación se mide en milímetros y decimos de milímetro (**Figura 4.11**).



**Figura 4.11.** Pluviómetro

Fuente: [www.mitecnologico.com](http://www.mitecnologico.com)

- **Medidores de precipitación**

*Dentro de los instrumentos utilizados para registrar la precipitación, se tienen los de observación directa, registradores (pueden ser de diferentes tipos), acumuladores y los automáticos cuya función es registrar en forma continua las actividades pluviométricas y su transmisión directa a la zona de interés para los análisis correspondientes.*

- **Pluviómetros**

*Es un recipiente abierto, cuyos lados sean verticales, puede utilizarse para medir la lluvia; sin embargo, debido a los efectos del viento y el salpicado, las mediciones no son comparables a menos que sean del mismo tamaño y forma, y estén expuestos de un modo similar. El pluviómetro estándar del U.S. National Weather Service tiene un colector con un diámetro de 20 cm (8 in) (**Figura 4.11**).*

*Las características más importantes respecto a su instalación son: que la boca del pluviómetro se encuentra a 1.50 m del suelo, que va sujeto por un soporte lateral a un poste cuyo extremo superior está cortado en bisel y que es fácilmente desmontable del soporte para hacer la lectura.*

- **Pluviógrafos**

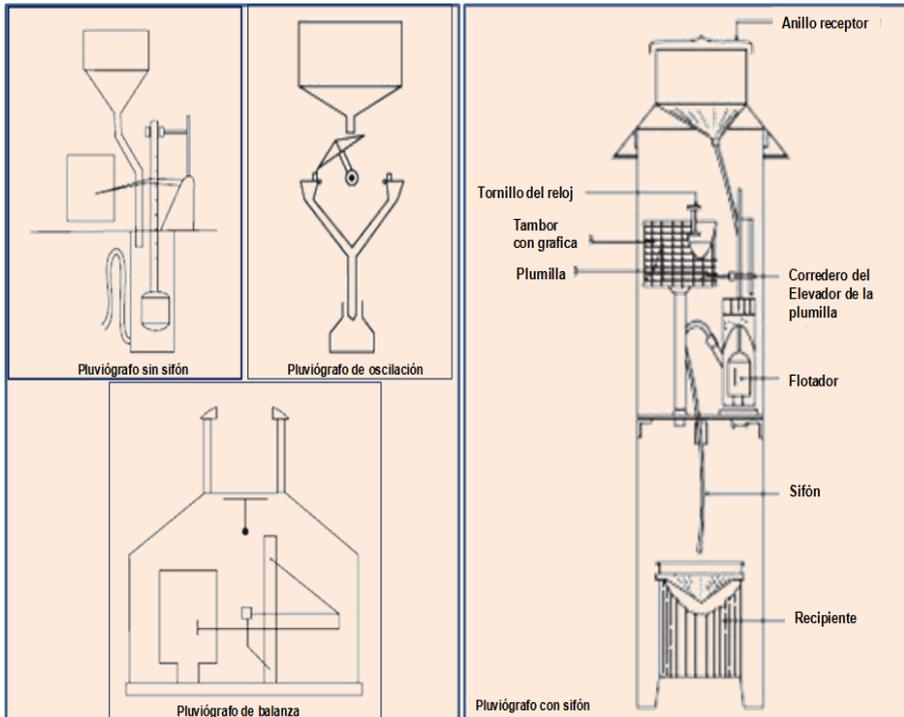
*Son los instrumentos destinados a medir la distribución de la lluvia en el tiempo en un determinado lugar. Con ellos se conoce la cantidad de lluvia a través del tiempo y también su intensidad.*

*De las cinco clases o tipos, los más utilizados son: a) de flotador sin sifón automático, b) de flotador con sifón automático, c) de balanza y d) de oscilación (**Figura 4.12**).*

**Pluviógrafo de cubeta basculante:** *El agua que cae en el colector se dirige a un compartimiento en donde hay dos cubetas: cuando cae 0,1 mm de lluvia se llena una de las cubetas produciéndose un desequilibrio que hace que la cubeta se voltee, vertiendo su contenido en una vasija y moviendo el segundo compartimiento al lugar correspondiente. Cuando la cubeta se voltea actúa un circuito eléctrico, haciendo que una pluma produzca una marca sobre un papel colocado en un tambor giratorio. Este*

*tipo de medidor no es adecuado para medir nieve sin calentar el colector.*

**Pluviógrafo de balanza:** Pesa el agua o la nieve que cae en una cubeta situada sobre una plataforma con resorte o bascula. El aumento en peso se registra en una carta. El registro muestra valores acumulados de precipitación.



**Figura 4.12.** Tipos pluviómetros.

Fuente: [www.mitecnologico.com](http://www.mitecnologico.com) (adaptado por Ordoñez, 2011).

- **Estación automática**

*Una estación meteorológica electrónica, es un aparato para la medición de fenómenos meteorológicos. Se trata de una combinación de distintos aparatos de medición. Permite realizar observaciones sobre el clima y la meteorología. Los datos registrados aparecen en una pantalla.*

*La precipitación se registra mediante un sensor automático, conformado por un pluviómetro que es conectado eléctricamente a un*

**Logger (Figura 4.13).**



**Figura 4.13.** Estación pluviométrica automática  
Fuente: [www.ucla.edu.ve](http://www.ucla.edu.ve) (Adaptador por Ordoñez, 2011)

**b) Temperatura**

*Es el grado relativo de calor o frío que tiene un cuerpo, causando diferentes efectos como respuesta a la variabilidad térmica presentada.*

- *Aumento de las dimensiones (Dilatación).*
- *Aumento de presión o volumen constante.*
- *Aumento de la resistencia.*
- *Aumento en radiación superficial.*
- *Cambio de temperatura.*
- *Cambio de estado sólido a líquido.*
- *Cambio de calor*

*Observando cada una de las propiedades en los materiales podemos medir la temperatura observando los efectos de los cuerpos.*

*Todos los instrumentos de medición de temperatura, cualquiera que fuese su naturaleza dan la misma lectura en cero por ciento (0%) y 100%, si se calibra adecuadamente, pero en otros puntos generalmente la lectura no*

