

HIDROLOGÍA

Prof. Ada Moreno Barrios

TEMA 2. ATMÓSFERA

➤ ¿Por qué estudiar la atmósfera en Hidrología?

Es de interés estudiar la atmósfera debido a que constituye un enorme depósito de vapor de agua, un vasto sistema de transporte y distribución del agua atmosférica, así como también porque representa un gran colector de calor (Ramírez, 2003).

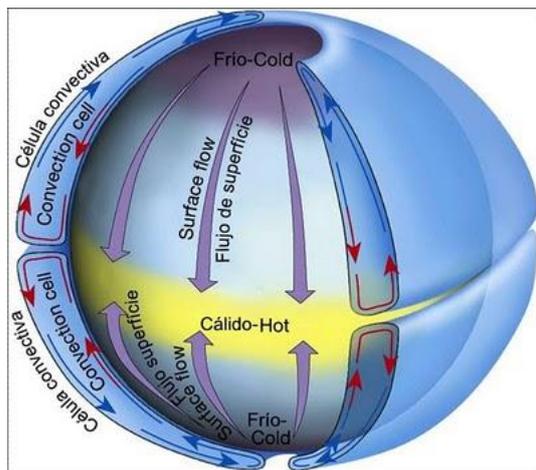
En este sentido, la atmósfera es objeto de estudio de una rama de la física conocida como meteorología, la cual trata de establecer la interrelación entre los parámetros del ciclo hidrológico tales como **viento**, precipitación, **temperatura**, presión y **humedad** (Guevara & Cartaya, 1991). De las variables anteriormente mencionadas, las que se estudiarán en la presente guía serán: (i) los vientos, (ii) la temperatura, y (iii) la humedad atmosférica.

Asimismo, la ocurrencia y distribución espacial de los procesos meteorológicos más importantes para la hidrología que son la precipitación y la evaporación, tienen lugar debido al establecimiento de un patrón generalizado de circulación atmosférica.

➤ Circulación atmosférica

Las dos fuerzas básicas para la ocurrencia de la circulación atmosférica resultan de la rotación de la Tierra y de la transferencia de calor entre el ecuador y los polos (Chow y otros, 1994).

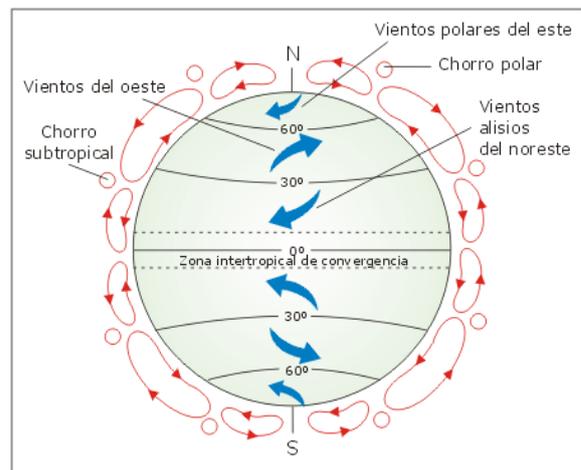
De esta manera se tiene que en las regiones ubicadas en las cercanías del ecuador, la radiación es más intensa que en las zonas vecinas a los polos, por lo que el aire se calienta más y tiende a ascender; mientras que el efecto contrario sucede en las regiones polares. Esto debería resultar en un movimiento superficial de los vientos que fluyen desde los polos hacia el ecuador (Figura 1a), sin embargo, debido al movimiento de rotación de la Tierra y al desigual calentamiento de su superficie, este patrón sufre ciertas modificaciones (Guevara & Cartaya, 1991). Las masas de aire calientes del ecuador, se enfrían a medida que ascienden y se mueven hacia los polos, dicho enfriamiento ocurre tan rápido que descienden a una latitud aproximada de 30°N en lugar de continuar viajando hacia los polos. Dicho descenso crea una zona de alta presión en la superficie de la Tierra (Figura 1b).



