

# Capítulo 3.

## Humedad

---

3.1 Definición

3.2 Las nubes

3.3 Cambios de estado

3.4 Comportamiento de la humedad relativa vs. Temperatura

## 3.1 Definición

La humedad es la cantidad de agua presente en la atmósfera. En la tropósfera, el aire siempre contiene agua en mayor o menor medida y puede encontrarse en cualquiera de sus tres estados: sólido (cristales de hielo), líquido (gotas condensadas) y gaseoso (vapor de agua). En aeronáutica esto es importante, ya que los diferentes estados pueden dar lugar a hidrometeoros como nubes, niebla, neblina, lluvia, llovizna, rocío, escarcha, nieve y granizo.

### 3.1.1 Humedad relativa

Es la relación entre la cantidad de vapor real que contiene el aire y la cantidad de vapor que el aire es capaz de contener a cierta temperatura. A mayor temperatura, más capacidad de contener agua. La unidad de medida es el porcentaje.

### 3.1.2 Punto de rocío

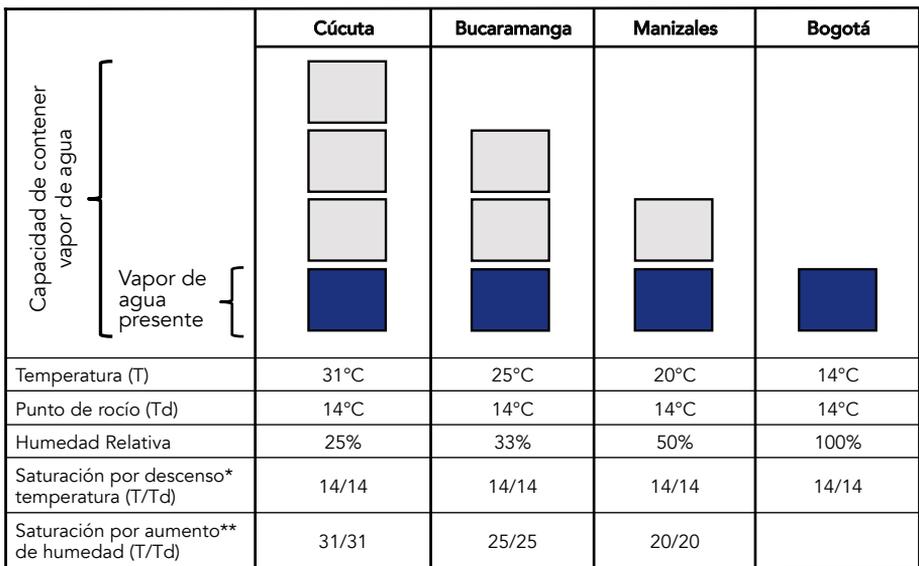
Es la temperatura a la que el aire debe enfriarse a presión constante para que se sature<sup>10</sup> y es un buen indicativo de la humedad existente en el aire. Cuanto mayor es la diferencia entre la temperatura del aire y su punto de rocío, menor será la cantidad de agua presente en la masa de aire. Por el contrario, cuando el punto de rocío y la temperatura del aire se acercan, se considera que la masa de aire es mucho más húmeda –tiene mayor contenido de agua– y se acerca a la saturación.

A modo de ejemplo, como una manera de entender la capacidad del aire caliente para contener agua y su relación con la saturación, se presenta la figura 18. Allí la ciudad con la temperatura más alta –Cúcuta– tiene cuatro cuadros de capacidad para contener agua, pero sólo tiene uno lleno, por eso su humedad relativa es del 25 % (1/4 de su capacidad), Bucaramanga 33 % (1/3 de su capacidad), Manizales 50 % (1/2 de su capacidad) y Bogotá 100 % (toda su capacidad). Aunque las cuatro ciudades tienen la misma cantidad de agua, su humedad relativa es diferente; esto quiere decir que la humedad relativa no es un buen indicador del contenido de vapor de agua en la atmósfera.

Según el ejemplo, Cúcuta tiene dos formas de alcanzar la saturación, la primera es la llegada adicional de vapor de agua a la masa de aire (pasar de 31/14 a 31/31) y la segunda, perder capacidad de contener agua mediante el enfriamiento (pasar de 31/14 a 14/14). En la práctica, las dos temperaturas se encuentran en puntos intermedios, sobre todo en las noches, cuando se produce un descenso en el ciclo diario de la temperatura.