*corresponderá porque las propiedades de expansión de los líquidos varían, en este caso se hace una elección arbitraria y, para muchos fines será totalmente satisfactoria.*

*Las unidades de temperatura son °C, °F, °K, °Rankine, °Reamur, la conversión más común es de °C a °F.*

$$T(^{\circ}\text{C}) = T(^{\circ}\text{F}) - 32/1,8 \quad ^{\circ}\text{F}=1,8 * T^{\circ}\text{C} + 32 \quad (\text{I})$$

*Los elementos primarios de medición y temperatura, son transductores que convierten la energía térmica en otra o en un movimiento. La diferencia entre el calor y temperatura, es que el calor es una forma de energía y la temperatura es el nivel o valor de esa energía.*

*Se han dividido los elementos primarios de medición de temperatura en 3 tipos:*

- *Termómetros*  
*Transductores que convierten la temperatura en movimiento.*
- *Sistemas termales*  
*Transductores que convierten la temperatura en presión (y después en movimiento).*
- *Termoeléctricos*  
*Transductores que convierten la temperatura en energía eléctrica (y mediante un circuito en movimiento).*

*Que a continuación se detallan:*

- **Termómetro**

*Fue inventado en el año 1592 por Galileo Galilei. Son instrumentos que se utilizan para medir la temperatura de los cuerpos, su funcionamiento se basa en la propiedad que tienen algunas sustancias de variar su volumen con la temperatura, pueden usarse en ellos sustancias sólidas, líquidas o gaseosas como termométricas, con la única exigencia que la variación de volumen sea en el mismo sentido de la temperatura.*

- **Termómetro de vidrio o de líquidos**

*Este tipo de termómetros, hechos con vidrio sellado, muestra la temperatura por medio del nivel al que llega el mercurio o*

alcohol en una escala graduada. Estos líquidos se dilatan y contraen debido a los cambios de temperatura. Generalmente, la escala de medición que usa es Celsius, aunque también se puede expresar en grados Fahrenheit. Actualmente estos termómetros contienen alcohol coloreado debido al peligro que significa el contacto con el mercurio.



◦ **Pirómetros o termómetros sin contacto**

Estos miden la temperatura a partir de la radiación de calor emanada por los objetos. Estos termómetros permiten utilizarse si tener que tocar los objetos, lo que permite medirlos cuando están en movimiento o alejados, así como también cuando sus temperaturas son muy elevadas.



◦ **Termómetros con lámina bimetálica**

Como su nombre indica, están compuestos por dos láminas de metálicas cuyos coeficientes de dilatación son diferentes.



Cuando se produce un cambio de temperatura, una de las láminas se curva primero y este movimiento se traduce en una aguja que señala la temperatura.

En meteorología, las temperaturas que mayormente se miden son las siguientes:

**Temperatura del aire o ambiente.**- es la temperatura del aire.

**Punto de rocío (Temperatura de punto de rocío).**- es la temperatura a la cual el aire alcanza la saturación, es decir se condensa. Esta temperatura es medida por medio del **Psicrómetro**, que consiste en un termómetro de bulbo seco y bulbo húmedo, que se utiliza para medir el contenido de vapor de agua en el aire.

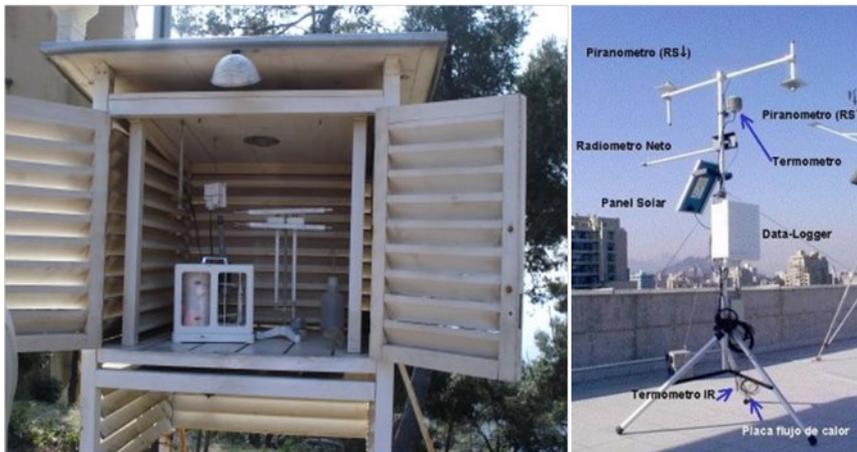
**Temperatura Máxima.**- es la mayor temperatura registrada en un día, y que se presenta entre las 14:00 y las 16:00 horas.

**Temperatura Mínima.**- es la menor temperatura registrada en un día, y se puede observar en entre las 06:00 y las 08:00 horas.

Para registrar estas temperaturas, se utiliza una caseta meteorológica (**Figura 4.14**) que contiene los instrumentos necesarios para hacer las mediciones de los parámetros básicos para un registro meteorológico de superficie. Es de madera con tejado de zinc, con la puerta de doble persiana que favorece la ventilación interior e impide que la radiación solar afecte a los instrumentos colocados en su interior. Debe de estar pintada de blanco.

Para ubicar la caseta correctamente se seguirán los siguientes criterios:

- La caseta debe situarse a 1 m y 20 cm aproximadamente del suelo y estar fija a éste.
- La puerta de acceso a los instrumentos de la caseta, debe estar orientada hacia el norte.
- La caseta ha de instalarse en un lugar abierto, para evitar errores en la toma de datos meteorológicos, como la velocidad y dirección del viento.
- Debe evitarse que esté protegida por edificios u otros obstáculos y también evitar que los edificios cercanos proyecten sombra en algún tramo del día sobre la caseta.



**Figura 4.14.** Estación convencional y automática  
 Fuente: [geohistoriatader.blogspot.com](http://geohistoriatader.blogspot.com)

### c) Evaporación

Por efecto de la radiación solar y la fricción de entre el flujo del viento y la superficie del agua, se genera la evaporación desde las superficies libres de agua, para lo cual se utiliza los **evaporímetros**, también conocidos como **atmómetros** o **atmidómetros**. Son de 4 tipos:

- **Tanques de evaporación**

Tienen como principio común la medida del agua perdida por evaporación de un depósito de regulares dimensiones. Los distintos modelos se diferencian entre sí en tamaño, forma y ubicación en el terreno. Están concebidos para medir la evaporación en embalses o grandes lagos y en general se sitúan próximos a ellos. Generalmente con ellos se obtienen medidas superiores a la evaporación real por lo que precisan de correctores que dependen del modelo (**Figura 4.15**).