Fuente:

<http://cambioclimaticoenergia.blogspot.com/2010/12/1-a-circulacion-atmosferica-general.html>

(a)



Fuente:

http://www.bvsde.paho.org/cursoa_meteoro/lecc3/lec3_3.html

(b)

Figura 1. Circulación atmosférica

Es por esta razón que surgen tres celdas dentro del patrón real de circulación atmosférica. La *celda tropical (Hadley Cell)* se encuentra entre el ecuador y los 30° de latitud, en ella el aire caliente asciende en el ecuador, se mueve hacia los polos en las capas superiores, pierde calor y desciende hacia el suelo a una latitud de 30°, tal como se explicó anteriormente. En la *celda polar (Polar Cell)* el aire asciende a una latitud de 60° y fluye hacia los polos en las capas superiores, luego se enfría y se devuelve superficialmente hasta la latitud de partida. La *celda central (Mid-latitude Cell)* se mueve por fricción de las otras dos, en la que su aire superficial fluye hacia los polos (Chow y otros, 1994).

➤ Temperatura

La temperatura es una consecuencia directa de la insolación y de la radiación, y para efectos hidrológicos, su determinación es fundamental para la estimación de la evaporación (Guevara & Cartaya, 1991). La distribución de la temperatura no es uniforme ni espacial ni temporalmente, es por esta razón que varía según tres condiciones: (i) Con el tiempo, (ii) Con la ubicación geográfica, y (iii) Con la altura.

- Variación de la temperatura con el tiempo:

La variación de la temperatura a lo largo del año se debe a la ubicación de la tierra en la órbita celeste y a los consecuentes cambios en la incidencia de los rayos solares sobre la superficie del planeta; de allí que en las regiones ubicadas en latitudes mayores ocurran cuatro estaciones claramente definidas como Invierno, Verano, Otoño y Primavera. Sin embargo, por estar Venezuela ubicada tan cerca del ecuador, las variaciones estacionales de temperatura son poco notables, hasta el punto que se diferencian solo dos épocas: el verano o época de sequía, y el invierno o época de lluvias.

En otro orden de ideas, existe una ligera variación de temperatura durante el día, que se encuentra relacionada directamente con el cambio de intensidad de la radiación solar, ocasionando que ocurra una temperatura mínima diaria cerca de las 4 am y una máxima alrededor de las 2 pm (Figura 2). El retraso en la ocurrencia del valor máximo de temperatura diaria se debe a que la atmósfera solo absorbe el calor reflejado por la superficie terrestre, el cual puede variar dependiendo del grado de nubosidad existente en una determinada región (Ramírez, 2003).

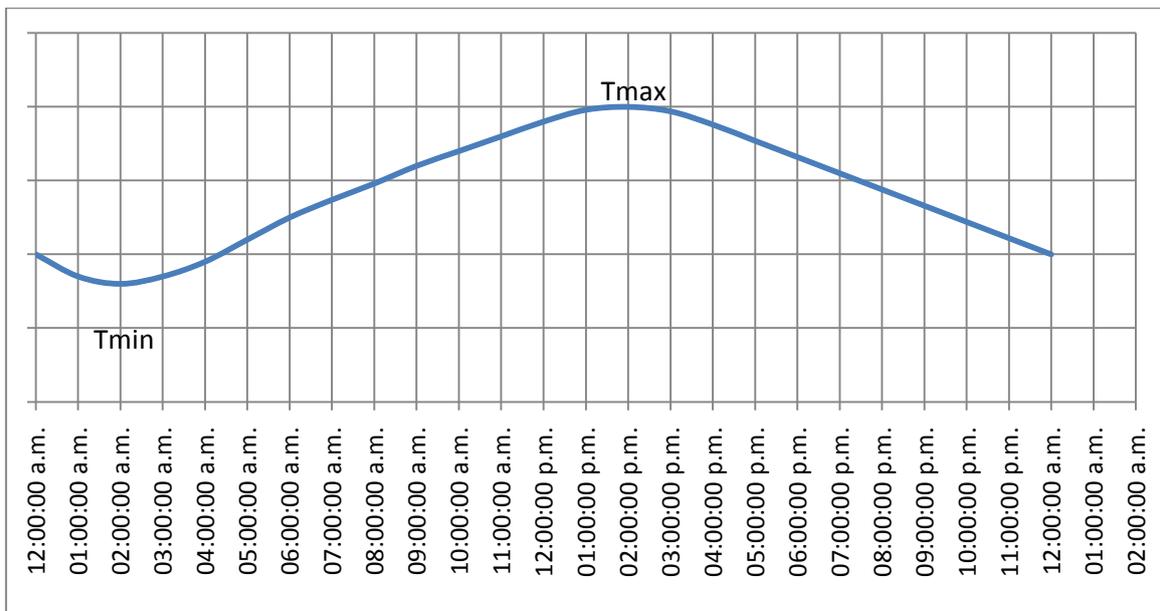


Figura 2. Variación diaria de la temperatura.