<sup>10</sup> El aire está saturado cuando contiene la máxima cantidad de vapor de agua posible.





\*La temperatura de Cúcuta, Bucaramanga y Manizales disminuye hasta 14°C

\*\* La temperatura del punto de rocío aumenta hasta alcanzar la temperatura de la ciudad

**Figura 18.** Influencia de la temperatura en la humedad del aire.

**Fuente:** elaboración propia.

### 3.1.3 Saturación y condensación

La saturación se presenta cuando la parcela de aire se enfría de tal manera que su temperatura se iguala a la temperatura del punto de rocío, de forma tal que el volumen de aire contiene la mayor cantidad de vapor de agua posible, o cuando la masa de aire recibe mayor humedad, alcanzando igualmente la mayor cantidad de vapor de agua que el volumen de aire puede contener.

La condensación se produce cuando el aire ya está saturado y el vapor de agua cambia de estado gaseoso a líquido, da origen a hidrometeoros como las nubes, la niebla, neblina y el rocío.

## 3.2 Las nubes

Son la manifestación visible del vapor de agua presente en la atmósfera. La presencia de una nube tiene implícita la saturación y la condensación del agua. A medida que una parcela de aire se calienta en superficie y asciende adiabáticamente, se enfría y pierde capacidad para retener el agua, lo cual origina la saturación y posterior condensación.

Las nubes están constituidas por diminutas gotas de agua expuestas a constantes fuerzas y corrientes al interior de la nube, de tal manera que impactan unas con otras aumentando de tamaño y de peso hasta el punto que no logran continuar suspendidas en el aire y se precipitan.



En el trópico, la mayor parte de las nubes se forman por calentamiento del aire en superficie y su tendencia a elevarse siguiendo el gradiente adiabático seco de temperatura hasta el nivel de condensación, tal como se muestra en la figura 19. En Colombia, por ejemplo, el aire cercano al suelo se calienta rápidamente debido al calor irradiado por el Sol, se vuelve más liviano que el aire que le rodea, asciende, se condensa y forma nubes, pero cuando las corrientes ascendentes son muy fuertes y hay bastante concentración de humedad, se forman nubes de desarrollo vertical.

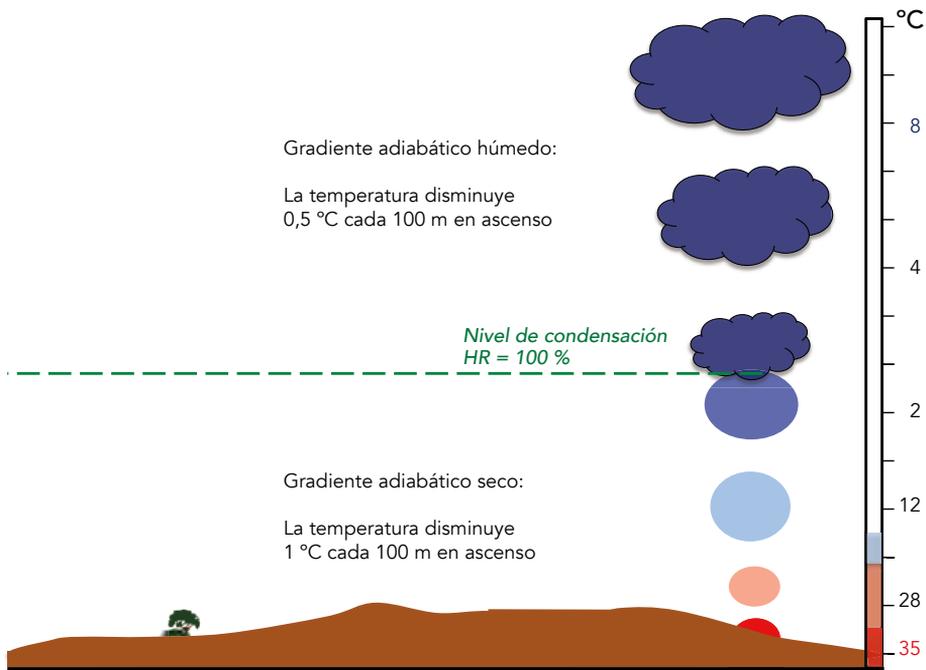


Figura 19. Proceso de formación de nubes.

Fuente: elaboración propia.