**Figura 4.15.** Tanque de evaporación

En los tipos de tanques tenemos los siguientes:

- **Tanque clase A:** Usado por el U.S. Weather Bureau. Depósito cilíndrico de chapa galvanizada con un diámetro de 120 cm y 25,4 cm de altura, instalado sobre un enrejado de madera, a unos 15 cm del suelo (**Figura 4.16**). El agua, previamente medida, debe mantenerse en días sucesivos entre dos señales a 20 y 17,5 cm del fondo del recipiente. La medición se realiza apoyando en un tubo de nivelación un tornillo micrométrico que tiene un extremo un gancho cuya punta se enrasa con el nivel del agua.

El coeficiente de reducción aconsejado para pasar de las medidas del estanque a la evaporación real anual es 0,7, variando a nivel mensual este valor entre 0,6-0,8 (para algunas regiones de EEUU).



**Figura 4.16.** Tanque clase A.

- **Evaporímetros de balanza**

Es un pequeño depósito de 250 cm<sup>2</sup> de sección y 35 mm de profundidad, lleno de agua e instalado sobre una balanza de tipo pesa-cartas, en la que se hacen lecturas sucesivas para medir la pérdida de peso. La pequeña dimensión del depósito hace que sus paredes influyan demasiado en la evaporación. Como ventaja principal tiene el hecho de que se puede usar como evaporígrafo, que permite llevar un registro continuo de la variación de la evaporación, si se le adaptan los adecuados elementos registradores.

- **Porcelanas porosas**

Presentan al aire una esfera (Livingston) o un disco (Bellani) de porcelana porosa, en contacto con un depósito de agua que las alimenta ayudado por la presión atmosférica. Se utilizan fundamentalmente como aparatos de investigación,

*empleándose frecuentemente en estudios de transpiración.*

- **Superficies de papel húmedo**

*Juegan un papel similar a las porcelanas porosas. El modelo más usado es el evaporímetro de Piché (Figura 4.17) que se basa en la idea de humedecer permanentemente un papel expuesto al aire. El depósito humedecedor es un tubo graduado, que se coloca invertido con la boca libre hacia abajo. Esta se tapa con un papel secante sujeto por medio de una arandela metálica. La evaporación produce el secado del papel y una succión de agua del depósito. Se medie el descenso de agua en el tubo.*



**Figura 4.17.** Evaporímetro de Piché

*Normalmente, el evaporímetro Piché se coloca en el interior de la garita meteorológica. Algunas correlaciones entre medidas en un evaporímetro Piché y en un estanque flotante, obligan a multiplicar las medidas Piché por 0,8 para igualar las del estanque. Otros autores dan valores entre 0,45 y 0,60 para el mismo coeficiente. Realmente, este tipo de evaporímetro da grandes errores.*

- **Medida de la evaporación desde suelos sin vegetación**

*Estanques lisimétricos y lisímetros*

*Parcelas experimentales*

*Ambos tipos se utilizan también para medir evapotranspiración cuando el suelo esté cubierto por vegetación.*

#### **d) Transpiración**

*Transpiración es la pérdida de agua por las plantas, generalmente en forma de vapor, y contribuye a facilitar la absorción de agua y mantiene continua la columna hídrica, en caso de que se trate de salida de vapor por los estomas.*

Además de por los estomas la pérdida de vapor de agua puede ocurrir a través de las lenticelas, que están en el tallo; y la cutícula, pero la pérdida de vapor de agua es muy baja, porque la cutícula es impermeable, y debido a su complejidad, que puede variar, por lo tanto cuanto menos compleja es mas vapor de agua se puede perder. Por lo tanto la pérdida masiva de vapor de agua es a través de las estomas.

Hay diferentes métodos:

- **Potómetro**

La forma más antigua de medición, hay un recipiente anexo milimetrado con una burbuja dentro que está conectado a al depósito de agua donde está la planta, con la burbuja se cuantifica el volumen de agua que la planta evapotranspira.

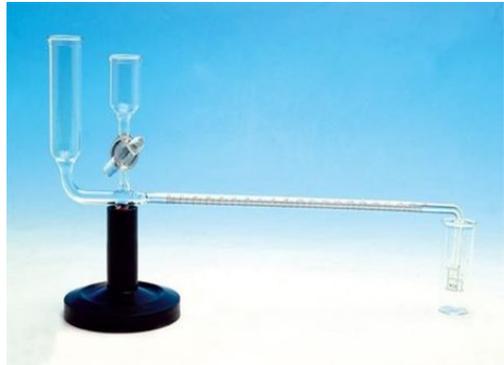
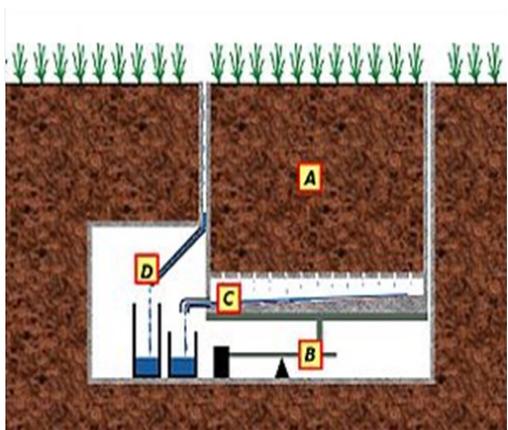


Figura 4.18. Potómetro

- **Lisímetro**

Se utilizan en agricultura, es una báscula sobre la cual está situada un área experimental. El cambio de peso que se realice por pérdida de agua en forma de vapor, lo cuantifica la báscula en forma de agua perdida.

Otra forma de cuantificar la transpiración es mediante un lisímetro asociado a una cámara cerrada donde se valora la diferencia de humedad relativa.