- Variación de la temperatura con la ubicación geográfica:

En este caso es necesario analizar dos aspectos que originan la variación de la temperatura en relación con la ubicación geográfica: (i) la latitud, y (ii) el efecto de “continentalidad”. En el primer caso la variación de la temperatura ocurre por el ángulo de incidencia de los rayos solares, los cuales son casi perpendiculares cerca del ecuador, y hacia los polos el ángulo se reduce notablemente; en esta condición se cumple que las mayores temperaturas ocurren más cerca del ecuador, mientras que las temperaturas más bajas se evidencian cerca de los polos. En cuanto a la segunda condición, la variación de temperatura se debe a la cercanía del mar, la cual tiende a suavizar las temperaturas por efecto de la circulación de masas de aire del mar a la tierra y viceversa, de la siguiente manera: a primeras horas del día, el agua se calienta más rápidamente que la tierra, esto hace que las masas de aire ubicadas por encima de su superficie se calienten, se eleven y sean sustituidas por masas de aire más frías provenientes de tierra adentro (Figura 3a); al anochecer el proceso se invierte y las masas de aire se desplazan del mar hacia la tierra (Figura 3b). Este fenómeno hace que las temperaturas máximas y mínimas diarias se nivelen y los climas de las zonas costeras son “suavizados” (Ramírez, 2003).

- Variación de la temperatura con la altura:

En general, se observa que el valor de temperatura disminuye a medida que la altura aumenta, originándose un gradiente vertical, que se define como la variación de la temperatura con la altitud en una atmósfera libre (Guevara & Cartaya, 1991).

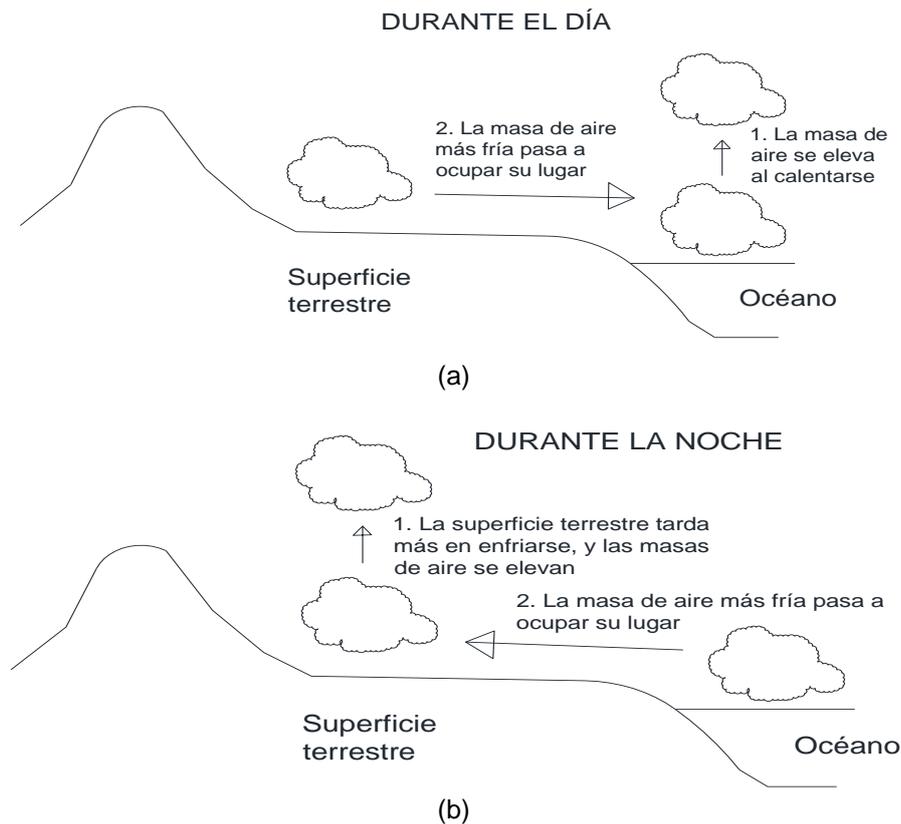


Figura 3. Efecto de Continentalidad.