### 3.2.1 Tipos de nubes según su altura

La WMO (s.f.) realiza una extensa clasificación de nubes (figura 20), la cual presenta algunas variaciones de acuerdo con los centros meteorológicos de cada país. En Colombia, por ejemplo, se discute si podrían presentarse nubes de tipo nimboestrato y cuál sería su altura; algunos autores las clasifican como nubes bajas o medias. En la Fuerza Aérea Colombiana, se utiliza la clasificación de la tabla 6.



Tabla 6. Clasificación del tipo de nubes según su altura.

| Bajas<br>0 – 2 km<br>0 – 6 000 ft  | Medias<br>2 km – 6 km<br>6 000 ft – 20 000 ft                | Altas<br>> 6 km<br>> 20 000 ft                         | Desarrollo Vertical<br>~0,5 km – 20 km<br>~1 500 ft – 66 000 ft |
|--|--|--|---|
| Estratos (St)<br>Estratocúmulos (Sc)<br>Nimboestratos (Ns)<br>Cúmulos (Cu) | Alto-cúmulos (Ac)<br>Altoestratos (As)<br>Nimboestratos (Ns) | Cirros (Ci)<br>Cirrocúmulos (Cc)<br>Cirroestratos (Cs) | Torrecúmulos (TCU)<br>Cumulonimbos (Cb)                         |

Fuente: Modificado de WMO (s.f).

**a. Nubes bajas**

**Estratos:** no tienen una estructura ni forma definida. Presentan manchones de diferente opacidad y coloración. Su bajo espesor las hace poco sensibles a la acción del viento, así que su ciclo de vida puede ser más prolongado, permaneciendo activas durante la mayor parte del día.

**Estratocúmulos:** simulan amplias ondulaciones parecidas a cilindros alargados y abultados como bancos de gran extensión con diferentes intensidades de forma y coloración. Rara vez presentan precipitación.

**Nimboestratos:** son muy extensas y de color negro grisáceo. Algunos autores los clasifican dentro de las nubes medias y aún se discute si en Colombia pueden presentarse este tipo de nubes.

**Cúmulos:** presentan un tamaño extenso en la vertical con un color entre blanco y gris. En la parte superior se observan protuberancias que se deforman continuamente, normalmente se asocian a buen tiempo, pero pueden dar lugar a torrecúmulos por condiciones de humedad y corrientes ascendentes.

**b. Nubes medias**

**Alto-cúmulos:** presentan un aspecto grumoso, de tamaño y forma irregular con amplias ondulaciones en su parte inferior. Tienden a estar agrupadas y su diferente espesor es fácilmente distinguible en las imágenes satelitales.

**Altoestratos:** son densas y con apariencia en forma de velo con manchones irregulares. Generalmente se asocian con llovizna persistente y no poseen la forma grumosa de las formaciones tipo cúmulos.

**c. Nubes altas**

**Cirros:** son muy blancas, transparentes y sin sombras, con aspecto de filamentos largos y delgados. Poco influyen en la planeación de operaciones aéreas.

**Cirrocúmulos:** Son totalmente blancas y sin sombras. Forman una capa con arrugas finas y contornos redondeados como copos de algodón.

**Cirroestratos:** tienen la apariencia de un velo, siendo difícil distinguir detalles de estructura. Sus bordes tienen límites definidos y regulares. Pueden producir un fenómeno óptico llamado halo, que se percibe como un círculo luminoso alrededor del Sol o de la Luna.