Modelo esquemático de un lisímetro de balanza

Leyenda:

A) Terreno en estudio

B) Balanza

C) Recolección del agua de drenaje

D) Recolección del agua de escorrentía

Figura 4.19. Lisímetro

Fuente: [www.wikiupedia.org](http://www.wikiupedia.org)

## e) **Infiltración**

*Para medir la infiltración de un suelo se usan los infiltrómetros, que sirven para determinar la capacidad de infiltración en pequeñas áreas cerradas, aplicando artificialmente agua al suelo.*

*Los infiltrómetros se usan con frecuencia en pequeñas cuencas o en áreas pequeñas o experimentales dentro de cuencas grandes. Cuando en el área se presenta gran variación en el suelo y vegetación, ésta se subdivide en subáreas relativamente uniformes, de las cuales haciendo una serie de pruebas se puede obtener información aceptable.*

*Siendo la infiltración un proceso complejo, es posible inferir con los infiltrómetros la capacidad de infiltración de cualquier cuenca en forma cualitativa, pero no cuantitativa. La aplicación más favorable de este equipo se obtiene en zonas experimentales, donde se puede evaluar la infiltración para diferentes tipos de suelo y contenido de humedad.*

*Los infiltrómetros se pueden dividir en dos grupos: de carga constante y simuladores de lluvia.*

- **Infiltrómetros de carga constante**

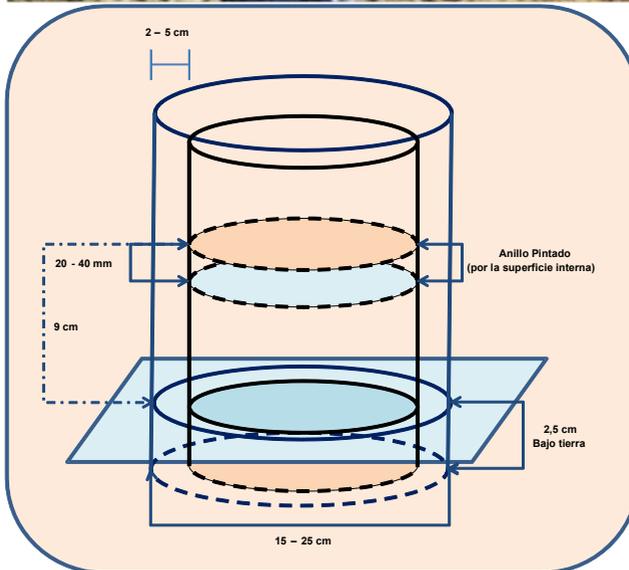
*Permiten conocer la cantidad de agua que penetra en el suelo en un área cerrada a partir del agua que debe agregarse a dicha área para mantener un tirante constante, que generalmente es de medio centímetro.*

*Los infiltrómetros de carga constante (**Figura 4.20**) más comunes consisten en dos aros concéntricos, o bien en un solo tubo; en el primer tipo, se usan dos aros concéntricos de 23 y 92 cm de diámetro respectivamente, los cuales se hincan en el suelo varios centímetros.*

*El agua se introduce en ambos compartimentos, los cuales deben conservar el mismo tirante. El objeto del aro exterior es evitar que el agua dentro del aro interior se expanda en una zona de penetración mayor que el área correspondiente; la capacidad de infiltración del suelo se determina a partir de la cantidad de agua que hay que agregar al aro interior para mantener su tirante constante.*

*La limitación más seria para el uso de cilindros infiltrómetros es que su emplazamiento en el suelo provoca un cierto grado de alteración de sus condiciones naturales (destrucción de la estructura o compactación produciendo cierta variación en la cantidad de agua*

que penetra en el suelo. Además, la interfase entre el suelo y el lado del cilindro metálico puede causar una entrada anormal de agua, resultando un mayor volumen de agua que se infiltra en un tiempo dado.



**Figura 4.20.** Infiltrómetro de carga constante

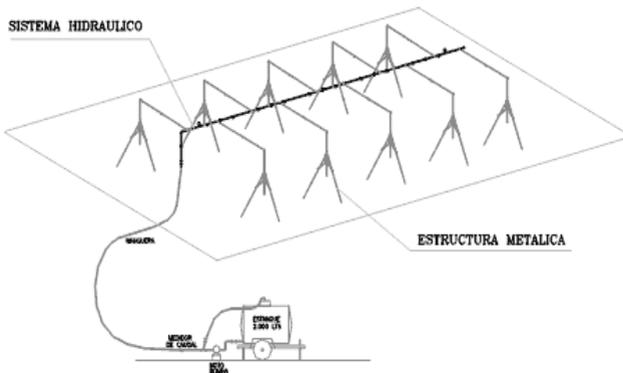
Fuente: [informes-unt.hostoi.com](http://informes-unt.hostoi.com) (adaptado por Ordoñez, 2011)

Otra de las limitaciones que presenta el uso de cilindros es el problema del aire atrapado al interior de la columna de suelo. La

*incapacidad del aire para escapar desde el suelo bajo condiciones de flujo saturado, generalmente crea un cojín interno de aire que resulta en un impedimento para el movimiento vertical del agua, resultando velocidades de infiltración menores.*

- **Simuladores de lluvia**

*Con el objeto de evitar en lo posible las fallas de los infiltrómetros de carga constante, se usan los infiltrómetros que simulan la lluvia, aplicando el agua en forma constante al suelo mediante regaderas (Figura 4.21).*



**Figura 4.21.** Simuladores de lluvia  
Fuente: [www.cazalac.org/sim\\_lluv.php](http://www.cazalac.org/sim_lluv.php)

*El área que estos simuladores cubre varía generalmente entre 0.1 y 40 m<sup>2</sup>. En estos aparatos la capacidad de infiltración se deduce midiendo el escurrimiento superficial resultante de una lluvia uniforme. Existen diversos tipos de infiltrómetros de esta clase, dependiendo del sistema generador de lluvia y la forma de recoger el escurrimiento superficial del área en estudio.*

## f) **Escurrecimiento superficial**

*La expresión **escurrecimiento superficial** suele referirse al volumen de las precipitaciones que caen sobre una cuenca, menos la retención superficial y la infiltración. El **escurrecimiento superficial o directo** es función de la intensidad de la precipitación y de la permeabilidad de la superficie del suelo, de la duración de la precipitación, del tipo de vegetación, de la extensión de la cuenca hidrográfica considerada, de la profundidad del nivel freático y de la pendiente de la superficie del suelo.*