Según Monsalve (2008) el decrecimiento de temperatura en la atmósfera de la tropósfera es de $0,65^{\circ}\text{C}$ por cada 100 m aproximadamente, aunque el valor de este gradiente depende del contenido de vapor de agua, tal y como se explica a continuación:

- ✓ *Gradiente Vertical de temperatura adiabática seca:* Se define como el gradiente de temperatura resultante de una compresión o expansión de aire no saturado. Si el volumen de aire baja, la presión atmosférica más alta del nivel inferior actúa para contraer el volumen, dicho trabajo de compresión se convierte en energía calórica que se manifiesta por aumento de temperatura (calentamiento dinámico), mientras que si la masa de aire sube, se expande por las presiones más bajas, donde el trabajo realizado toma energía del calor interno, ocurriendo enfriamiento dinámico. El gradiente vertical de temperatura adiabática seca es de $1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$.
- ✓ *Gradiente Vertical de temperatura adiabática saturada:* Cuando un volumen de aire saturado se eleva se expande y se enfría dinámicamente, dicho enfriamiento causa que las partículas de vapor de agua se condensen y resulta en una liberación de calor. Dicho calor reduce la tasa de enfriamiento del volumen ascendente. El gradiente vertical de temperatura adiabática saturada depende de la temperatura:
 - En aire saturado a 20°C es de $0,43^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$
 - En aire saturado a 0°C es de $0,65^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$
- ✓ *Gradiente Vertical de temperatura pseudoadiabática:* Cuando en un movimiento ascendente de un volumen de aire saturado ocurriese precipitación, la temperatura sufriría un enfriamiento

pseudoadiabático. Dicho gradiente es similar al gradiente de temperatura adiabática saturada.

➤ **Medición de la temperatura en Venezuela**

La medición de la temperatura en Venezuela se realiza con termómetros (de alcohol y mercurio) y termógrafos que miden en grados centígrados o Celsius (°C). Dichos aparatos son colocados dentro de casetas meteorológicas (Figura 4) que deben reunir las siguientes condiciones:

- Ser construidas con madera.
- Ser pintadas de color blanco.
- Tener ventanas en los cuatro lados, que permitan la correcta circulación del aire dentro de la caseta.
- Tener una pendiente mínima del techo igual a 2% para favorecer el desalojo del agua proveniente de la precipitación.
- La puerta de acceso para realizar las lecturas debe estar orientada hacia el norte.
- El piso de la caseta debe estar ubicado a una altura no menor de 1,2 m, colocando los ejes de soporte de los termómetros a 1,5 m del suelo.



Fuente: <http://meteohuelva.blogspot.com/2008/11/imagen-de-la-garita-meteorologica-de.html>

Figura 4. Caseta Meteorológica

Según Ramírez (2003) los aparatos que permiten medir la temperatura son los siguientes:

- Termómetro seco:



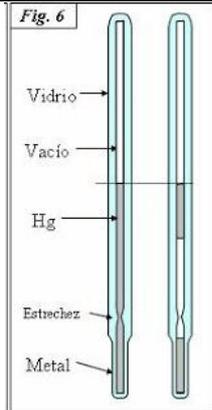
Fuente:

<http://cadecalciencia.blogspot.com/2011/05/salud-y-tecnologia.html>

Figura 5. Termómetro Seco.

El líquido del termómetro es mercurio, y tiene una escala graduada con precisión de 0,2 °C. Este termómetro mide la temperatura en cada instante y no hay que refijarlo después de cada lectura.

- Termómetro de máxima:

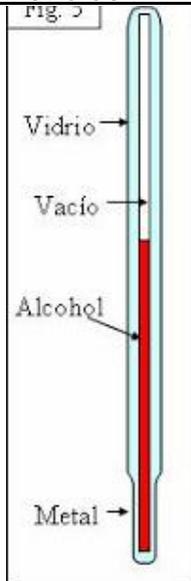


Fuente: <http://miyexi.blogspot.com/2011/02/analisis-del-termometro.html>

Figura 6. Termómetro de máxima.