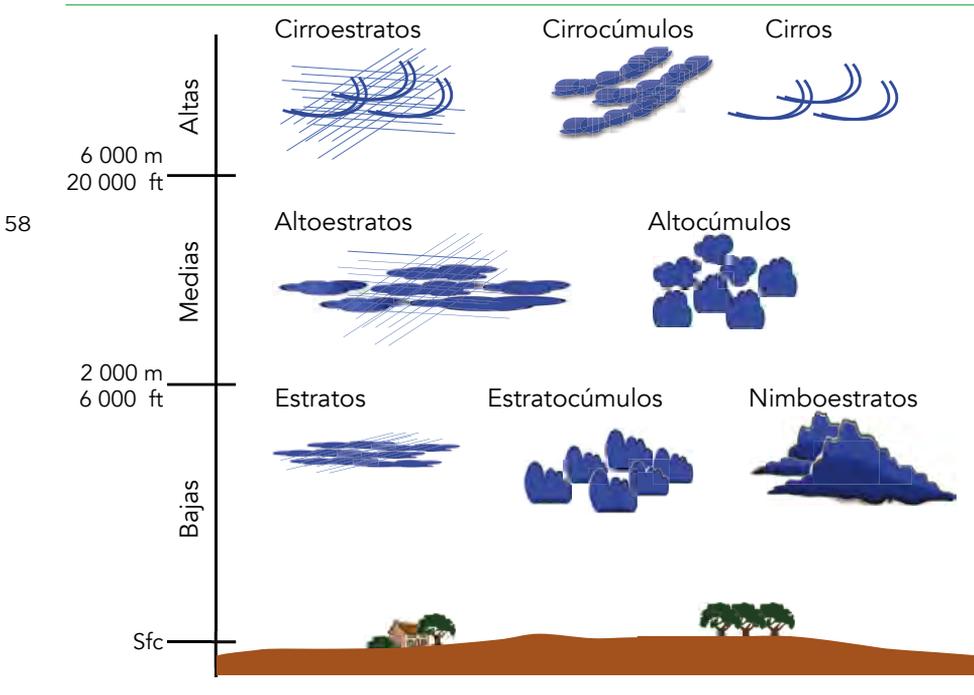


Figura 20. Nubes bajas, medias y altas.

Fuente: elaboración propia.

Para una correcta y efectiva clasificación de nubes utilizando otro tipo de características e imágenes reales, puede consultarse el atlas internacional de nubes de la WMO (s.f.).

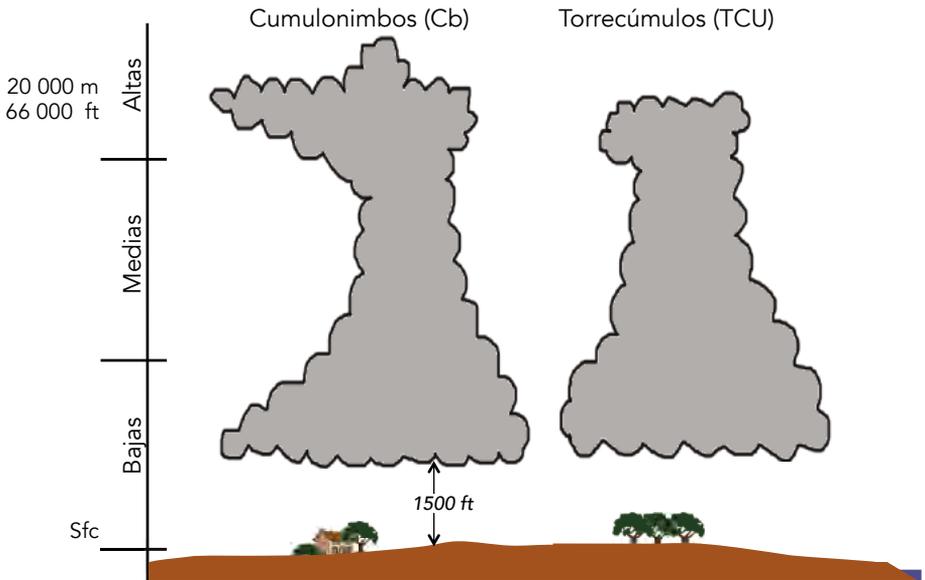
#### d. Nubes de desarrollo vertical

Las nubes de desarrollo vertical son sin duda las nubes más peligrosas para la aviación. Barrero (1997) describe su experiencia con este tipo de nubes mientras pilotaba el avión de combate FAC A-37B: “Se aprecia su inmenso tamaño que parecía no tener límite, cubría el cielo de un lado a otro frente al piloto y hacia arriba no terminaba, era deforme y tal vez lleno de sorpresas, una vez adentro parecía un vientre convulsionado de algún monstruo del espacio”.

**Torrecúmulos:** su extensión vertical varía entre los 12 km, su aspecto es generalmente gris oscuro, está compuesto por gotas de agua y cristales de hielo en alturas por debajo de 0 °C. Las corrientes ascendentes superan los 20 kt causando turbulencia entre moderada y severa, así como engelamiento moderado. Se diferencia del Cumulonimbos porque aún no ha alcanzado la máxima extensión vertical y no tiene yunque.