*La aportación de una cuenca se representa comúnmente en una gráfica llamada "**hidrograma**", que consiste en una curva que representa las oscilaciones, respecto el tiempo, del nivel del agua de un río en una sección dada del mismo. En el caso de un río con un tiempo de descarga muy largo, los caudales que por él circulan al cabo de un tiempo, son el resultado de la acumulación del escurrecimiento superficial con la aportación subterránea.*

- **Aforo**

*Para determinar el volumen que escurre por una cuenca, se deben **aforar** o **medir** las corrientes. Los aforos se realizan en estaciones hidrométricas (en puentes de aforo y usando molinete) o se puede medir la corriente de cualquier río de manera individual. Estos aforos se hacen a través de cierto intervalo de tiempo (horas, días, etc), con cuyos datos se construyen gráficas de gasto (m<sup>3</sup>/s) contra tiempo (h), llamadas **hidrogramas**.*

*En Perú se usan básicamente tres tipos de métodos para aforar corrientes, a saber:*

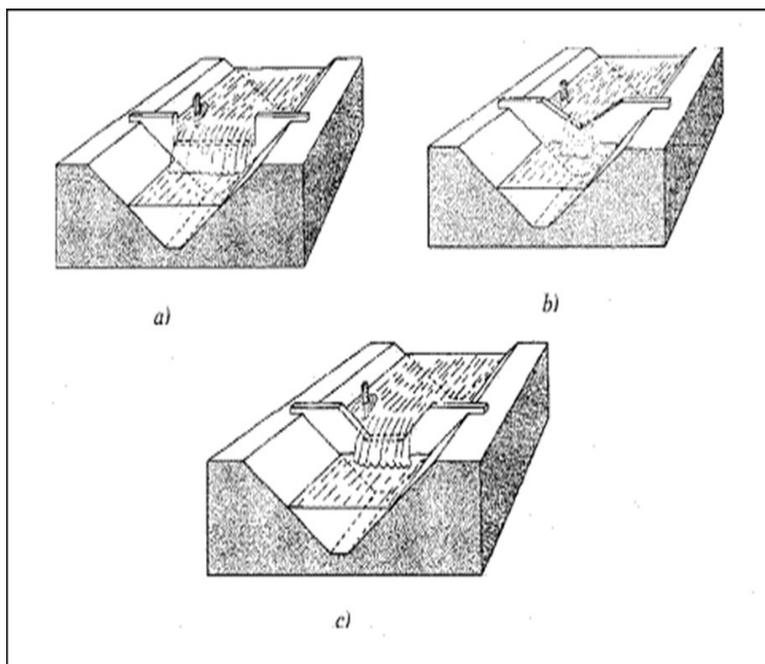
- **Sección de control**

*Una sección de control de una corriente se define como aquella en la que existe una relación entre el tirante y el gasto. Consiste de una obra hidráulica o vertedor construido especialmente para aforar una corriente (**Figura 4.22**). Este método es el más preciso de todos para el aforo, pero es relativamente costoso y*

en general, sólo se puede usar cuando los gastos no son muy altos. En el caso de estrechamientos en el cauce, deberá restringirse el transporte de objetos arrastrados por la corriente ya que la sección puede obstruirse. Un inconveniente de los vertedores es que generan un remanso aguas arriba de la sección. Por ello, este método es adecuado en ríos pequeños, cauces artificiales (como canales de riego) o cuencas experimentales.

- **Relación sección-pendiente**

Este método se utiliza para estimar el gasto máximo que se presenta durante una avenida reciente en un río donde no se cuenta con ningún otro tipo de aforo. Para su aplicación se requiere solamente contar con la topografía de un tramo del cauce y las marcas del nivel máximo del agua durante el paso de la avenida (obtenidas con estadal o de escalas dibujadas en las orillas del canal).



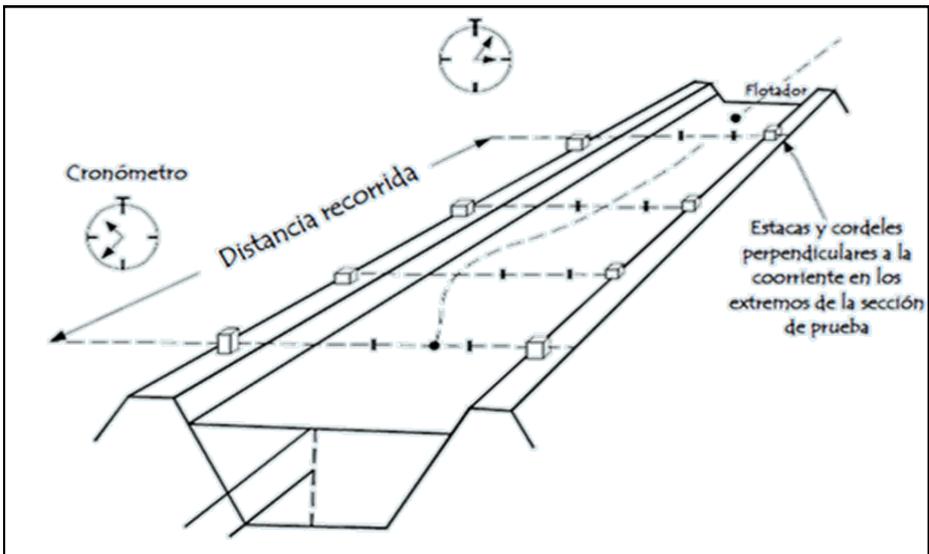
**Figura 4.22.** Vertedores: a) Rectangular b) Triangular y c) Trapezoidal  
Fuente: [ocwus.us.es](http://ocwus.us.es)

- **Relación sección-velocidad**

*Este es el método más usado para aforar corrientes. Consiste básicamente en medir la velocidad en varios puntos de la sección transversal y después calcular el gasto por medio de la ecuación de continuidad  $Q = v A$  ( $A$  = área hidráulica). Dentro de este método, existen varias maneras para obtener la velocidad del agua:*