El líquido del termómetro es mercurio, y tiene un estrangulamiento en la parte cercana al bulbo que impide que el mercurio regrese al depósito cuando se contrae por enfriamiento ambiental, de manera tal que la columna se rompe y el registro de la temperatura máxima se mantiene en el extremo más alejado del bulbo. Tiene una escala graduada con precisión de 0,5 °C. Este termómetro mide la temperatura máxima diaria y es necesario refijarlo después de cada lectura con movimientos firmes para unir nuevamente la columna rota de mercurio.

- Termómetro de mínima:



Fuente:

<http://cadecalciencia.blogspot.com/2011/05/salud-y-tecnologia.html>

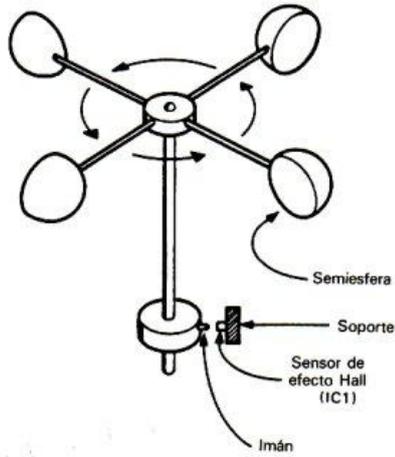
Figura 7. Termómetro de mínima.

El líquido del termómetro es alcohol, tiene un índice de porcelana (o metálico en algunos casos) y una escala graduada con precisión de 0,5 °C. En el momento en que ocurre la temperatura mínima, el alcohol se contrae permitiendo que el índice descienda; cuando la temperatura aumenta, el alcohol se dilata, pero no ejerce suficiente fuerza para elevar el pesado índice. Por lo que éste queda marcando la mínima temperatura con el extremo que se encuentra más alejado del depósito de alcohol. Este termómetro mide la temperatura mínima diaria y es necesario refijarlo después de cada lectura, inclinando el bulbo hacia arriba, para que el índice se desplace dentro del alcohol y coincida con el extremo más alejado del bulbo.

➤ **El Viento**

El viento se produce por la diversidad de presión y temperaturas en la superficie de la Tierra, y se manifiesta como el movimiento de las masas de aire. Es un factor muy importante relacionado con otros parámetros hidrometeorológicos, tales como la evaporación y la precipitación (Guevara & Cartaya, 1991). Desde el punto de vista práctico es necesario conocer la intensidad y dirección del viento, lo que permitirá diseñar obras civiles de gran altura: torres, presas de los embalses, galpones, entre otras.

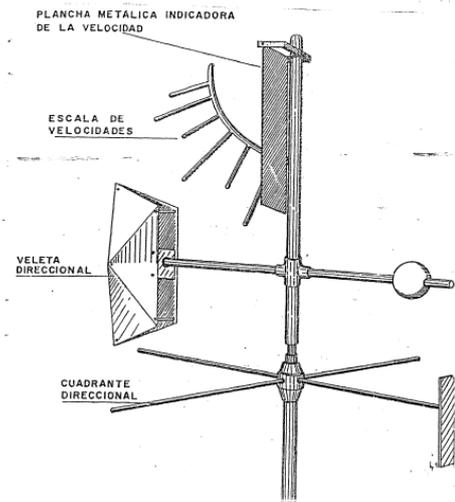
La dirección del viento se refiere a la orientación de donde proviene la masa de aire, la cual se determina mediante una veleta, mientras que la intensidad es la magnitud del viento, que se mide con un anemómetro (Figura 8a) o la veleta anemométrica (Figura 8b).



Fuente:

<http://miajas.com/intercom/Anemometro/videoVeleta.htm>

Figura 8. Anemómetro de copas



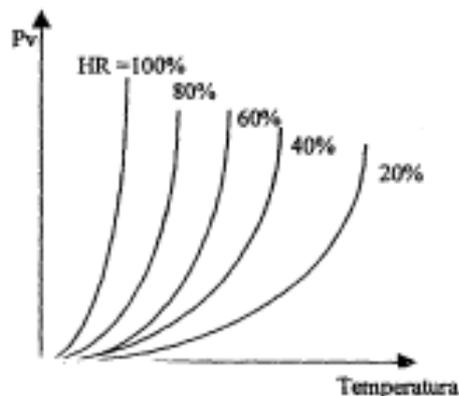
Fuente: Ramírez, 2003

Figura 9. Veleta Anemométrica

➤ Humedad Atmosférica.