**Cumulonimbos:** Están formados por una columna de aire cálido y húmedo que se eleva en forma de espiral rotatorio. se caracteriza por un yunque bien definido y fuertes protuberancias centrales que sobrepasan su altura máxima. Su base suele encontrarse a menos de 2 km de la superficie y su tope puede alcanzar unos 15 a 20 km de altura en el trópico, producen lluvias intensas, tormentas eléctricas y granizo. Se pueden formar aisladamente, en línea organizada de tormenta (línea de turbonada) y en grupos redondeados o células (Sistemas Convectivos de Mesoescala). Causan turbulencia y engelamiento fuerte.





**Figura 21.** Nubes de desarrollo vertical.

**Fuente:** elaboración propia.

### 3.2.2 Tipos de nubes según su forma

Es otra manera de clasificar las nubes. Howard (1803) y WMO (s.f.) presentan los siguientes tipos de nubes de acuerdo con su forma:

**Cirriforme:** sólo se encuentran después de los 6 km, son nubes altas de forma alargada y aspecto fibroso formadas por cristales de hielo. Incluyen a los cirros, cirrostratos y cirrocúmulos.

**Estratiforme:** tienden a cubrir uniformemente el cielo simulando una especie de velo construido con varias capas grises. Incluyen a los estratos, nimbostratos, altoestratos y cirrostratos.

**Cumuliforme:** son nubes de desarrollo vertical de aspecto denso y una base bien definida. Son de color blanco y blanco grisáceo. Incluyen a los cúmulos, cumulonimbos, stratocúmulos, altocúmulos y cirrocúmulos.

## 3.3 Cambios de estado

Por variaciones de la temperatura, a diferencia de los otros gases atmosféricos, el agua siempre está cambiando de estado (tabla 7). Se define calor latente como la energía necesaria que requiere el agua para cambiar de estado.

Tabla 7. Cambios de estado del agua.

| Fases del agua | Inicial | Final   | Calor latente         |
|----------------|---------|---------|-----------------------|
| Fusión         | sólido  | líquido | Absorbe calor latente |
| Evaporación    | líquido | gaseoso |                       |
| Sublimación    | sólido  | gaseoso |                       |
| Condensación   | gaseoso | líquido | Libera calor Latente  |
| Solidificación | líquido | sólido  |                       |
| Cristalización | gaseoso | sólido  |                       |

Fuente: elaboración propia.

## 3.4 Comportamiento de la humedad relativa vs. temperatura

La humedad relativa y la temperatura tienen un comportamiento unimodal durante el día. Esto quiere decir que tienen un máximo y un mínimo, encontrando que a mayor temperatura, menor humedad relativa. Eso explica por qué la humedad relativa se incrementa en horas de la noche cuando la temperatura es más baja.

La figura 22 muestra el comportamiento horario de estas dos variables en la estación meteorológica ubicada en el aeródromo El Dorado (Bogotá), utilizando los primeros tres días de enero de 2010 e iniciando a las 07:00 hora local.

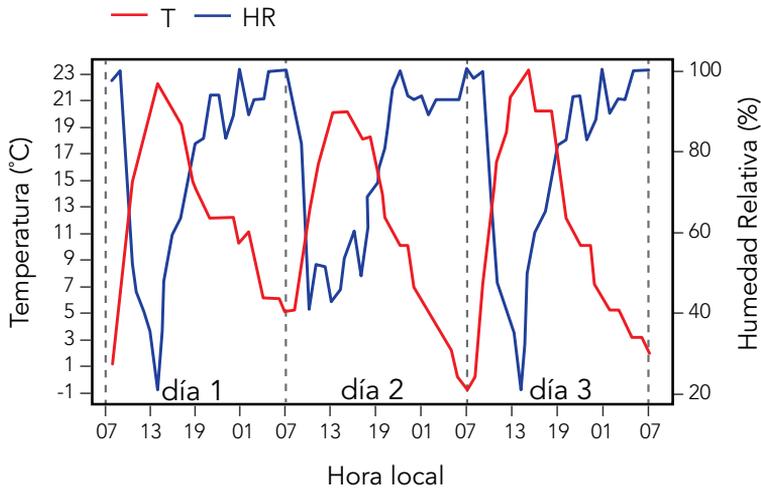


Figura 22. Temperatura vs. humedad relativa.

Fuente: elaboración propia.



La humedad es una variable meteorológica que afecta enormemente la operación de las aeronaves, especialmente en su fase de aproximación y despegue por estar estrechamente vinculada con fenómenos meteorológicos que producen baja visibilidad. Conceptos y casos prácticos de aplicación aeronáutica podrán ser consultados en el capítulo 11, correspondiente a peligros meteorológicos–baja visibilidad.