- **Flotador**

*Se escoge un tramo recto del río, libre de vegetación o cualquier otro obstáculo que pueda interrumpir el flujo. Se coloca un objeto que flote sobre el agua, a la mitad del tramo (**Figura 4.23**). Se mide el tiempo (s) que tarda en recorrer una distancia determinada (m). La velocidad (m/s) estará dada por el cociente entre distancia y tiempo. Este método aunque barato y fácil de usar, es inexacto porque se está midiendo la velocidad en la superficie de la corriente y de acuerdo a la parábola de velocidades del agua, ésta es la más grande y no corresponde a la velocidad media del río o canal.*



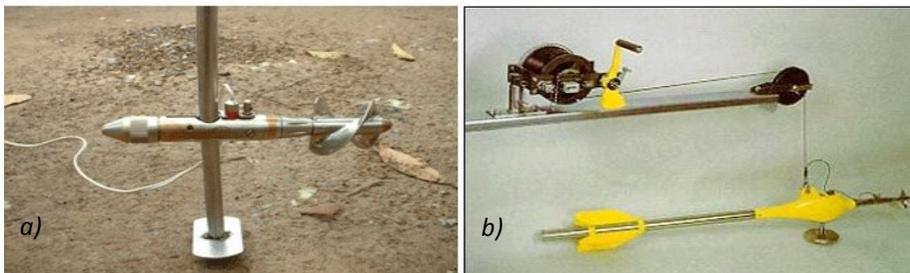
**Figura 4.23.** Aforo con flotadores

Fuente: <http://www.fronate.pro.ec/fronate/wp-content/media/manual-de-laboratorio-de-hidrologia.pdf>

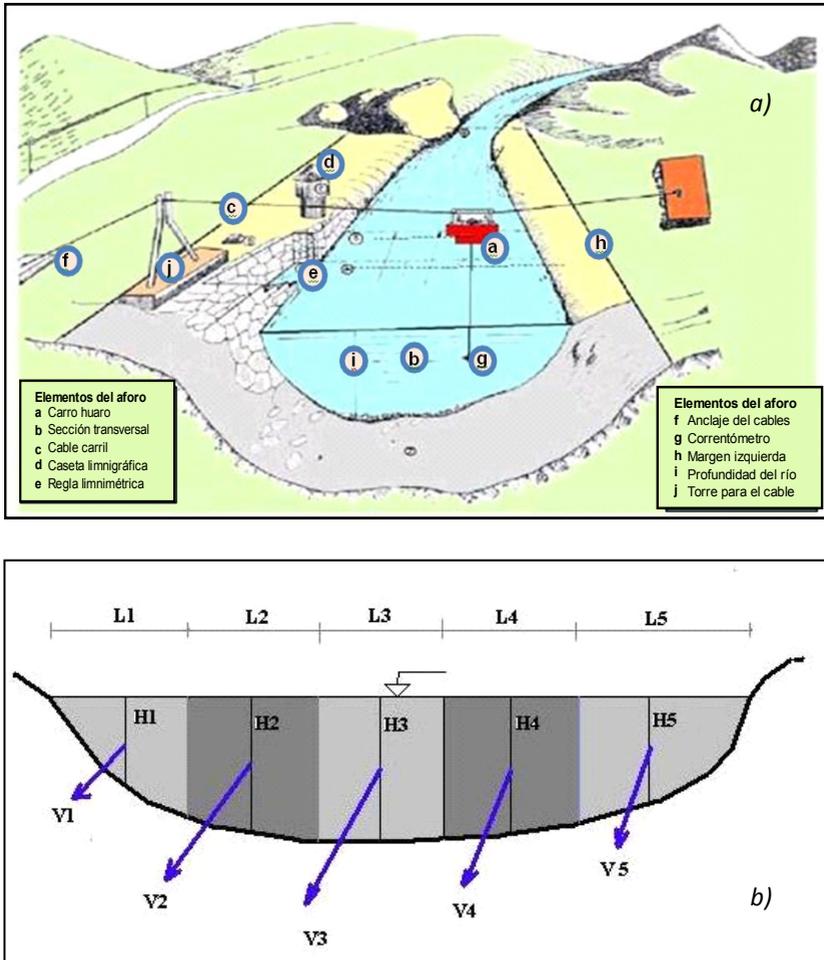
◦ **Molinete**

*Este método es más exacto para medir la velocidad media de un río. Consiste en introducir un aparato especialmente diseñado, que se llama molinete (Ver **Figura 4.24** y **4.25**), el cual tiene una hélice o rueda de aspas o copas que gira impulsada por la corriente y mediante un mecanismo eléctrico, transmite por un cable el número de revoluciones por minuto o por segundo con que gira la hélice. Esta velocidad angular se traduce después a velocidad del agua usando una fórmula de calibración que previamente se determina para cada aparato en particular.*

*Para obtener la velocidad media de un río o canal utilizando el molinete, se escoge una sección transversal al flujo, la cual se divide en secciones o tramos iguales (m). Se introduce el molinete en cada tramo, a los 6/10 de la profundidad media del tramo, que de acuerdo a la parábola de velocidades, es donde se ubica la velocidad media (m/s). Se obtiene la velocidad en cada sección. Es necesario también, conocer el área de cada tramo o sección, por lo que se introduce un estadal en el punto medio de cada sección, obteniéndose la profundidad media (m). Esta se multiplica por el ancho de cada sección (m), dando el área (m<sup>2</sup>) del rectángulo o tramo. Finalmente, se obtiene el producto de la velocidad (m/s) por el área (m<sup>2</sup>) dando el gasto (m<sup>3</sup>/s) de cada sección. La velocidad media se obtiene del cociente entre la sumatoria de todos los gastos y las áreas unitarias de cada sección.*



**Figura 4.24.** Equipos de aforo  
 a) Molinete para aforo por vadeo. b) Molinete para aforo por suspensión.  
 Fuente: Adaptado por Ordoñez, 2011.