Es la cantidad de vapor de agua existente en un instante dado en la atmósfera en un punto en particular. Dicho valor es función de la temperatura.

La presión de vapor es la presión parcial ejercida por las moléculas de vapor de agua existentes en un espacio determinado. La misma puede ser medida como longitud de fluido (cm o mm de mercurio) o en milibares. Para aire frío y seco comúnmente se tiene una presión de vapor de 0,013 cm de Hg, mientras que para aire húmedo y cálido será de 2 cm de Hg. La máxima presión de vapor posible corresponde a la de un espacio saturado, llamada Presión de Vapor de Saturación, la cual tiene una íntima relación con la temperatura y el contenido de humedad (Figura 10).



Fuente: Ramírez, 2003

Figura 10. Relación de la presión de vapor con la temperatura y el contenido de humedad (HR)

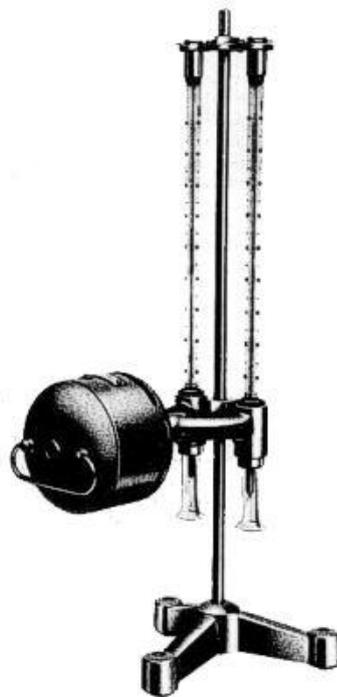
- Instrumentos para medir la humedad
 - ✓ *Hidrómetro de cabellos*: Su elemento sensible es un haz de cabello humano que tiene la propiedad de alargarse o contraerse según la humedad aumenta o disminuye (Ramírez, 2003).



Fuente: <http://www.casaclima.com/tienda-a/3518H/ficha/Higr%C3%B3metro-Barigo-3518H.html>

Figura 11. Hidrómetro de cabello.

- ✓ *Psicrómetro*: Consta de dos termómetros, uno seco y otro húmedo cuya ampolla está recubierta con muselina mojada. Cuando el ambiente está saturado (Humedad relativa de 100%) no existirá evaporación en la muselina y ambos termómetros registrarán la misma temperatura; en cambio, cuando el ambiente no está saturado (Humedad relativa inferior al 100%) ocurrirá cierta evaporación en la muselina lo que conllevará a una disminución en la temperatura registrada por el termómetro húmedo. La diferencia de lecturas entre ambos termómetros se conoce como “depresión de ampolla húmeda” o “depresión psicrométrica”.



Fuente:

http://www.scv.7p.com/Meteorologia/psicrometro_august.htm

Figura 12. Psicrómetro tipo August.



Fuente:

<http://www.monografias.com/trabajos82/termometria-densitometria/termometria-densitometria2.shtml>

Figura 13. Psicrómetro tipo Assman.

- Estimación empírica de la presión de vapor de agua:

La presión de vapor de agua e puede estimarse empíricamente a través de la ecuación psicrométrica experimental:

$$e = e_s - 0,00066P(T - T_w)(1 + 0,00115T_w)$$

En donde e es la presión de vapor a una temperatura T , e_s es la presión de vapor de agua a saturación a una temperatura T_w , y P es la presión atmosférica. En esta fórmula las presiones se trabajan en milibares, mientras que las temperaturas se hacen en °C.

Asimismo e_s se estima a través de la siguiente ecuación:

$$e_s = 33,8639((0,00738T_w + 0,8072)^3 - 0,000019(1,8T_w + 48) + 0,001316)$$

Bibliografía

Chow, V. t., Maidment, D., & Mays, L. (1994). *Hidrología Aplicada*. Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw Hill.

Guevara, E., & Cartaya, H. (1991). *Hidrología: Una Introducción a la ciencia Hidrología Aplicada*. Valencia, Venezuela: Universidad de Carabobo.

Monsalve, G. (2008). *Hidrología en la ingeniería*. Bogotá, Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

Ramírez, M. (2003). *Hidrología Aplicada*. Mérida, Venezuela: Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes.