

# Conceptos Hidrológicos Básicos

5

Esta sección contiene una breve y sintética introducción al ciclo del agua y sus principales componentes y procesos, que son materia de estudio en la Hidrología.

El propósito de este apartado es mostrar la dinámica de las masas de agua en nuestro planeta, en contexto donde se desarrollan los fenómenos a escala más local (cuencas), las variables que se miden para acceder al conocimiento de este ciclo natural del agua hasta avanzar en la consideración del ciclo ambiental del agua.

Los temas que se tratan están distribuidos en el siguiente orden:

1. Distribución de agua en el planeta
  2. Hidrología y ciclo hidrológico
- Componentes del ciclo hidrológico:
- a) Precipitación: formas de precipitación, tipos de precipitación
  - b) Evaporación y evapotranspiración
  - c) Infiltración, percolación y aguas subterráneas
  - d) Escurrimiento superficial, cuenca hidrográfica y aguas superficiales

## 1. Distribución de agua en el planeta

El agua es uno de los cuatro elementos que el filósofo griego Aristóteles definió como constituyente del universo, junto con el aire, la tierra y el fuego. Es la sustancia más abundante que existe en la tierra y es el principal componente de todos los seres vivos. Constituye un factor decisivo en la climatización del planeta para la existencia humana, la formación de paisajes y en el progreso de los pueblos. Es un bien esencial para la vida y el desarrollo económico social de las naciones. Se trata de un recurso natural renovable que puede tornarse escaso con el crecimiento y desarrollo de la población, las industrias y la agricultura.

La molécula de agua está formada por un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno, se congela a 0 °C y su punto de ebullición es 100 °C (Chow,

1994). Tiene propiedades físico-químicas excepcionales, tanto a nivel de molécula como en su interacción con el ambiente. Es considerada solvente universal, es el mejor solubilizante de compuestos inorgánicos, mecanismo fundamental en todos los procesos naturales.

El agua se presenta en la naturaleza en todos sus estados (sólido, líquido y gaseoso) en un espacio llamado hidrósfera<sup>5</sup>.

Las dos terceras partes de la superficie del planeta están cubiertas por agua (*Figura 6*). Si la Tierra fuera una esfera uniforme, esta cantidad sería suficiente para cubrirla hasta una profundidad cercana a 2,6 km.

En la *Tabla 1* se encuentran las cantidades estimadas de agua en las diferentes formas que existen en la Tierra.

## 2. Hidrología y ciclo hidrológico

La ciencia dedicada al estudio del agua es la Hidrología. Si bien existen muchas definiciones, tal vez la que mejor presenta los alcances de esta ciencia es la propuesta por el Consejo Federal de Ciencia y Tecnología establecido por el presidente de Estados Unidos en 1959:

Hidrología es la ciencia que trata de las aguas sobre la tierra, su ocurrencia, circulación y distribución, sus propiedades químicas y físicas y su reacción con el medio ambiente, incluyendo su relación con los seres vivos. El dominio de la Hidrología abarca toda la historia de la vida del agua en la tierra.

De ello se desprende que la Hidrología es una ciencia interdisciplinaria, ya que se vincula con otras ramas de la ciencia, tales como Física, Química, Geología, Mecánica de fluidos, Matemáticas, Biología, Estadística, entre otras.

5. Incluye los océanos, mares, ríos, agua subterránea, hielos y nieve.





Fuente: Wikipedia (2008) [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/05/Land\\_ocean\\_ice\\_cloud\\_1024.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/05/Land_ocean_ice_cloud_1024.jpg)

Figura 6 El 70 % del Planeta está constituido por agua

Agua	Área (10 <sup>6</sup> km <sup>2</sup> )	Volumen (km <sup>3</sup> )	% 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	82,0	16.500	0,0012	0,05
Hielo Polar	16,0	24.023.500	1,7	68,6
Hielo no polar y nieve	0,3	340.600	0,025	1,0
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	510,0	1.120	0,0001	0,003
Agua Atmosférica	510,0	12.900	0,001	0,04
Agua Total	510,0	1.385.984.610	100	
Agua Dulce	148,8	35.029.210	2,5	100

Fuente: Chow (1994)

Tabla 1 Cantidades estimadas de agua en la tierra

El ciclo hidrológico es el fenómeno de circulación global del agua producido fundamentalmente por la energía solar, e influenciado por las fuerzas de gravedad y la rotación de la Tierra.

Así, a partir de la recepción de energía solar –que es la fuente de generación exterior– se puede comenzar a describir el ciclo del agua con la generación de vapor de agua hacia la atmósfera por *evaporación* del agua líquida

desde lagos, ríos, océanos, mares y por *evapotranspiración* desde suelos y vegetación. Luego, bajo determinadas condiciones meteorológicas (presión, temperatura y humedad) este vapor se condensa –esto es cambiando nuevamente de estado– formando microgotas de agua líquida que se mantienen suspendidas en el aire debido a la turbulencia natural. El agrupamiento de estas microgotas da lugar a los aerosoles y sucesivamente a la formación de nubes. Luego, a través de la dinámica de las masas de aire (circulación atmosférica) se concreta la principal transferencia de agua atmosférica hacia las masas continentales en forma de *precipitación*.