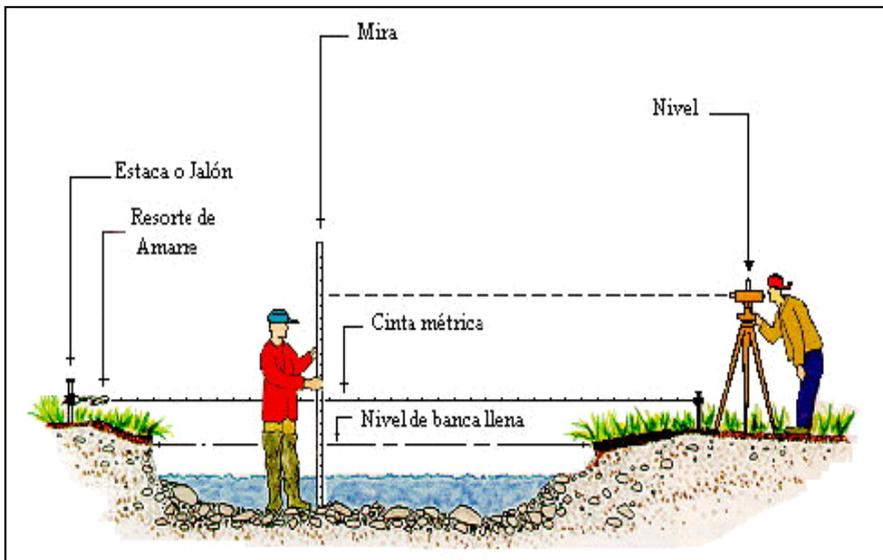


**Figura 4.25.** a) Estación de aforo.

b) Sección de aforo.

Fuente: Adaptado por Ordoñez, 2012.

En la **Figuras 4.26 y 4.27**, se muestra dos de los tipos de aforo que se desarrollan en el Perú, uno con molinete tradicional y el otro con Acoustic Doppler Current Profiler -ADCP, para ríos Amazónicos.



**Figura 4.26.** Batimetría y aforo con molinete.  
Fuente: Adaptado por Ordoñez, 2011.



**Figura 4.27.** Aforo con ADCP.  
Fuente: Adaptado por Ordoñez, 2011.

◦ **Trazador químico o radioactivo**

*Este es un método indirecto para obtener la velocidad de una corriente y utiliza trazadores radioactivos (fluoricerinas) o químicos (sales de sodio, cromo o potasio). El procedimiento consiste en soltar una cantidad conocida de partículas fluorescentes, radiactivas, etc., al inicio de una sección recta del río previamente seleccionada, para medir el tiempo que tarda en llegar al final de dicha sección. Esto se puede hacer visualmente, con contadores de radioactividad, salinidad o cualquier otro aparato, dependiendo del tipo de partículas usadas. Este y otros métodos aún se encuentran en la etapa de experimentación y su uso todavía está limitado en la práctica (Figura 4.28).*



**Figura 4.28.** Aforo con trazadores químicos

Fuente: [www.cuevadelcivil.com/2011/02](http://www.cuevadelcivil.com/2011/02), Adaptado por Ordoñez, 2011.

La fórmula usada en el tramo de un río es:

$$Q = [(K - K') / K'] q$$

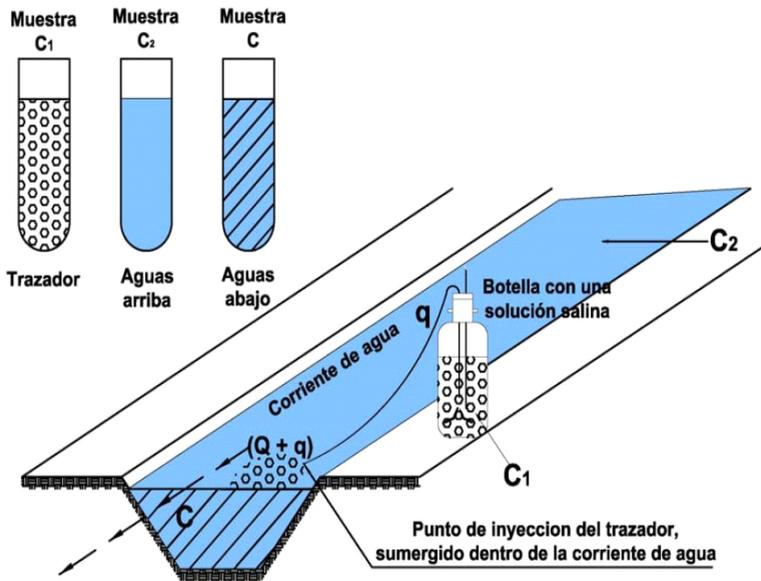
Donde:

$Q$  = gasto del río ( $m^3/s$ )

$q$  = gasto de la solución que se inyecta ( $m^3/s$ )

$K$  = concentración de la solución inyectada

$K'$  = concentración de la solución observada al final del tramo del río.



**Figura 4.29.** Aforo con trazadores químicos

Fuente: [www.cuevadelcivil.com/2011/02](http://www.cuevadelcivil.com/2011/02), Adaptado por Ordoñez, 2011.

## V.- CUESTIONARIO PRÁCTICO

### ¿Qué es el ciclo hidrológico?

- a) *Un modelo conceptual que describe el movimiento del agua*
- b) *Sucesión de etapas que atraviesa el agua*
- c) *Conjunto de procesos que circulan el agua en forma permanente*
- d) *Proceso por el cual el agua cambio de un estado a otro*
- e) *N/A*

### ¿Indique los componentes del ciclo hidrológico?

- a) *Precipitación, evaporación y escurrimiento*
- b) *Evaporación, precipitación y escurrimiento*
- c) *Evaporación, condensación, precipitación, escurrimiento e infiltración*
- d) *Evaporación, precipitación, acumulación y escurrimiento*
- e) *N/A*

### ¿Es el ciclo hidrológico un ciclo perfecto?

- a) *Si*
- b) *No*
- c) *Solo si es natural*
- d) *Puede ser*
- e) *N/A*

### ¿Qué es la precipitación y como se mide?

- a) *El agua se transforma de vapor a líquido, se mide con el pluviógrafo.*
- b) *El agua meteórica cae a la superficie terrestre, se mide con el pluviómetro*
- c) *El agua cae y es absorbida por el suelo, se mide con el infiltrómetro*
- d) *El agua se calienta y transforma en vapor, se mide por evaporímetro*
- e) *N/A*

### ¿Cuáles son los tipos de precipitación?

- a) *Lluvia, granizo y nieve*
- b) *Convectiva, orográfica y frontal*
- c) *Cúmulus, nimbus y cirrus*
- d) *Líquida, sólida y gaseosa*
- e) *N/A*

### ¿Cuándo el sol calienta el agua de los ríos y mares se produce ...?

- a) *Precipitación*
- b) *Evaporación*
- c) *Condensación*
- d) *Transpiración*
- e) *Infiltración*

**¿En que consiste la transpiración?**

- a) *Es cuando el agua pasa de líquido a vapor*
- b) *Es cuando el agua pasa de vapor a líquido*
- c) *Es la evaporación través de las hojas de las plantas*
- d) *Es la perdida de agua de los cuerpos líquidos*
- e) *N/A*

**¿Qué es infiltración y que métodos conoce para su determinación?**

- a) *Cantidad de agua que recarga los acuíferos, se mide por infiltrómetros*
- b) *Cantidad de agua que cae a la superficie terrestre, se mide con pluviómetros*
- c) *Cantidad de agua que se convierte en vapor, se mide por evaporímetro*
- d) *Cantidad de agua que circula por una corriente, se mide con molinete*
- e) *N/A*

**¿A que se denomina escorrentía (o escurrimiento)?**

- a) *Determinación del volumen de agua en una corriente o flujo de agua*
- b) *Proceso donde se acumulan las aguas que precipitan en el terreno*
- c) *Deslizamiento del agua infiltrada en el subsuelo*
- d) *Porción de lluvia que no es infiltrada, interceptada o evaporada y fluye sobre la superficie del terreno.*
- e) *N/A*

**¿Qué es un hidrograma?**

- a) *Gráfica que representa la oscilación del nivel del agua en el tiempo*
- b) *Gráfica que representa el agua precipitada en un lugar o región*
- c) *Gráfico que representa la variación en el tiempo de alguna información hidrológica tal como: nivel de agua, caudal, etc*
- d) *Gráfica que representa la variabilidad del agua*
- e) *N/A*

**¿A que determinamos aforo?**

- a) *Proceso para determinar el nivel de un río*
- b) *Proceso para determinar el volumen que escurre por una cuenca*
- c) *Proceso para determinar el volumen que escurre por una corriente o río*
- d) *Proceso para medir el volumen de un río*
- e) *N/A*

**¿Instrumento para determinar la velocidad media de un río?**

- a) *Pluviógrafo*
- b) *Velocímetro*
- c) *Limnógrafo*
- d) *Molinete*
- e) *N/A*

## V.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arreola Muñoz, A. (s/f) *El Manejo integral de cuencas: limitaciones de una política sectorial para la gestión territorial del agua*. Instituto para el Desarrollo Sustentable en Mesoamérica, A.C. (IDESMAC).
- Chereque, M. OW, V., 1989. *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil Pontificia Universidad Católica del Perú*, obra auspiciada por CONCYTEC. Lima, Perú, 223 pp.
- Eoarth, 2012. *El Ciclo Hidrológico*  
[www.eoearth.org/article/Hydrologic\\_cycle](http://www.eoearth.org/article/Hydrologic_cycle)
- Estrela, T., 1992. *Metodología y Recomendaciones para la Evaluación de Recursos Hídricos*. Centro de Estudios Hidrográficos.- Madrid: Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Gabinete de Formación y Documentación, Madrid, España. 52 p.
- Guevara, E. y Cartaya, H. 1991. *HIDROLOGIA. Una introducción a la Ciencia Hidrológica Aplicada*. GUECA EDICIONES. Valencia, Venezuela, 358 p.
- Llerena, C. A. 2003. *Servicios ambientales de las cuencas y producción de agua, conceptos, valoración, experiencias y sus posibilidades de aplicación en el Perú*. FAO Presentado en el Foro Regional sobre Sistemas de Pago por Servicios Ambientales (PSA), Arequipa, Perú, 9-12 junio 2003, durante el Tercer Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas.
- Musy, A. 2001. *Cours "Hydrologie générale"*. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne. IATE/HYDRAM. Laboratoire d'Hydrologie et Aménagement. Capitulo 1, 2, 3, 4 y 5.
- Pidwirny, M. (2006). "The Hydrologic Cycle". *Fundamentals of Physical Geography*, 2nd Edition. Date Viewed. <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/8b.html>
- Pladeyra 2003. *Paisajes hidrológicos y balance hídrico de la cuenca Lerma Chapala*, México.
- Rendón, Luis. 2003. *La cuenca: sistema hidrológico o curso de agua natural*. IMTA. Documento electrónico.

**Páginas Web:**

*www.sitiosolar.com. 2011.*

*www.photaki.es. 2011. Condensación*

*www.biogeodemagallanes. 2011. Transpiración*

*www.mariagdc93.blogspot.c. 2011. Esguerrimiento superficial*

*www.mitecnologico.com. 2011. Tipo de pluviómetro*

*www.ucla.edu.ve. 2011. Pluviómetro automático*

*geohistoriatader.blogspot.com. 2011. Caseta meteorológica y estación meteorológica automática*

*www.wikipedia.org. 2011. Lisímetro*

*informes-unt.hostoi.com. 2011. Infiltración*

*www.cazalac.org/sim\_lluv.php. 2011. Simuladores de lluvia*

*www.ocwus.us.es. 2011. Tipos de vertederos*

*www.fronate.pro.ec/fronate/wp-content/media/manual-de-laboratorio-de-hidrologia.pdf. 2011. Aforo por flotadores*

*www.cuevadelcivil.com/2011/02. 2011. Aforo con trazadores químicos*



Esta Cartilla se terminó de imprimir en el mes de  
Setiembre 2012 en la imprenta IBEGRAF  
Jr. Cangallo N° 217 Int. 5  
Lima-Perú

**CONSEJO DIRECTIVO 2011-2012**

Juan Julio Ordoñez Gálvez  
Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú—SENAMHI

Karen Kraft  
Asociación Especializada para el Desarrollo Sostenible—AEDES

German Torre Villafane  
Centro de Estudios Solidaridad - CESS SOLIDARIDAD

Elder Gustavo Palacios Salazar  
Asociación de Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento - ANEPSSA

Marco Antonio Nuñez de del Prado Coll  
Autoridad Nacional del Agua - ANA

Nicole Bernex Weiss  
Pontificia Universidad Católica del Perú - PUCP



Aguas abajo, estación Chosica R2, río Rímac, SENAMHI-2011.