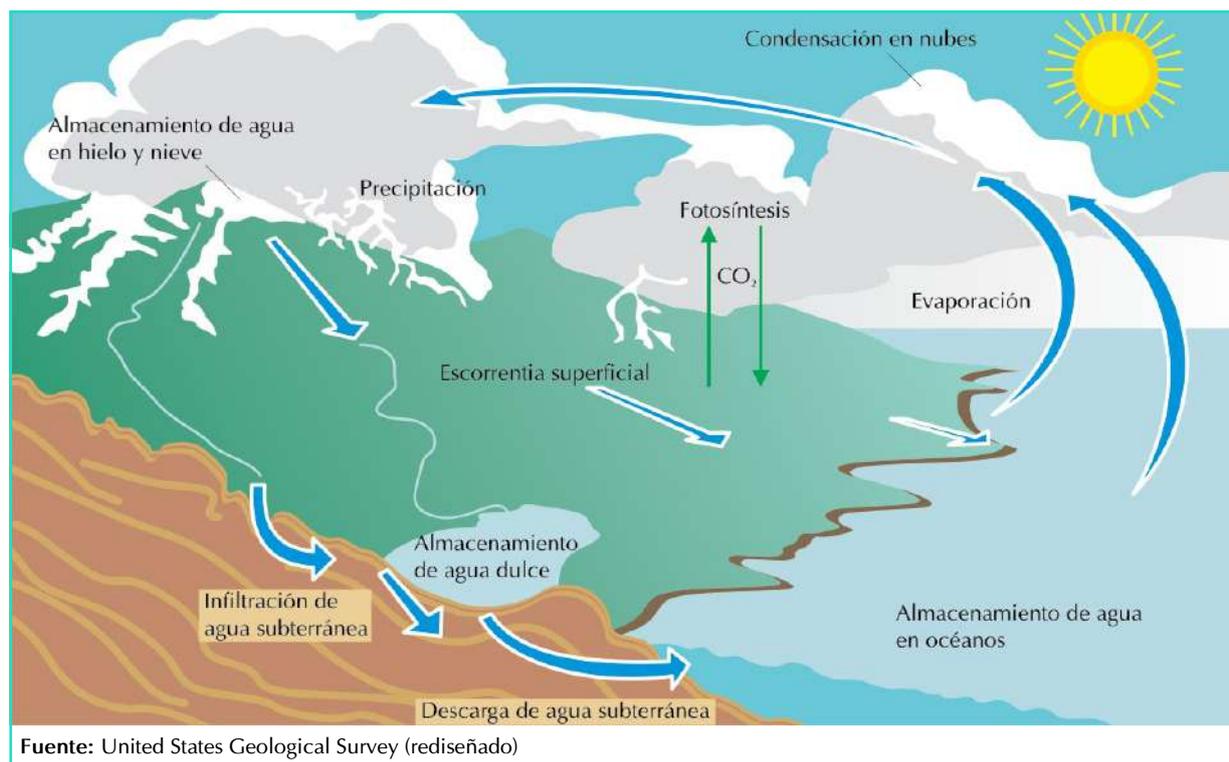


Figura 7 Ciclo del agua en la naturaleza

El agua proveniente de la *precipitación* (en estado sólido y/o líquido) sigue distintos caminos cuando llega a la superficie terrestre en función de las características edáficas, topográficas, fitográficas, urbanas, etc. Puede ser interceptada por la vegetación, convertirse en flujo superficial sobre el terreno (escurrimiento superficial) o infiltrarse en el suelo dando lugar a la formación de acuíferos (aguas subterráneas) que, eventualmente gracias al escurrimiento subterráneo, alimentan ríos, lagos, humedales o descargan directamente en el mar. La mayor parte del agua interceptada y de escorrentía superficial regresa a la atmósfera por el proceso de evaporación. El ingreso de agua al ambiente subterráneo se realiza por el fenómeno de infiltración. Su desplazamiento desde el suelo por las zonas de aireación y saturación, se denomina percolación (su descripción se verá más adelante)<sup>4</sup>.

El ciclo hidrológico no tiene principio ni fin y sus diversos procesos o fenómenos ocurren en forma continua. En la *Figura 7* se ilustra en forma esquemática este ciclo.

Las principales características del ciclo hidrológico son las siguientes (UNESCO, 1986):

- El agua cumple un ciclo en la naturaleza, se encuentra en constante movimiento, desplazándose de uno a otro sitio de almacenamiento y cambiando de estado físico.
- El ciclo es una sucesión de transferencias y acumulaciones en diferentes medios. Un río lleva agua de un lugar a otro, el mar es una acumulación de agua, la evaporación del agua de mar hacia la atmósfera es una transferencia, etc.
- Los flujos entre almacenamientos no son regulares ni constantes, ni en distribución espacial ni temporal.
- El agua constituye un vehículo fundamental de transporte e intercambio para los seres vivos. En el agua del suelo van disueltos nutrientes que pueden ser transportados hasta las plantas mediante la absorción que de ella hacen las raíces. A su vez, las plantas son consumidas por organismos superiores dando lugar a la cadena alimenticia.
- El tránsito de flujo de agua (en estado líquido o sólido) sobre la superficie, genera una cierta energía, lo que se traduce en un trabajo que modifica el paisaje, modelando la superficie.

Pese a que el concepto de ciclo hidrológico es simple, el fenómeno es complejo. Aunque el volumen total de agua en el ciclo hidrológico global permanece constante, la distribución del agua está cambiando continuamente en océanos y continentes, regiones y cuencas. Pero también, a medida que la civilización progresa,

4. En cursiva se han señalado los fenómenos más importantes que se producen en el ciclo del agua.

Cerca del 97% del agua del planeta se encuentra en los océanos. Esta agua posee elevada salinidad. Pero durante el ciclo hidrológico el agua cambia su composición. La evaporación es en sí un proceso de destilación, es decir que el vapor de agua originalmente no tiene sales. En su recorrido por el aire y en su asociación con los aerosoles, el agua puede cambiar rápidamente su composición.

En la superficie del terreno y en los cursos de agua da lugar a productos de meteorización en forma de soluciones y suspensiones, que dependerán del clima, relieve, propiedades y composición de las rocas.

Una vez introducida en el ambiente subterráneo está sujeta también a cambios en su composición química en función de los estratos geológicos que atraviesa y de la velocidad con que circula.

De allí entonces que se encuentren en forma

natural diferentes calidades de agua y que esta calidad pueda variar naturalmente entre los distintos lugares y también a lo largo del tiempo.

La toma de muestras de agua para su análisis químico, físico y bacteriológico es sumamente importante. Según sean las condiciones de intervención antrópica, los resultados de dichos estudios sirven para:

- conocer las características originales de un cuerpo de agua superficial o subterráneo (fondo natural o línea base), en el caso de áreas sin intervención
- hacer un seguimiento de las modificaciones que pudieran producirse por la intervención del hombre (uso de fertilizantes, descarga de efluentes, vertido de residuos, explotación inadecuada de acuíferos y ríos, etc.) y, eventualmente servir de alerta temprana evitando riesgos para la salud.



Toma de muestra de agua subterránea

#### Cuadro 6

las actividades humanas introducen modificaciones a este movimiento cíclico y alteran el equilibrio dinámico del *ciclo natural del agua*. Se inician nuevos procesos y eventos, que modifican la distribución espacial, temporal y la calidad del agua (*ciclo ambiental del agua*).

## Componentes del ciclo hidrológico

### a) Precipitación

La formación de la precipitación requiere la elevación de una masa de agua en la atmósfera de tal manera que se enfríe y parte de su humedad se condense. La condensación requiere de una semilla llamada el *núcleo de condensación*, alrededor del cual las moléculas del agua se pueden unir (Chow, 1994). Si la temperatura se encuentra por debajo del punto de congelamiento, se forman cristales de hielo. En la *Figura 10* se ilustra la formación de precipitación en las nubes.

Algunas partículas de polvo que flotan en el aire pueden actuar como núcleos de condensación. Las partículas que contienen iones son efectivas como núcleos debido a que los iones atraen por electrostática las moléculas de agua enlazadas polarmente. Los iones en la atmósfera incluyen partículas de sal que se forman a partir de la evaporación de espuma marina y compuestos de sulfuro y nitrógeno que provienen de la combustión. Los diámetros de estas partículas varían entre  $10^{-3}$  y  $10 \mu\text{m}$  y se conocen como aerosoles.

Las pequeñas gotas de agua crecen mediante la condensación e impacto con las más cercanas a medida que se mueven por la turbulencia del aire, hasta que son lo suficientemente grandes

para que la fuerza de la gravedad sobrepase la fuerza de fricción y empiezan a caer, incrementando su tamaño cuando golpean otras gotas en su descenso.

Pero, a medida que la gota cae el agua se evapora de su superficie y su tamaño disminuye, de tal manera que el tamaño puede reducirse nuevamente al tamaño de un aerosol y desplazarse hacia arriba en la nube debido a la turbulencia.

Una corriente ascendente de solo 0,5 cm/s es suficiente para arrastrar una gota de 10  $\mu\text{m}$ . El ciclo de condensación, caída, evaporación y elevación se repite en promedio unas diez veces antes de que la gota alcance un tamaño crítico de 0,1 mm, que es suficientemente grande para que caiga a través de la base de la nube.

Las gotas permanecen esféricas hasta un diámetro de alrededor de 1 mm, pero empiezan a aplanarse en el fondo cuando aumenta su tamaño y dejan de ser estables en su caída al atravesar el aire dividiéndose en pequeñas gotas de lluvia. Las gotas de lluvia normales que caen a través de la base de una nube tienen de 0,1 a 3 mm de diámetro.

### Formas de precipitación

La precipitación incluye lluvia, nieve y otros procesos mediante los cuales el agua cae a la superficie terrestre, tales como granizo y nevisca.

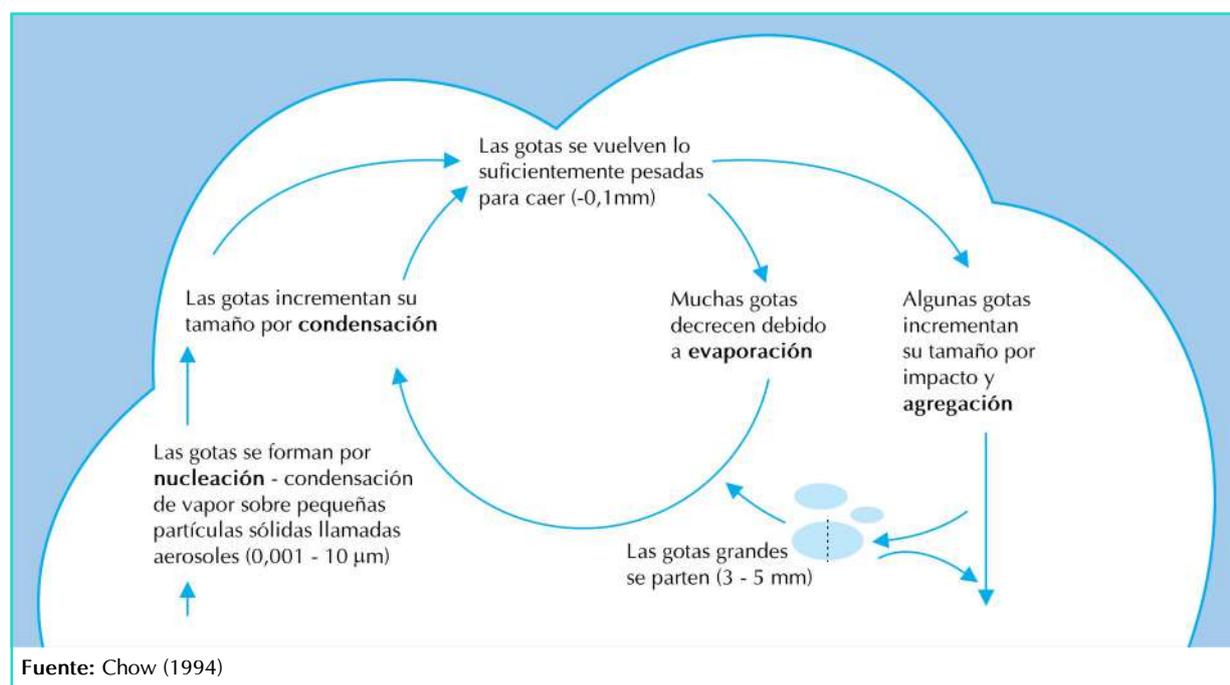


Figura 10 Formación de precipitación en las nubes

Según Linsley y otros (1977), las precipitaciones líquidas o sólidas se presentan en distintas formas:

- **Llovizna:** consiste en pequeñas gotas de agua, con diámetro variable entre 0,1 y 0,5 mm, con velocidad de caída muy baja. Por lo general, la llovizna precipita de los estratos bajos de la atmósfera y muy rara vez sobrepasa el valor de 1 mm/h de intensidad.
- **Lluvia:** consiste en gotas de agua líquida, con diámetro mayor a 0,5 mm. Las *Tablas 3 y 4* presentan las clasificaciones de la lluvia en función de la intensidad de acuerdo a Huschke (1980) y a Remenieras (1974).
- **Escarcha:** es una capa de hielo, generalmente transparente y suave, que contiene bolsas de aire. Se forma en superficies expuestas, por el congelamiento de agua superenfriada que se ha depositado en ella, por llovizna o lluvia. También existe otro tipo de escarcha, que es opaca y consiste en depósitos granulares de hielo separado por aire atrapado. Se forma por el rápido congelamiento de las gotas de agua sobreenfriadas, que caen sobre los objetos expuestos.
- **Nieve:** está formada por cristales de hielos blancos o traslúcidos de forma compleja y aglomerados. Estos conglomerados pueden formar copos de nieve que pueden llegar a tener varios centímetros de diámetro. La densidad de la nieve fresca varía, por lo general, una capa de nieve acumulada de 125 a 500 mm, representan una lámina de agua líquida de 25.0 mm.
- **Bolsitas de nieve:** o granizo suave, son partículas de hielo redondeadas, blancas u opacas, con una estructura similar a la de los copos de nieve y de 2 a 5 mm de diámetro. Las bolsitas de nieve son suaves y se rompen fácilmente al golpear en superficies duras.
- **Granizo:** es precipitación en forma de bolas o trozos irregulares de hielo, que se produce por nubes convectivas, la mayoría de ellas de tipo cúmulo-nimbus. El granizo puede ser esférico, cónico o de forma irregular y su diámetro varía entre 5 a más de 125 mm.
- **Bolas de hielo:** están compuestas de hielo transparente o traslúcido. Pueden ser esféricas o irregulares, y cónica, por lo general, tienen menos de 5 mm de diámetro. Las bolas de hielo rebotan cuando golpean en superficies duras y producen gran ruido en el

momento del impacto. Son granos sólidos de hielo formados por el congelamiento de gotas de agua o por el recongelamiento de cristales de hielo que se han fundido.

### Tipos de precipitación

De acuerdo a los fenómenos meteorológicos, las precipitaciones pueden clasificarse en: precipitaciones por convección, precipitaciones orográficas y precipitaciones ciclónicas o de frentes:

- **Precipitaciones convectivas:** son causadas por el ascenso de aire caliente saturado o no, más liviano que el aire frío de los alrededores. Durante su ascenso, las masas de aire se enfrían según un gradiente de 1°C por 100 m (seco) o 0,5°C por 100 m (saturado); cuando alcanza el punto de condensación, se produce la formación de nubes. Si la corriente de convección vertical inicial es intensa, el sistema nuboso puede alcanzar una zona de temperaturas muy bajas o un grado de turbulencia fuerte, que pueden desatar la lluvia. La precipitación convectiva es de corta duración, puntual y su intensidad puede variar entre una llovizna ligera y un aguacero. Son características de las regiones ecuatoriales, donde los movimientos de las masas de aires, son esencialmente verticales. Las nubes se forman durante la mañana bajo la acción de la insolación intensa y por la tarde o al anochecer, se presenta un violento aguacero acompañado de relámpagos y trueno. Durante

Nombre	Características
Muy Suave	Gotas aisladas que no humedecen completamente la superficie
Ligera	Intensidades menores 2,5 mm/h
Moderada	Intensidades entre 2,5 – 7,6 mm/h
Suave	Intensidades mayores 7,6 mm/h

Fuente: Huschke (1980)

**Tabla 3** Clasificación de la lluvia según Huschke

Nombre	Características
Ligera	Intensidades entre 1 – 5 mm/h
Fuerte	Intensidades entre 15 – 20 mm/h
Tempestad muy violenta	Intensidades mayores 100 mm/h

Fuente: Remenieras (1974)

**Tabla 4** Clasificación de la lluvia según Remenieras



la noche, las nubes se disuelven y en la mañana, el cielo se presenta generalmente claro. Las precipitaciones convectivas también tienen lugar en la zona templada, en los períodos calientes casi siempre bajo la forma de aguaceros violentos y puntuales.

- *Precipitaciones orográficas:* cuando las masas de aire cargadas de humedad que se desplazan del océano a los continentes encuentran una barrera montañosa, tienden a elevarse y se produce un enfriamiento que puede generar una cobertura nubosa y desatar precipitaciones.

Las precipitaciones orográficas se presentan bajo la forma de lluvia o de nieve en la dirección hacia la que sopla el viento (vertientes sotavento de la barrera montañosa). La obstrucción en el trayecto de las masas de aire húmedo por un macizo montañoso en la dirección desde donde sopla el viento (vertiente a barlovento), produce una zona de pluviosidad débil. El aire al descender sobre esa vertiente se calienta y disminuye su humedad relativa, puede generar un régimen de vientos secos y calientes que da nacimiento a zonas semiáridas o áridas.



Cuando una masa de aire caliente se encuentra con una masa de aire frío, en lugar de mezclarse, aparece una superficie de discontinuidad entre ellas que se llama *frente*.

- *Precipitaciones frontales:* este tipo de precipitaciones están asociadas a las superficies de contacto (frente) entre masas de aire de temperatura y humedad diferentes. La precipitación frontal resulta del

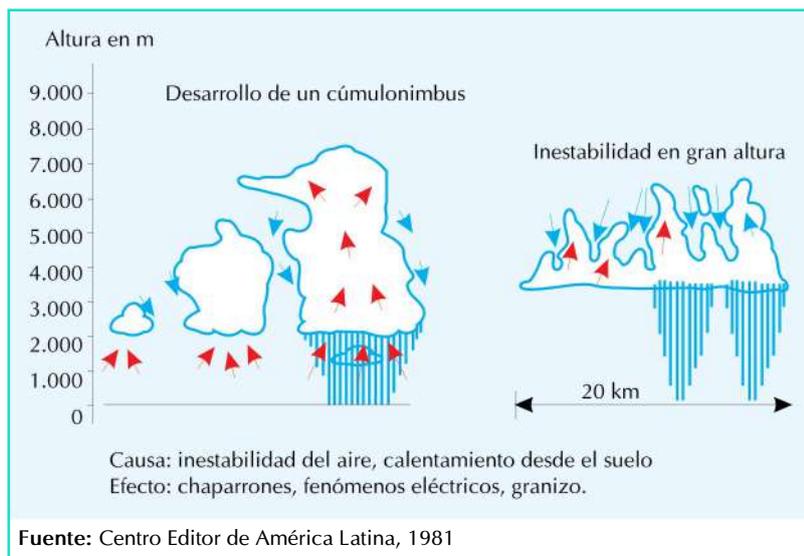


Figura 11 Enfriamiento por ascenso convectivo

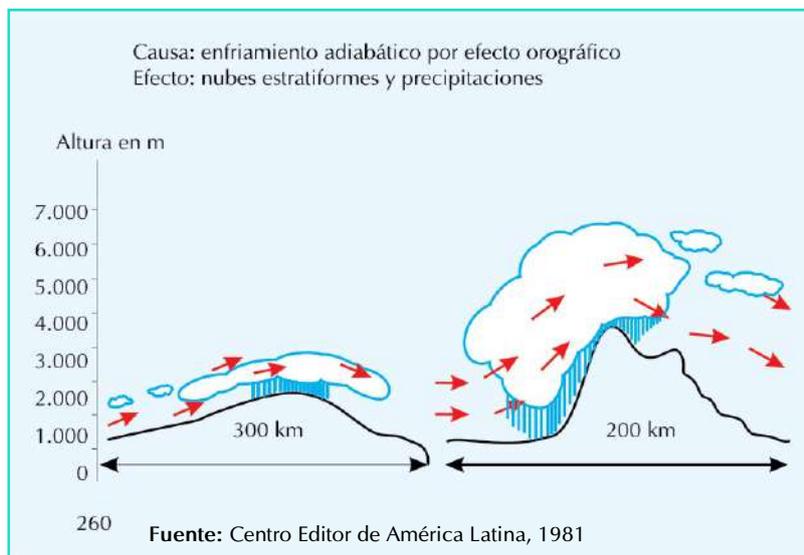


Figura 12 Enfriamiento por ascenso orográfico

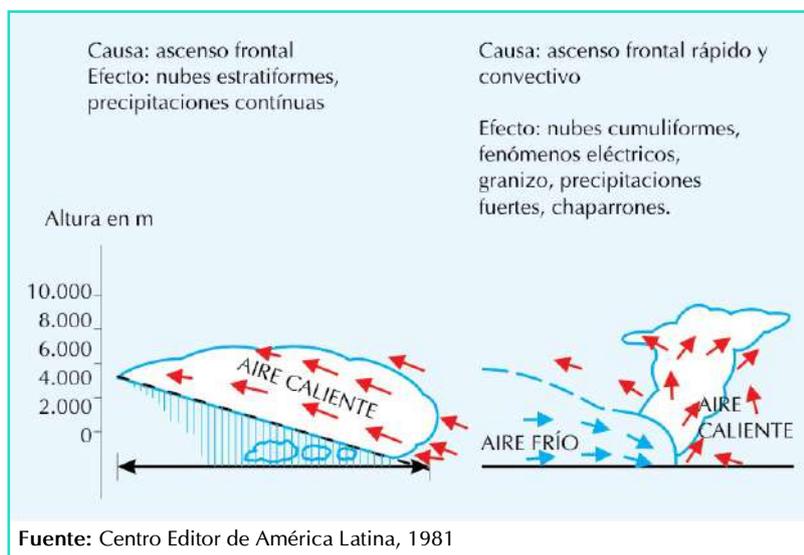


Figura 13 Enfriamiento por ascenso frontal

levantamiento de aire cálido sobre una masa de aire denso y frío. La velocidad de ascenso de la masa de aire caliente es relativamente baja. La precipitación puede extenderse de 300 a 500 km por delante del frente y es generalmente lluvia que varía entre ligera y moderada. La precipitación de frentes fríos es de corta duración, se forma cuando el aire cálido es obligado a ascender por una masa de aire frío en movimiento. Los frentes fríos se mueven más rápidamente que los frentes cálidos y sus superficies frontales son menos inclinadas. Como consecuencia de esto, el aire cálido se eleva más rápidamente y el monto de precipitación es, por lo general, mayor.

Las Figuras 11 a 13 ilustran los tres tipos de precipitación.

La medición de la cantidad de agua caída en una zona se realiza por medio de un instrumento que se llama pluviómetro (Figura 14) y se registra con los pluviógrafos (Figura 15). Se expresa en lámina de agua, comúnmente en milímetros (mm).

Todos los pluviómetros de una misma región deben estar instalados de manera comparable, evitando que el agua se pierda hacia el exterior del instrumento por salpicaduras, por efecto del viento o por evaporación (OMM, 1986). Existen normas internacionales para el emplazamiento de estos dispositivos, por lo que su instalación, control y mantenimiento debe ser realizado por técnicos especializados.



<http://www.meteomontserrat.com/instrumentos/pluvios.JPG>

**Figura 14** Pluviómetro



<http://www.meteored.com>

**Figura 15** Pluviógrafo

## b) Evaporación y evapotranspiración

Se define como evaporación al proceso físico por el cual el agua pasa del estado líquido al gaseoso y representa la tasa neta de transporte de vapor hacia la atmósfera.

El cambio de estado de líquido a vapor se debe a la radiación solar que brinda la energía necesaria para que las moléculas del agua cambien de estado. Además de la radiación solar, las variables meteorológicas que intervienen en la evaporación, particularmente de las superficies libre de agua, son la temperatura del aire, velocidad de viento, tensión de vapor ó humedad relativa del ambiente, determinando el poder evaporante de la atmósfera, que es la capacidad del aire que rodea a la superficie evaporante para admitir vapor de agua.

La evaporación total es la suma de la evaporación de agua libre y la *evapotranspiración*.

La evaporación puede ser de distintas procedencias: evaporación de superficie de agua libre, como ser lagos, tanques, cursos de agua, etc.; evaporación del agua del suelo y transpiración de plantas, que también toman agua del suelo por medio de sus raíces. Estas dos últimas son muy difíciles de cuantificar o estimar en forma separada, por lo tanto se engloban en una sola variable denominada evapotranspiración.

De la precipitación que llega al suelo desde la atmósfera, un gran porcentaje vuelve en forma de evaporación desde ríos, lagos, lagunas, océanos y mares y como evapotranspiración (evaporación desde el suelo y transpiración de las plantas). Otro porcentaje se infiltra y llegará quizás, según las condiciones del suelo, a alimentar su humedad y por percolación alimentará los acuíferos<sup>6</sup>. Otro porcentaje escurrirá sobre la superficie del terreno hasta alcanzar los cauces de los ríos y los mares, para completar así el ciclo hidrológico.

La evaporación es una variables fundamental del ciclo hidrológico, si se tiene en cuenta que aproximadamente el 70% del agua que precipita es devuelta a la atmósfera por dicho proceso.

La *Figura 16* muestra un tanque de evaporación, instrumento que se utiliza para medir la evaporación desde superficies de agua.

Dado que la evapotranspiración resulta la suma de los volúmenes de agua utilizados en los pro-

6. Formación geológica que contiene agua y permite que la misma circule en su interior en condiciones naturales, por lo que dicha agua puede ser explotada en cantidades significativas. Para más información consultar el Manual "Las Aguas Subterráneas" disponible en [http://www.sg-guarani.org/microsite/materiales/Manual\\_Proyecto\\_SAG.pdf](http://www.sg-guarani.org/microsite/materiales/Manual_Proyecto_SAG.pdf)



<http://www.geocities.com/sermetfav/pag-instrumento.htm>

**Figura 16** Tanque de evaporación clase "A"

cesos de evaporación del suelo y transpiración de las plantas, es lógico que muchos de los factores, principalmente los factores climáticos, que influyen en la cantidad de evaporación desde una superficie de agua libre, también afecten a la cantidad de evapotranspiración.

Por ejemplo, la intensidad de la radiación solar, la duración de la insolación, condiciones de vientos, humedad relativa, cobertura de nubes, presión atmosférica y otros. Además de los factores climáticos, los factores del suelo y la vegetación también gobiernan los procesos de evapotranspiración.

El tipo, color, densidad y estado de crecimiento de la planta afectan el poder reflectivo y por lo tanto la proporción de la radiación solar entrante y las componentes del intercambio de radiación neta. Similarmente el estado de crecimiento, la densidad y las formas de las plantas afectan a la turbulencia del aire circundante y al intercambio de agua entre la superficie de evaporación y la atmósfera.

Además la luz, el viento y otros factores influyen en la apertura y cierre de las estomas de las plantas de diferentes modos. Estos factores afectan la capacidad que poseen las plantas de transmitir agua desde el sistema de raíces hacia las hojas.

Los factores del suelo predominantes que afectan a la evapotranspiración, son aquéllos que influyen en las cantidades de agua disponible en la superficie del suelo y para las plantas.

Cuando la superficie del suelo esta húmeda, la evaporación está gobernada principalmente por las condiciones atmosféricas. Sin embargo,

cuando esta capa se seca, la tasa de evaporación decrece muy rápidamente y es mayor la influencia de las propiedades del suelo, tales como humedad relativa del aire del suelo, la conductividad capilar y la conductividad hidráulica de la capa superficial.

### c) Infiltración, percolación y aguas subterráneas

Se denomina *infiltración* al proceso de entrada de agua a través del suelo<sup>7</sup> proveniente de lluvia, derretimiento nival o irrigación.

Para que exista infiltración, debe existir:

- una fuente de abastecimiento de agua: lluvia, riego o agua acumulada en depresiones.
- un receptor de esa infiltración: el suelo, a través de su capacidad de almacenamiento.

Se debe tener en cuenta que el movimiento de agua en el suelo continúa aún cuando ha finalizado el proceso de la infiltración, ya que el agua infiltrada se redistribuye también lateralmente. Una vez que el agua atraviesa el suelo, el proceso se denomina *percolación*.

Según la distribución en profundidad del contenido de agua, es posible distinguir dos zonas en el ambiente subterráneo (*Figura 17*):

- Zona saturada*: está limitada superiormente por el nivel de agua. En esta zona el agua llena completamente todos los espacios (poros) existentes entre los materiales del suelo. Se trata del agua subterránea alojada en el acuífero freático<sup>8</sup>.
- Zona no saturada*: situada entre la superficie freática y la superficie del terreno. La porción superior es la más sometida a evapotranspiración. Está comprendida entre la superficie del terreno y los extremos radiculares de la vegetación (prácticamente es la capa de suelo). La zona inferior es la llamada franja capilar y es la transición a la zona saturada propiamente dicha.

7. El suelo es la primera capa de tierra debajo de la superficie del terreno, normalmente relacionada con la actividad de las raíces de la vegetación. Sufre la acción directa del clima del lugar.

8. Existen diferentes tipos de acuíferos. Para mayor información consultar el Manual "Las Aguas Subterráneas" disponible en [http://www.sg-guarani.org/microsite/materiales/Manual\\_Proyecto\\_SAG.pdf](http://www.sg-guarani.org/microsite/materiales/Manual_Proyecto_SAG.pdf).

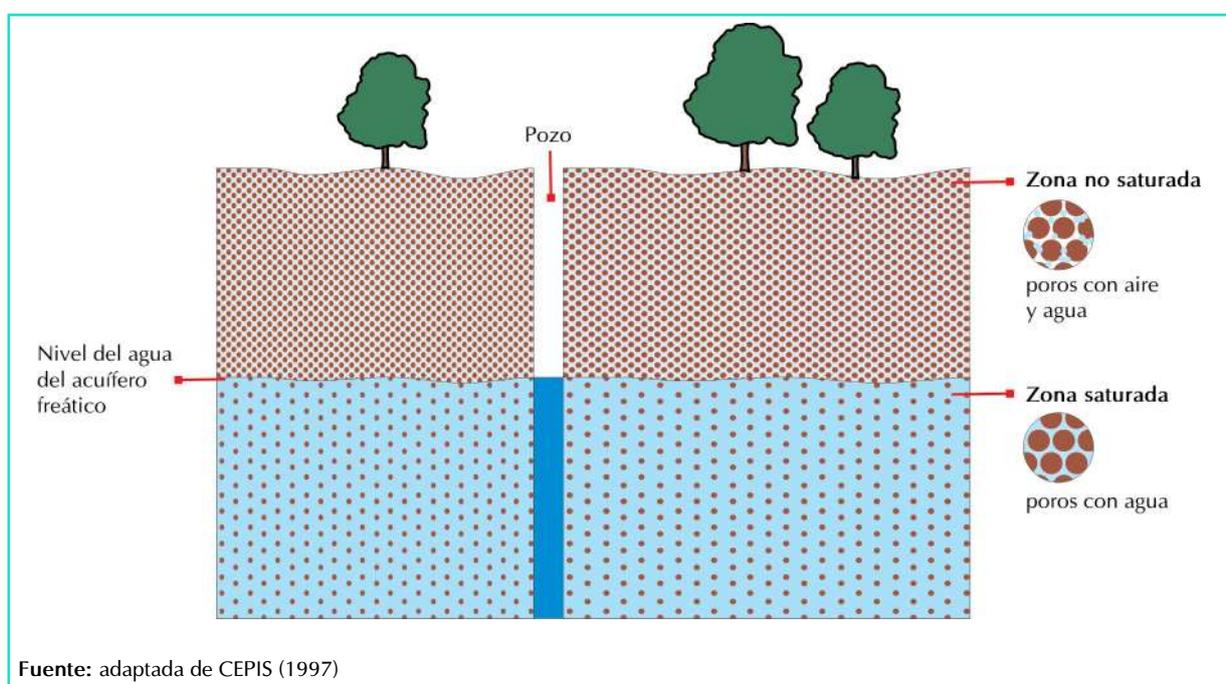
La medición de la profundidad del nivel de agua se realiza con una sonda como la que se presenta en la *Figura 18*. El registro sistemático de estas profundidades aporta importante información sobre las variaciones de la disponibilidad de agua en los reservorios subterráneos y sobre el movimiento del agua en los acuíferos (*escurrimiento subterráneo*).

#### d) Escurrimiento superficial, cuenca hidrográfica y aguas superficiales

Un río drena un área determinada que se denomina *área de captación o cuenca o cuenca hidrográfica* (*Figura 19*).

Los límites de esta área están definidos por zonas más elevadas del terreno que constituyen las divisorias de agua. El conjunto de todos los cursos de agua (ríos principales, afluentes, tributarios, arroyos, etc.) que confluyen en un curso de agua principal, se denomina *red de drenaje superficial*.

La Cuenca del Plata es un ejemplo de cuenca hidrográfica, donde los ríos Paraná, Uruguay y Paraguay son los principales tributarios al río de la Plata. A su vez, el río Paraná en su tramo medio, tiene importantes cursos que drenan su área de captación, como el río Salado y el Carcarañá en su margen derecha o el Arroyo



**Figura 17** Repartición de agua en el suelo.



**Figura 18** Medición de la profundidad del nivel de agua subterránea

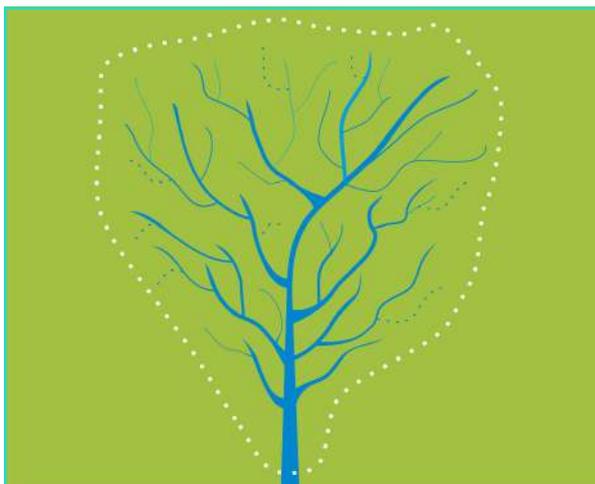


Figura 19 Cuenca hidrológica

Feliciano y el río Gualeguay en la margen izquierda.

La cantidad de agua expresada en volumen (litros o  $m^3$ ) que circula en un lugar de un río (sección) por unidad de tiempo (horas o segundos) se denomina *caudal*.

Las Figuras 20 y 21 muestran instrumentos de que se utilizan para estimar el caudal que está pasando por ese tramo.



Figura 20 Molinete. Con este dispositivo se calcula la velocidad del agua en distintos puntos de un tramo de río y con ello se estima el caudal que está circulando por este tramo.

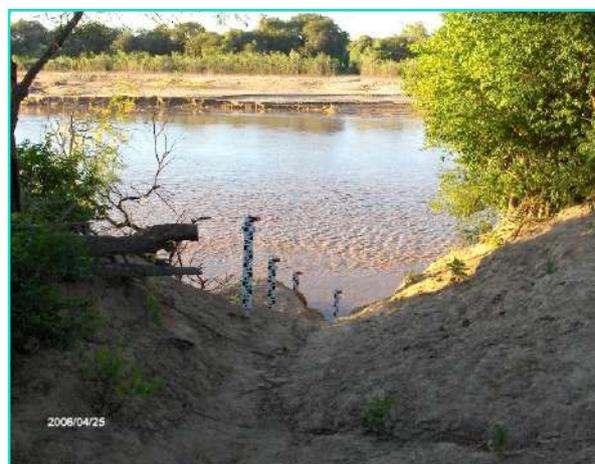
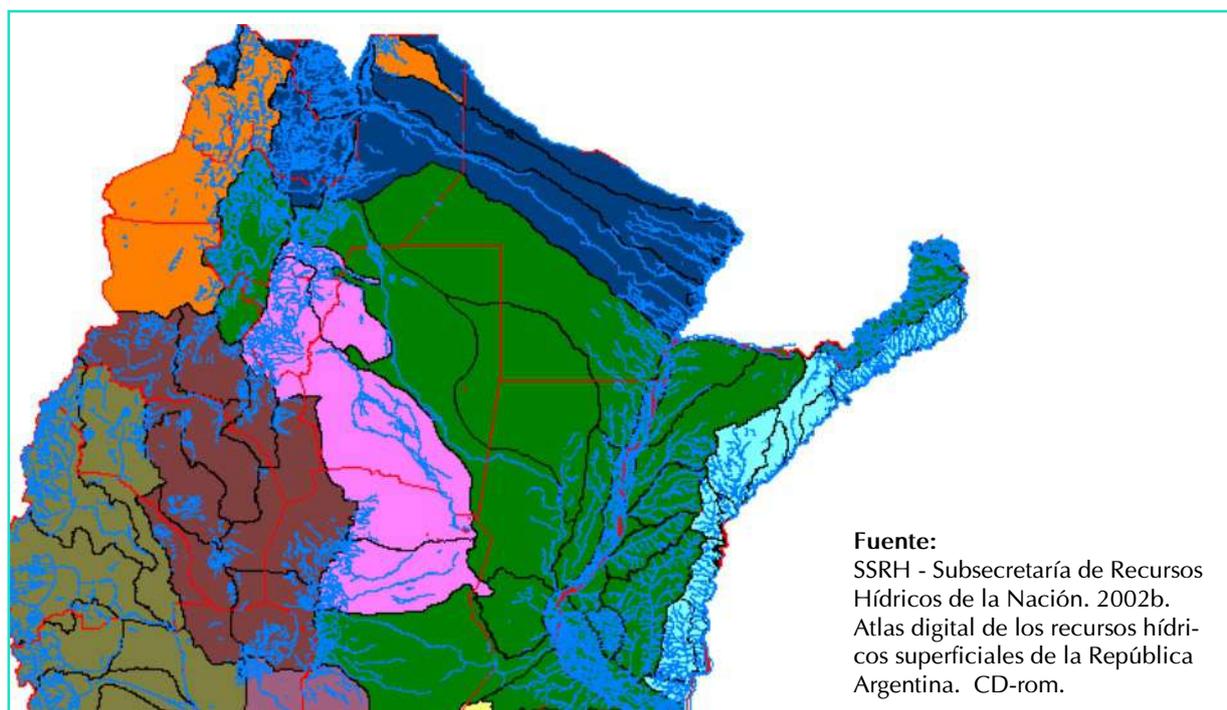


Figura 21 Escalas hidrométricas. Permite medir los niveles que alcanza el agua en una sección del río y estimar el caudal en ese tramo del curso de agua.



Fuente:  
SSRH - Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación. 2002b.  
Atlas digital de los recursos hídricos superficiales de la República Argentina. CD-rom.

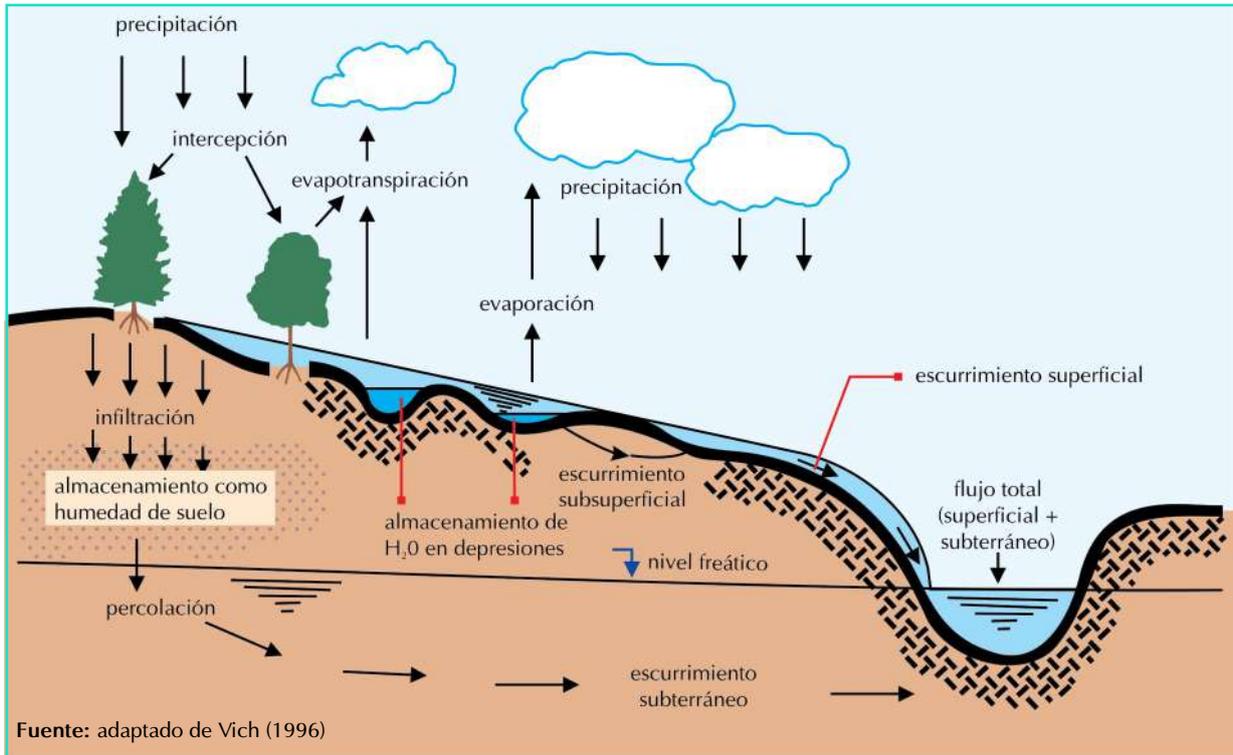


Figura 22 El ciclo hidrológico a nivel de cuenca