

# Unidad 3

**Variables meteorológicas clave: precipitación, temperatura, viento, humedad relativa y radiación.**

**Procesos, medición y análisis espacio-temporal**



## Precipitación :



- La precipitación comprende todas las formas de agua que llegan a la superficie desde la atmósfera, incluyendo la lluvia, la nieve, el granizo, el rocío y la escarcha.
- Toda el agua entra en la fase terrestre del ciclo hidrológico a través de la precipitación.
- Por lo tanto, para evaluar, predecir y pronosticar las respuestas hidrológicas, los hidrólogos deben comprender cómo se distribuyen en el espacio y el tiempo la cantidad, la intensidad, la duración y la calidad de la precipitación:

La precisión de los pronósticos de la respuesta hidrológica no puede ser mejor que la precisión de las evaluaciones de la precipitación (Fekete et al., 2004).



- Dado que todo el ciclo hidrológico es impulsado en esencia por la precipitación, esta debe considerarse el componente principal. De hecho, es un hecho evidente que, donde no hay precipitación, tampoco hay un ciclo hidrológico significativo.
- El estudio detallado de la precipitación y de todos sus aspectos corresponde propiamente al ámbito de la meteorología. En hidrología, la precipitación es de interés principalmente después de que alcanza la superficie del suelo, y esto se refleja en la organización del curso.
- Sin embargo, para comprender mejor la ocurrencia y distribución de la precipitación, así como sus escalas temporales y espaciales, también es útil tener conocimientos, al menos básicos, sobre los mecanismos de su generación y sus principales tipos.





10 000 km

Exosfera

690 km

Termosfera



Transbordador espacial

Aurora

100 km (Línea de Kármán)

85 km

Mesosfera

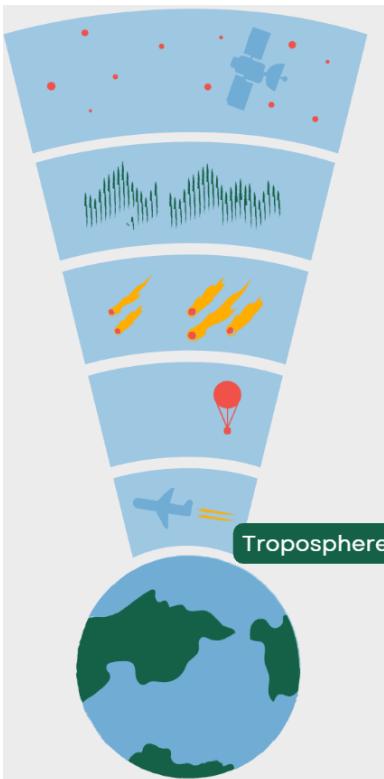
Meteoros

50 km

Estratosfera

Troposfera

Monte Everest



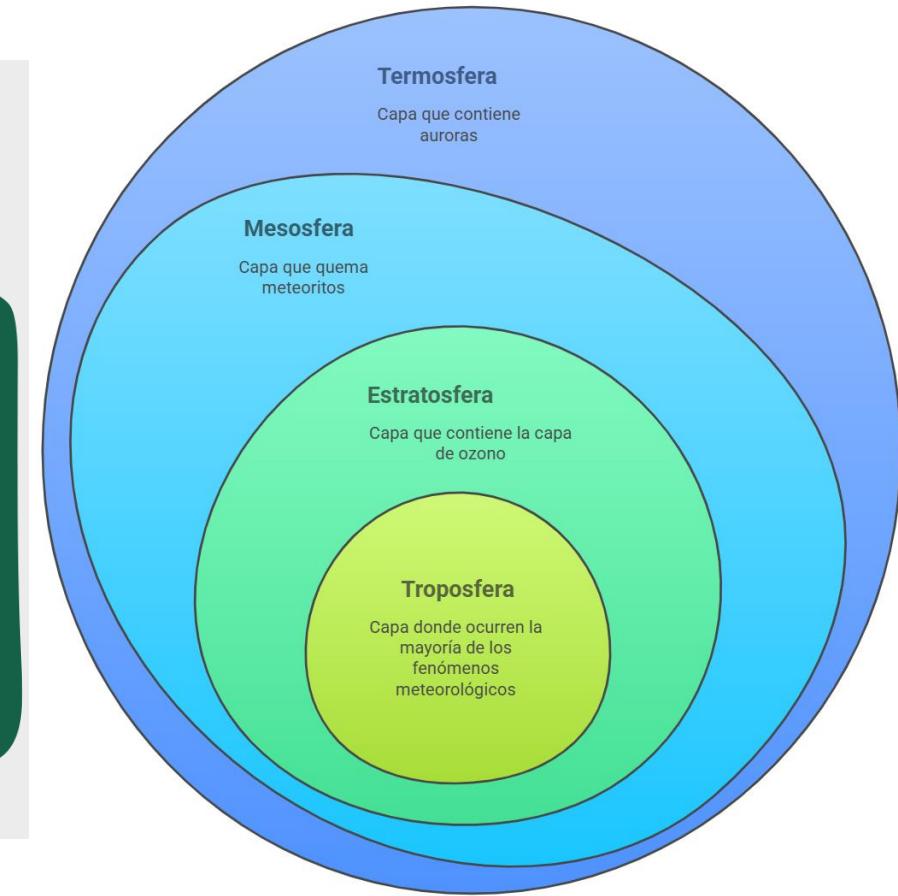
# La Atmósfera Terrestre

1

Es la capa gaseosa que envuelve la Tierra.

2

Casi todos los fenómenos meteorológicos ocurren en su capa más baja, la troposfera. Esta contiene aproximadamente el 99% del vapor de agua de la atmósfera.





# FORMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN

## Mecanismos

Varios procesos ocurren conjuntamente en la formación de la precipitación. Estos incluyen:



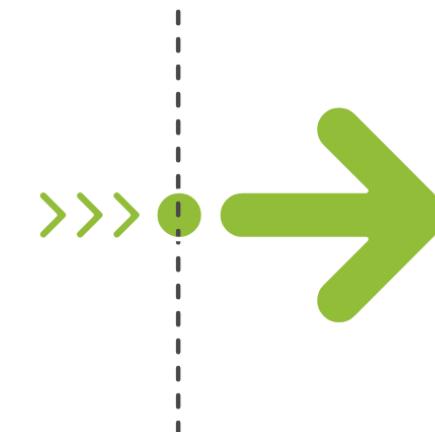
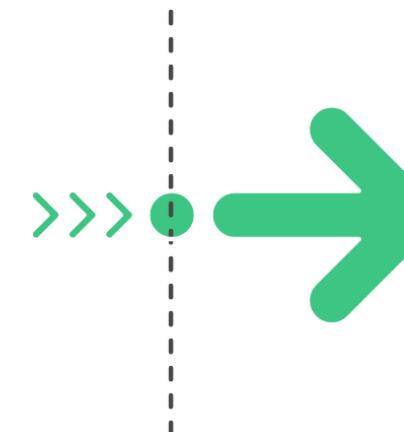
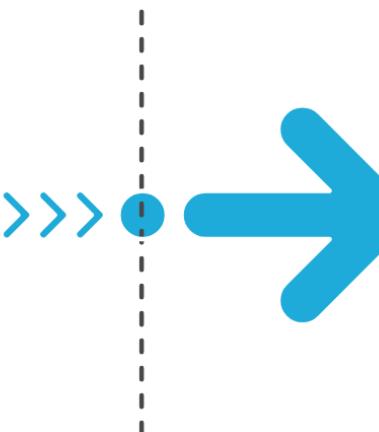
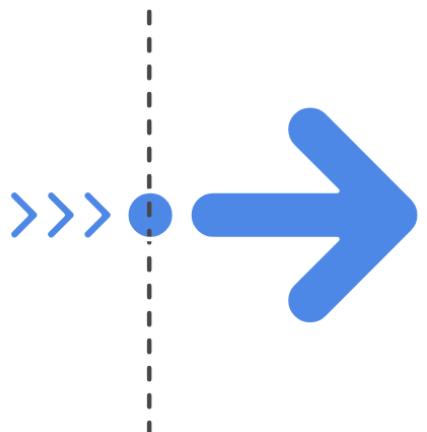
### Enfriamiento del Aire

El aire se enfria hasta el punto de rocío



### Crecimiento de Gotas

Las gotas o cristales crecen en tamaño



### Condensación

El vapor de agua se condensa en cristales de hielo y gotas



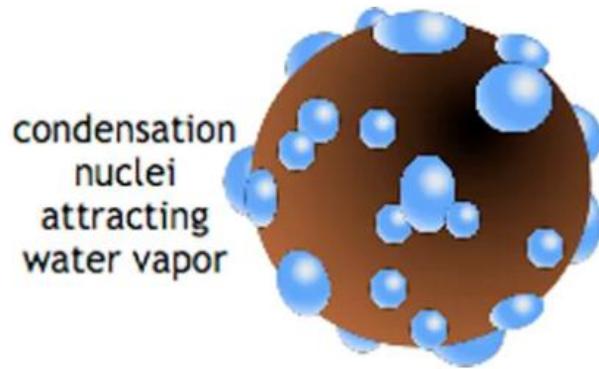
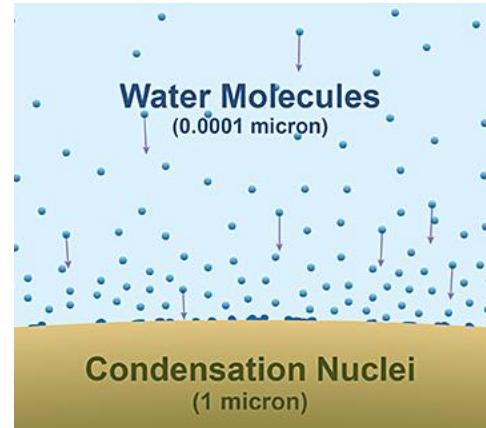
### Suministro de Aire Húmedo

El aire húmedo se mueve hacia las áreas donde ocurren estos procesos

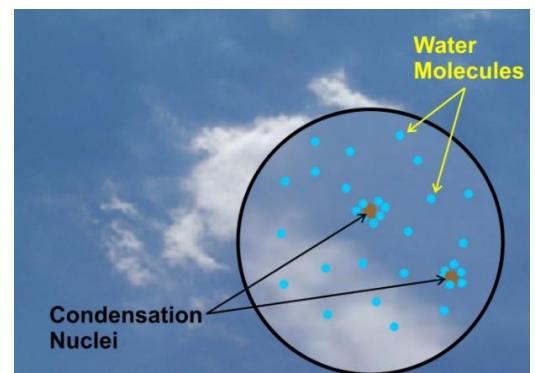


## FORMACIÓN DE LAS NUBES

Las nubes se forman cuando el vapor de agua se condensa o sublima en pequeñas gotas de agua o cristales de hielo sobre núcleos de condensación/congelación en la atmósfera, formando un conjunto visible.



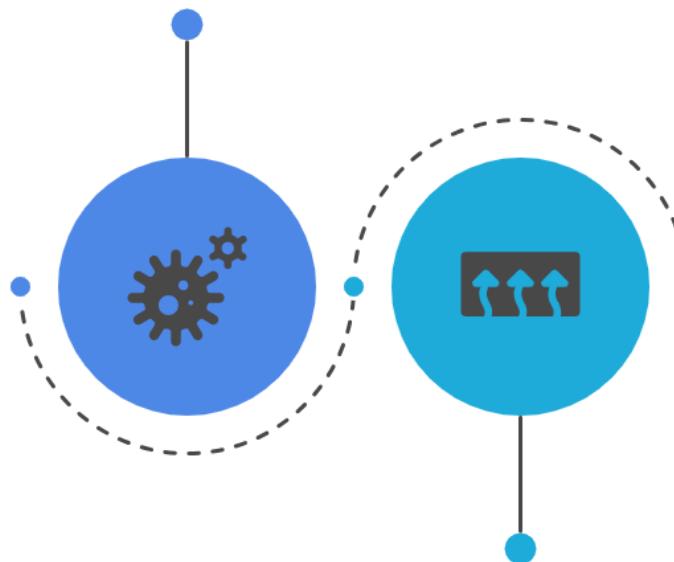
Cuando el aire alcanza o supera la saturación, el vapor de agua puede comenzar a condensarse en forma de gotas líquidas o cristales de hielo sobre pequeños núcleos, como polvo, humo y diversos tipos de partículas de sal, que están invariablemente presentes en la atmósfera. Inicialmente, estos productos de condensación son lo suficientemente pequeños como para mantenerse suspendidos en la atmósfera, formando nubes.





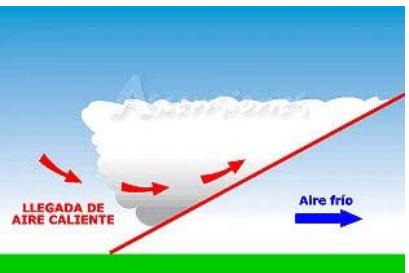
## Descenso de Temperatura del Aire

El aire más frío reduce su capacidad para retener humedad



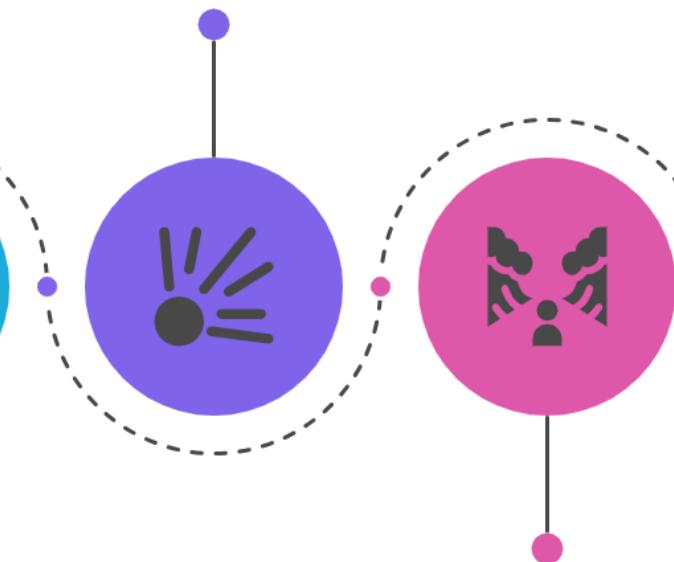
### Advección de Aire

El aire más cálido se desplaza sobre superficies más frías



## Enfriamiento Radiativo

El aire se enfria a través de la pérdida de calor radiativo

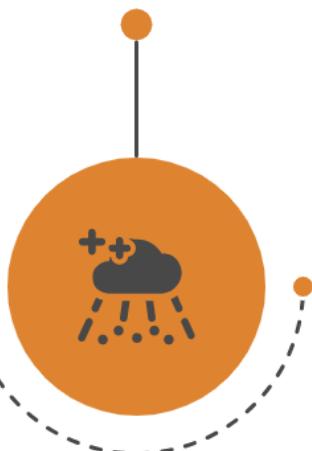


### Mezcla de Masas de Aire

Las masas de aire diferentes interactúan

## Formación de Precipitación Convectiva

Lluvias intensas caen de nubes convectivas



## Ascenso del Aire

El aire asciende a altitudes más altas



### Formación de Precipitación Estratiforme

La lluvia suave cae de nubes estratiformes



# Condensación



- 01 Saturación del Aire
- 02 Formación de Productos de Condensación
- 03 Crecimiento de Gotas de Agua
- 04 Crecimiento de Cristales de Hielo
- 05 Proceso de Acreción
- 06 Formación de Nubes

El calor latente es la energía que se absorbe o libera cuando una sustancia cambia de fase a una temperatura determinada



La acreción en las nubes es el proceso por el cual aumenta el volumen de las partículas de una nube debido a la colisión de pequeñas gotas. También se refiere al crecimiento de un cristal de hielo atrapado por gotitas de agua.

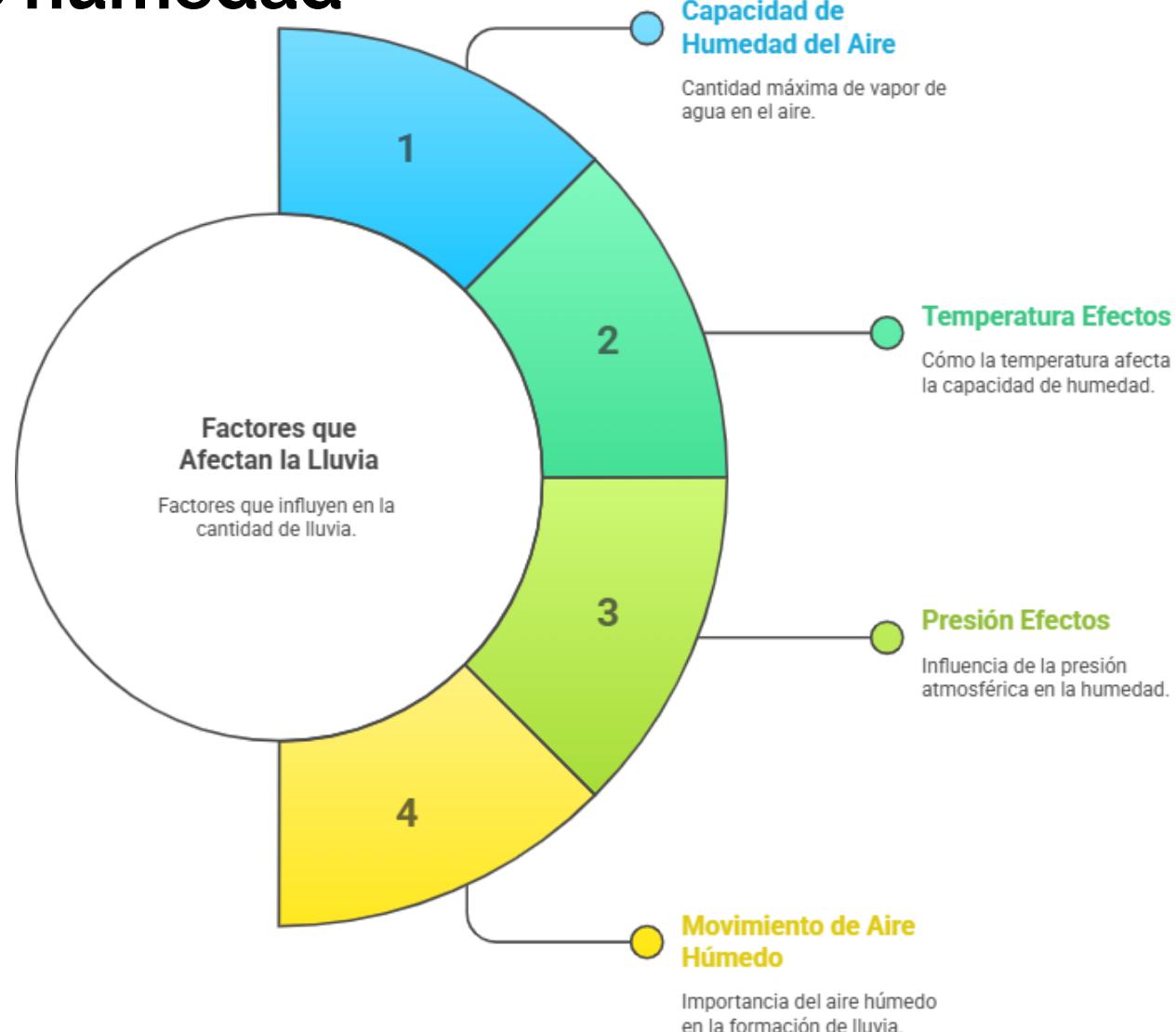


# Suministro de humedad

El **suministro de humedad** en la atmósfera se refiere a la cantidad de vapor de agua que el aire puede contener y transformar en lluvia. Aunque pueda parecer que la atmósfera tiene una gran capacidad para almacenar agua, en realidad es bastante limitada.

Por ejemplo, si el aire cercano a la superficie tiene una temperatura de 20 °C y una presión de 1000 hPa, la cantidad máxima de agua que puede contener antes de precipitar equivale aproximadamente a **5 cm de agua líquida**. Si la temperatura baja a 10 °C, esta cantidad se reduce a la mitad. Sin embargo, en muchas tormentas fuertes, la cantidad de lluvia que cae es mayor a ese límite.

Entonces, ¿cómo es posible que llueva tanto? La clave está en el **movimiento del aire húmedo**. No es solo la humedad que ya está en el lugar lo que determina la cantidad de lluvia, sino el aire húmedo que llega desde otras zonas y se sigue acumulando. En otras palabras, la intensidad de la lluvia no depende solo del agua disponible en ese punto, sino de cuánta humedad está llegando con los vientos y cómo interactúa con el sistema meteorológico.





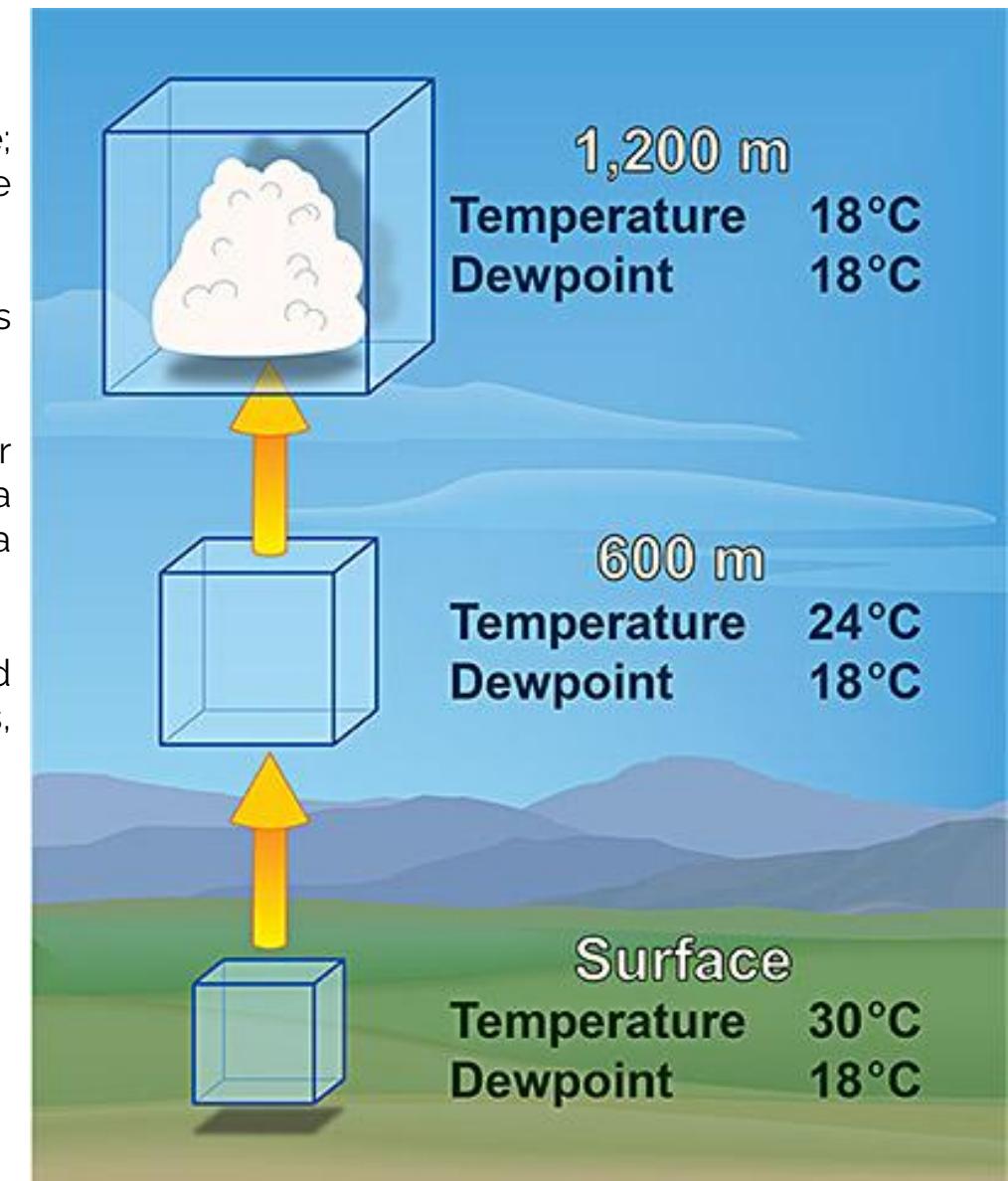
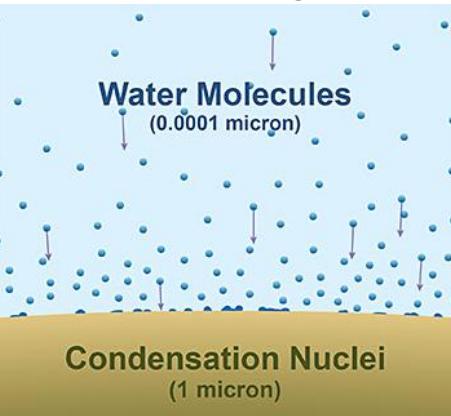
## El papel de la temperatura

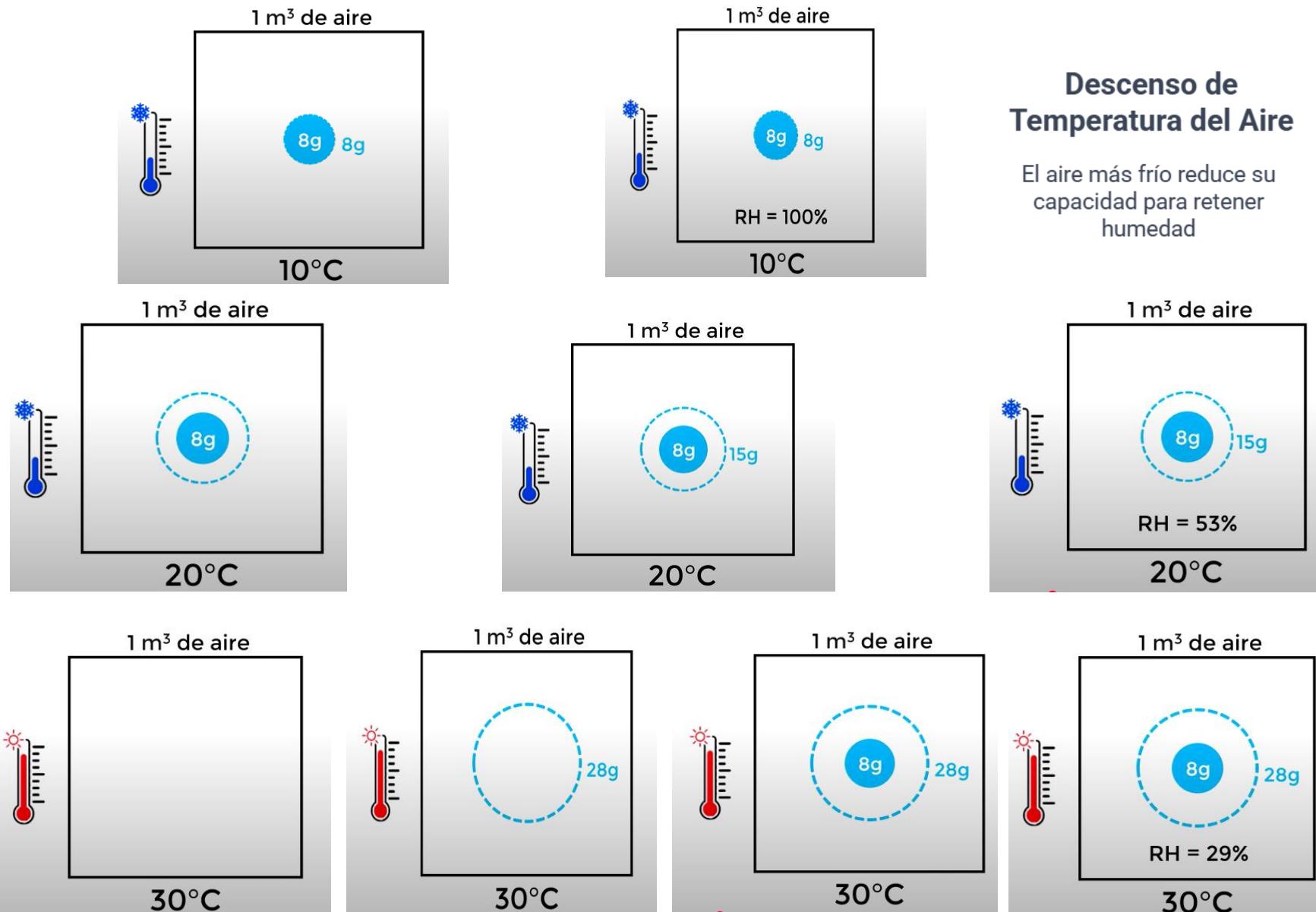
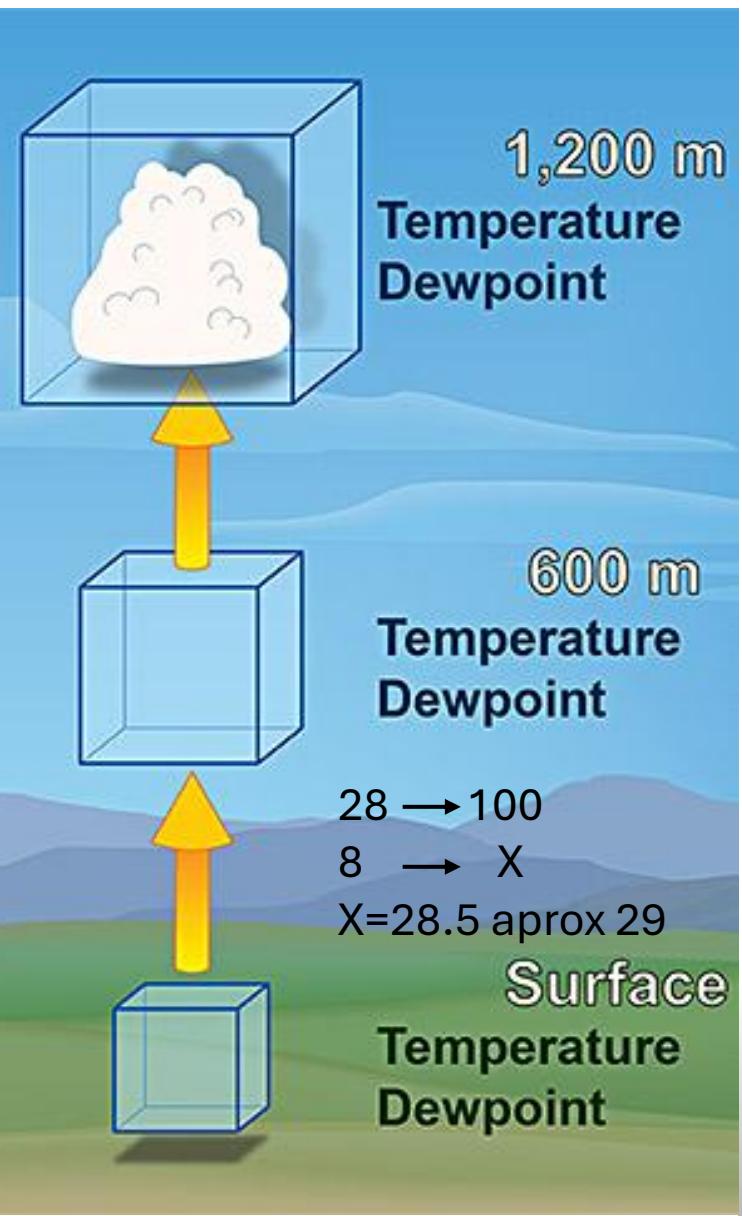
La presencia de núcleos que atraen agua no es suficiente para que se forme una nube; la temperatura del aire también debe ser inferior al punto de rocío, el punto de saturación donde la evaporación es igual a la condensación.

El aire puede alcanzar el punto de saturación de diversas maneras. La más común es cuando el aire asciende desde la superficie hacia la atmósfera y se enfriá.

A medida que un bloque de aire (una "parcela") asciende, se expande debido a la menor presión en la atmósfera. Esta expansión produce enfriamiento. Cuando la temperatura cambia debido a la expansión o contracción de la parcela, en lugar de a la transferencia de calor entre esta y la atmósfera circundante, se denomina proceso adiabático.

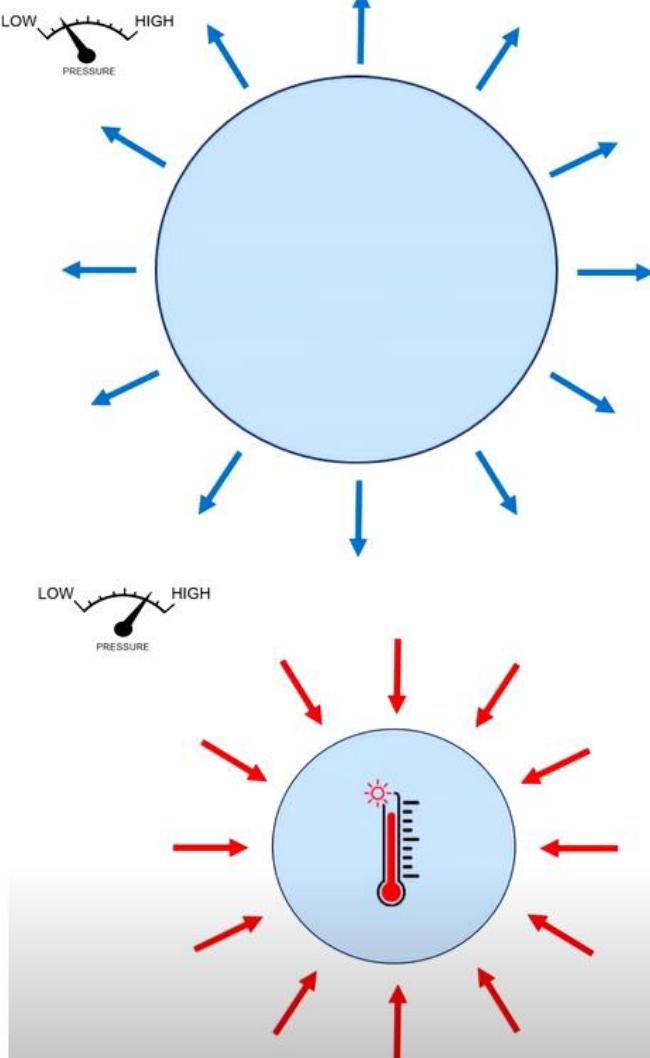
Una vez que la parcela alcanza la temperatura de saturación (100% de humedad relativa), el vapor de agua se condensará en los núcleos de condensación de las nubes, lo que dará como resultado la formación de una gota de nube.



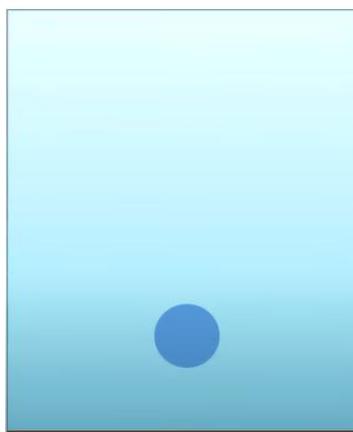




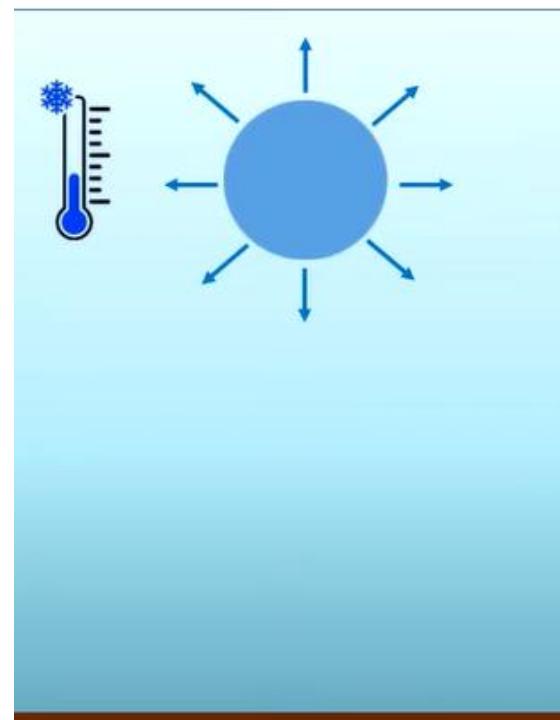
## La forma más frecuente por la cual cambia la temperatura de una parcela de aire es por medio de procesos adiabáticos



En la atmósfera terrestre, la presión disminuye con la altitud



Cuando una parcela de aire asciende, esta se expande y se enfriá adiabáticamente



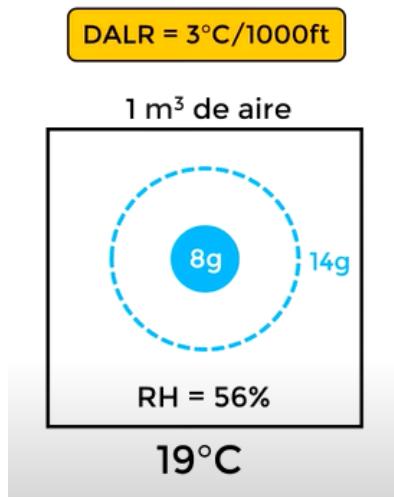
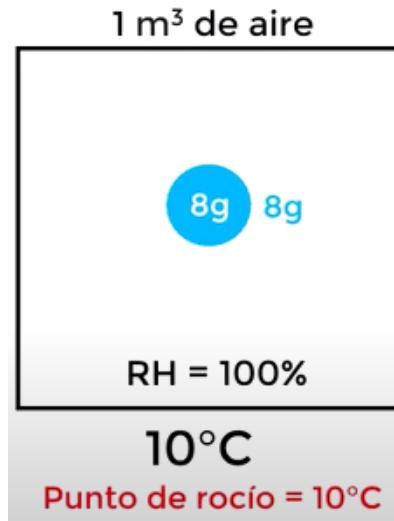
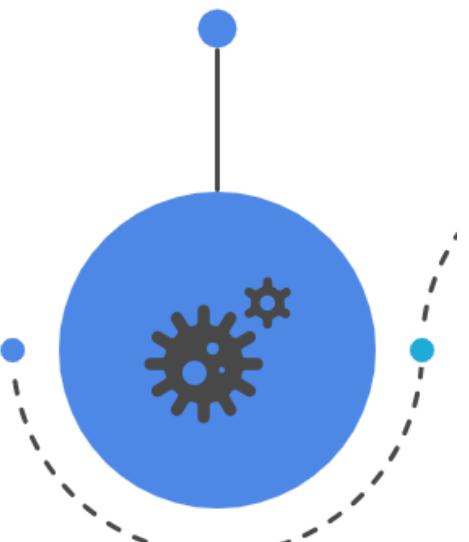
Superficie



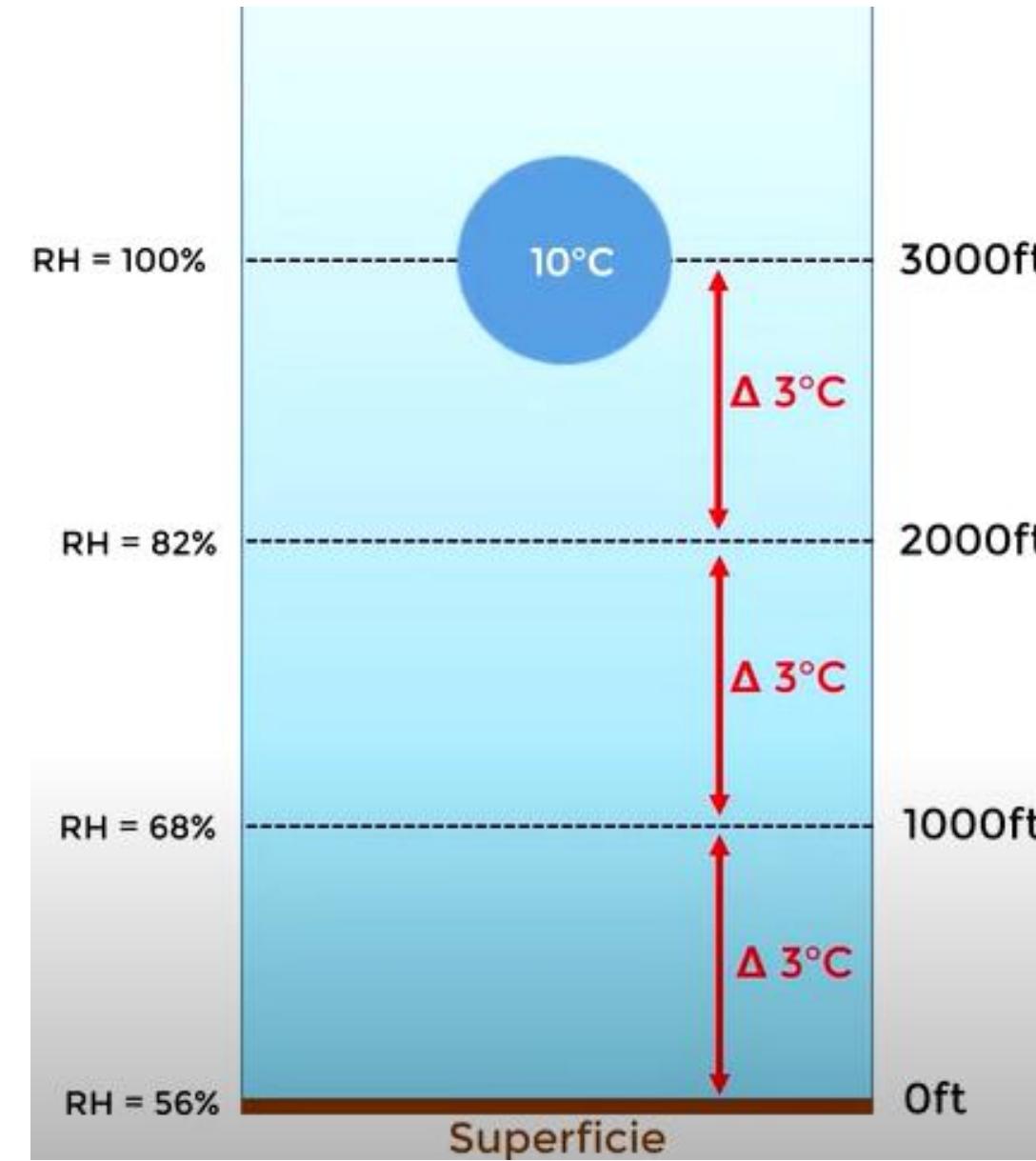
$$DALR = 3^{\circ}\text{C}/1000\text{ft}$$

## Descenso de Temperatura del Aire

El aire más frío reduce su capacidad para retener humedad

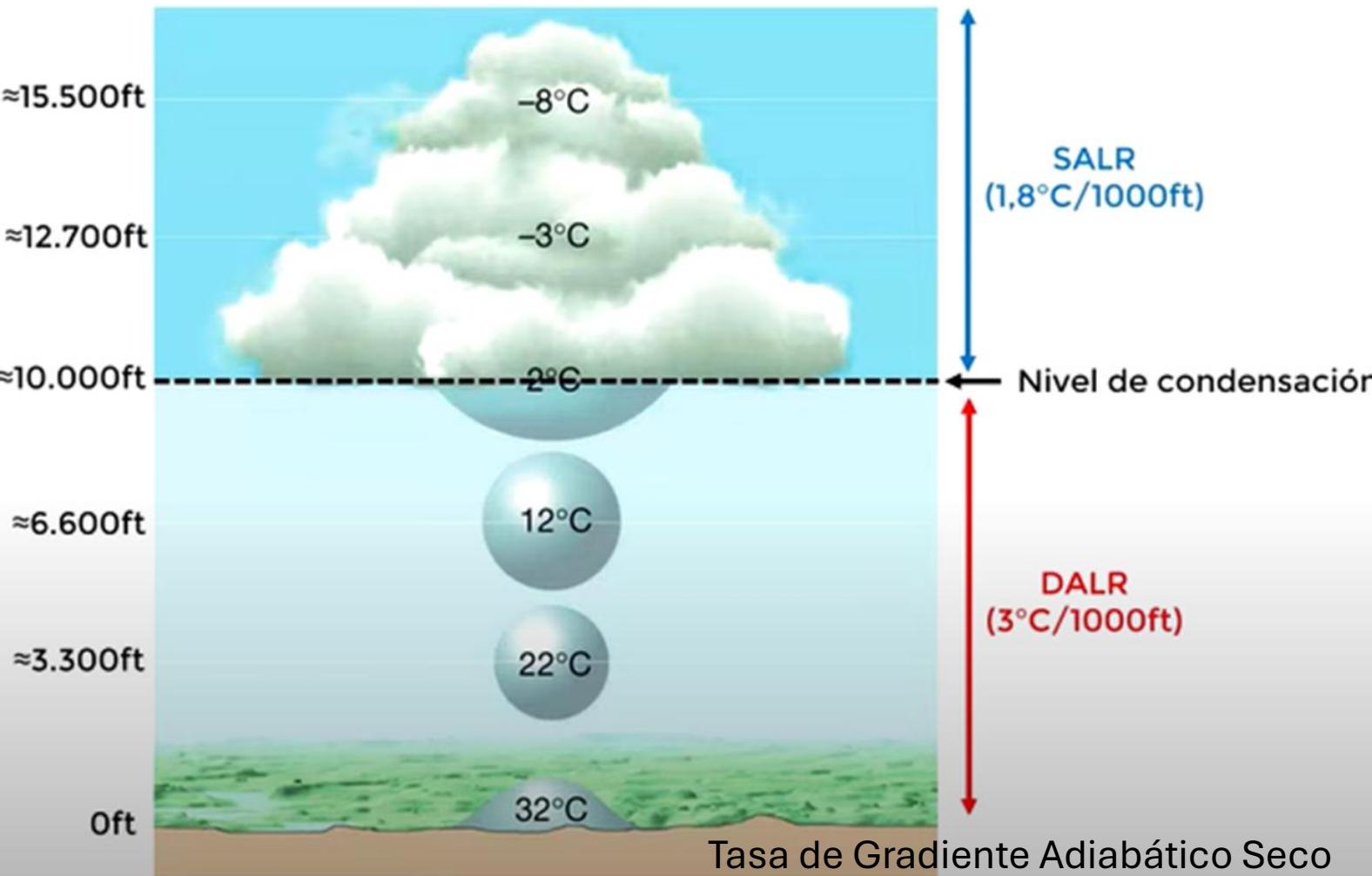


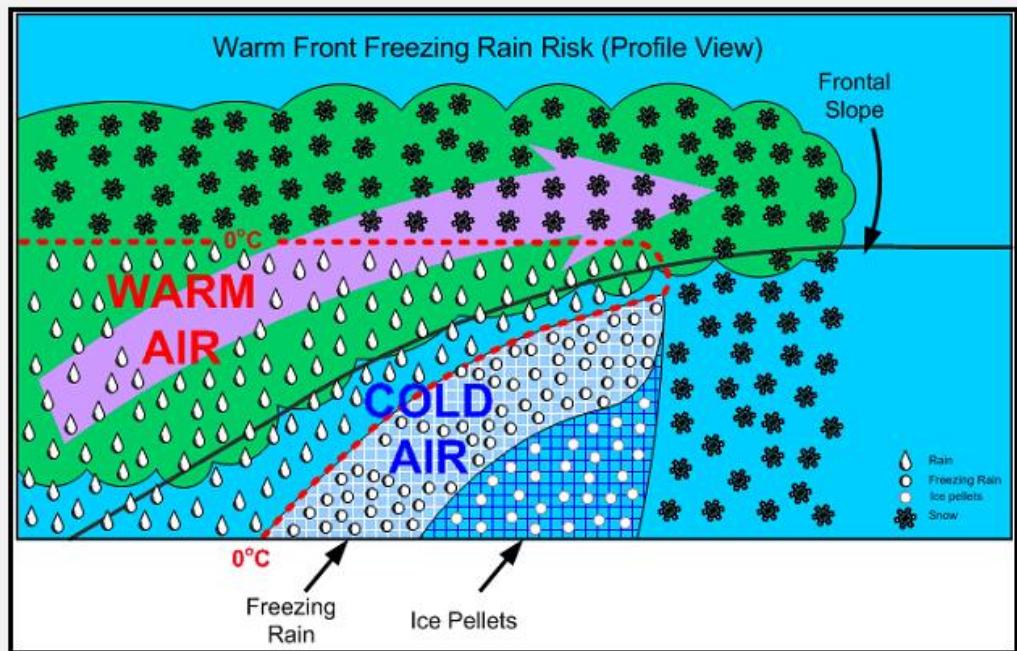
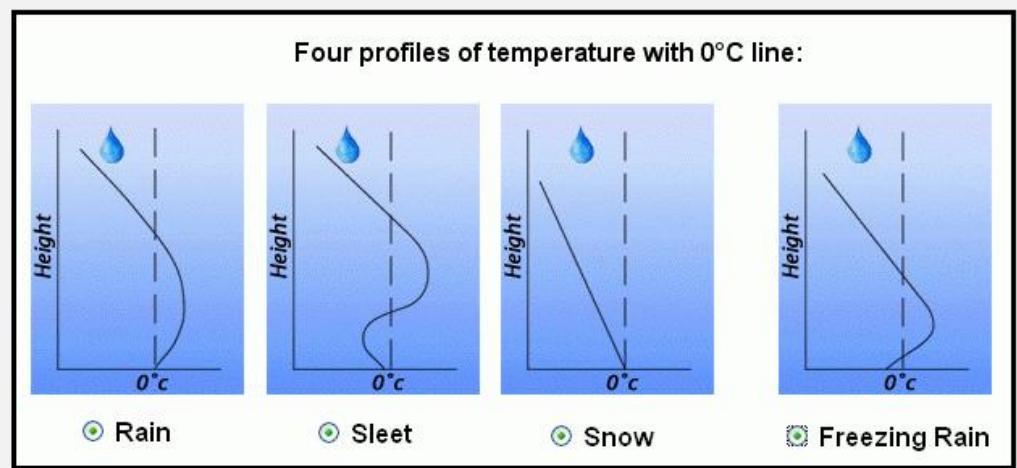
Tasa de Gradiente Adiabático Seco es la variación de la temperatura de una masa de aire seco por cada unidad de cambio de altitud





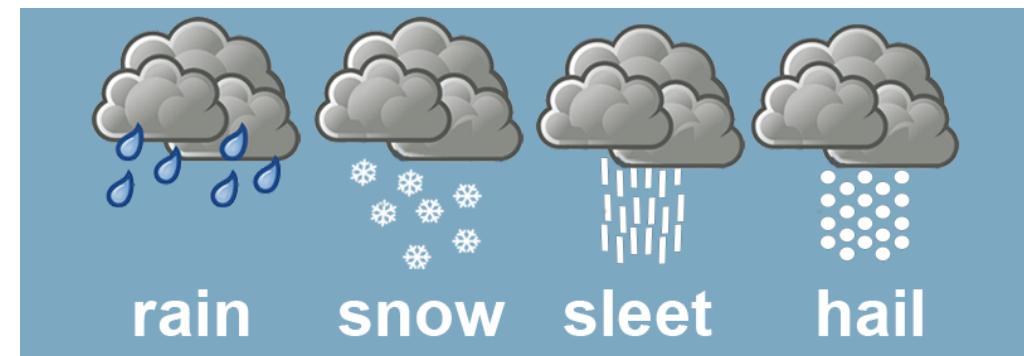
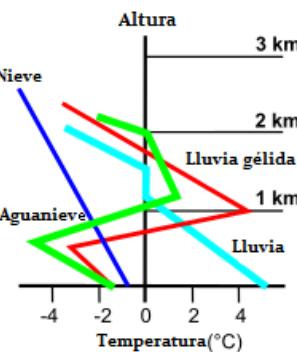
## Tasa de Gradiente Adiabático Saturada





La distribución vertical de la temperatura suele determinar el tipo de precipitación (lluvia, nieve, aguanieve o lluvia helada)

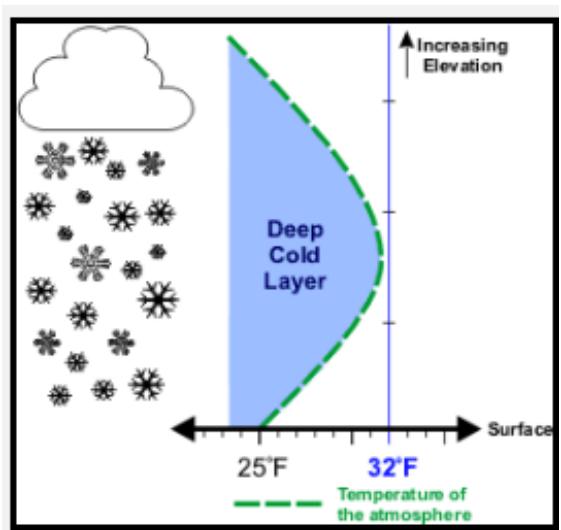
### Lluvia, nieve, aguanieve, granizo



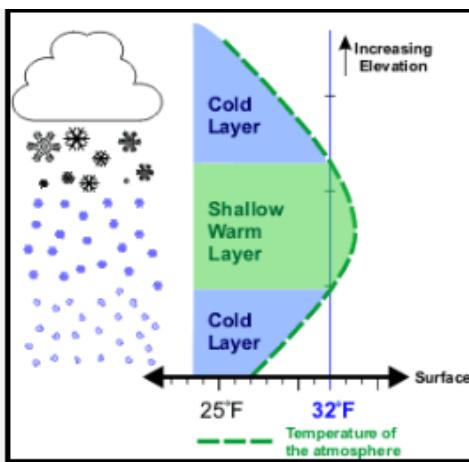


## Tipos de precipitaciones invernales y sus entornos

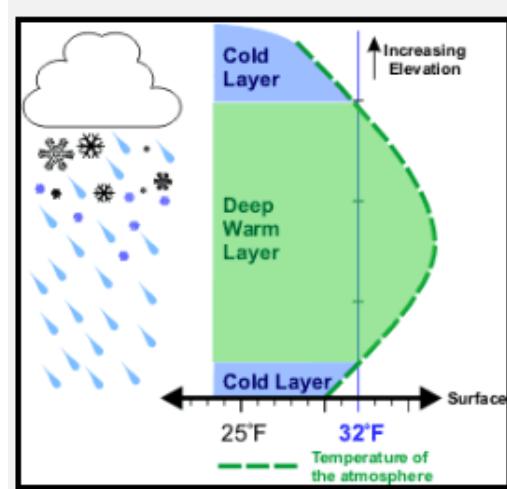
La distribución vertical de la temperatura suele determinar el tipo de precipitación (lluvia, nieve, aguanieve o lluvia helada) que se produce en la superficie durante el invierno. Generalmente, la temperatura no disminuye con la altura, sino que aumenta, a menudo varios grados, antes de descender. Este aumento y posterior descenso se denomina inversión térmica . En invierno, una inversión térmica puede ser crucial para determinar el tipo o tipos de clima.



La línea discontinua verde representa la temperatura con respecto a la altitud. La temperatura superficial es de -4 °C (25 °F) y aumenta con la altura antes de disminuir. Sin embargo, dado que la temperatura se mantiene por debajo del punto de congelación, cualquier precipitación se convertirá en nieve .



La temperatura superficial es más alta, -3 °C (27 °F). Además, a medida que aumenta la altitud, la temperatura sube hasta un punto en el que parte de la atmósfera supera el punto de congelación antes de volver a bajar por debajo del punto de congelación. A medida que la nieve cae en la capa de aire donde la temperatura supera el punto de congelación, los copos de nieve se derriten parcialmente. Al reingresar la precipitación al aire bajo cero, se vuelve a congelar formando bolitas de hielo que rebotan en el suelo, comúnmente llamadas aguanieve .



La lluvia helada se produce si la capa cálida de la atmósfera es profunda y solo hay una capa superficial de aire bajo cero en la superficie. La precipitación puede comenzar como lluvia o nieve, pero se convierte en lluvia en la capa cálida. La lluvia vuelve a caer en el aire bajo cero, pero, al ser poco profunda, no tiene tiempo de congelarse y convertirse en aguanieve.



## ¿Qué mecanismos hacen que el aire ascienda?

### Son cuatro tipos:



#### Convección

Es un tipo de fenómeno que se produce por el calentamiento del aire.



#### Orográfica

Se refiere a la influencia de las montañas en el clima.



#### Borrascas

Son sistemas de baja presión que generan mal tiempo.



#### Frentes

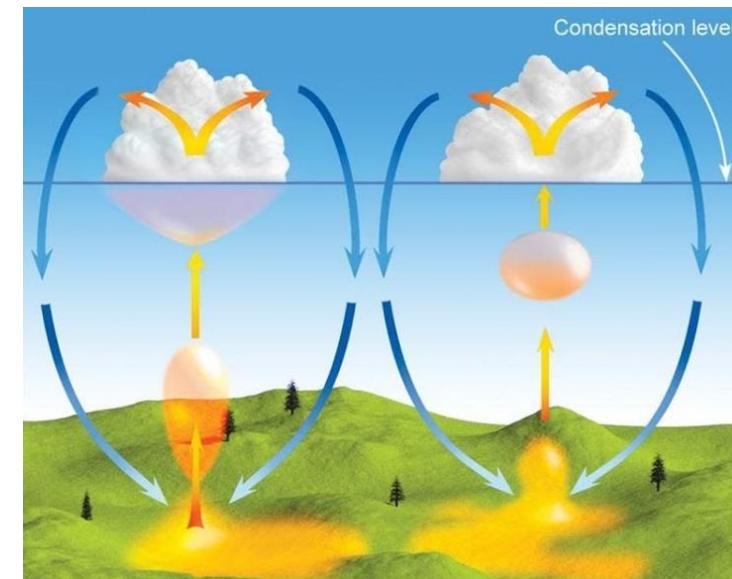
Líneas que separan masas de aire de diferentes temperaturas.



## Convección

Como ejemplo en este caso se puede tomar el de una cacerola en la que se calienta agua...el agua situada en el fondo en contacto con la llama o fuente de calor se calienta ascendiendo y a su vez es reemplazada por la más fría superficial.

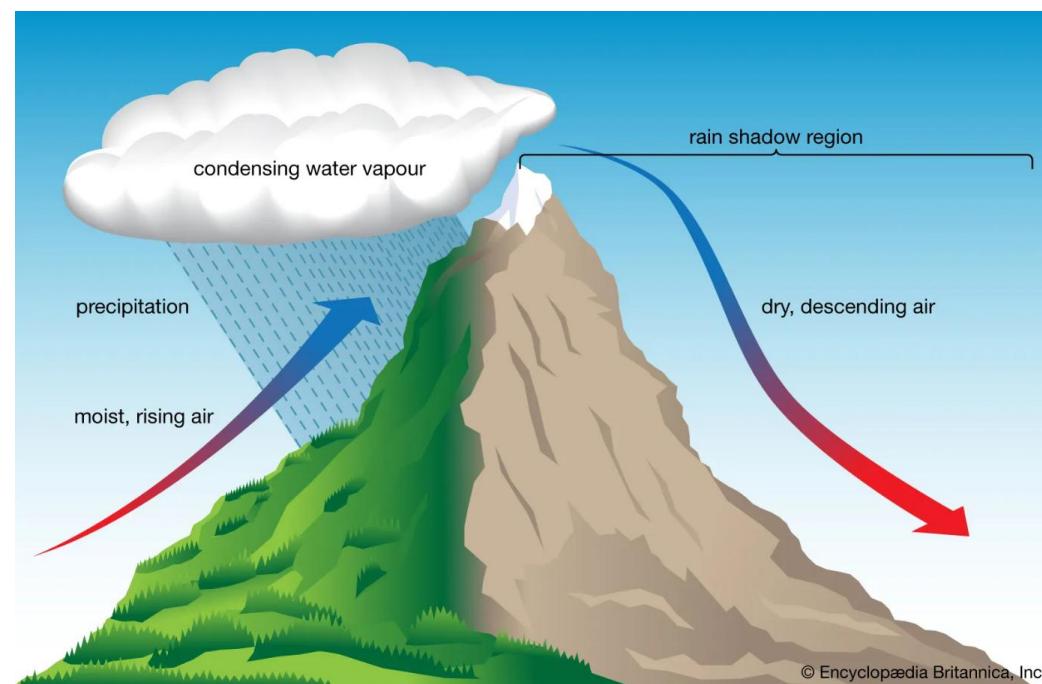
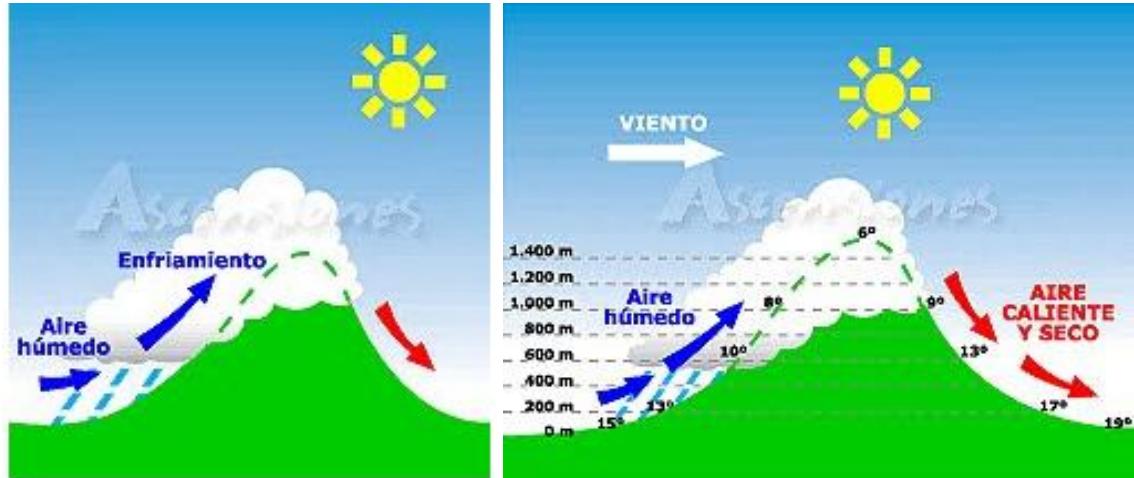
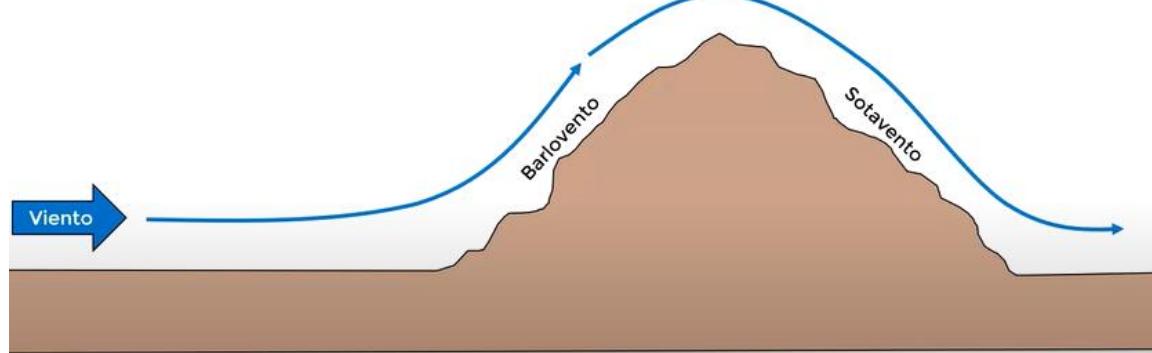
El aire caldeado en contacto con la superficie terrestre recalentada comienza a ascender enfriándose progresivamente según gana altura, condensando a menudo el vapor de agua, mientras el aire frío superior y de alrededor desciende ocupando el lugar que ha dejado, formándose así una célula convectiva o térmica, que necesariamente no se tienen por qué ver. Estas térmicas son normalmente aprovechadas por las rapaces diurnas y por los practicantes del vuelo sin motor.





## La orografía

Esta es una de las más claras y visibles, en ocasiones un relieve como puede ser una montaña, una cordillera u otro tipo, aunque no sea muy acusado obstaculiza el flujo de aire. Esta masa de aire en movimiento en el intento de salvar este obstáculo en parte lo rodea y otro porcentaje se ve obligada a ascender originando así el proceso de condensación o sublimación conocidos. Cuando esto sucede nos podemos encontrar con claros contrastes de tiempo entre la vertiente de barlovento, expuesta al viento, y la de sotavento, que se encuentra resguardada. En la de barlovento la nubosidad puede ser abundante e incluso con precipitaciones, mientras que en la de sotavento el aire desciende calentándose, disminuyendo su humedad y dejando un tiempo despejado.

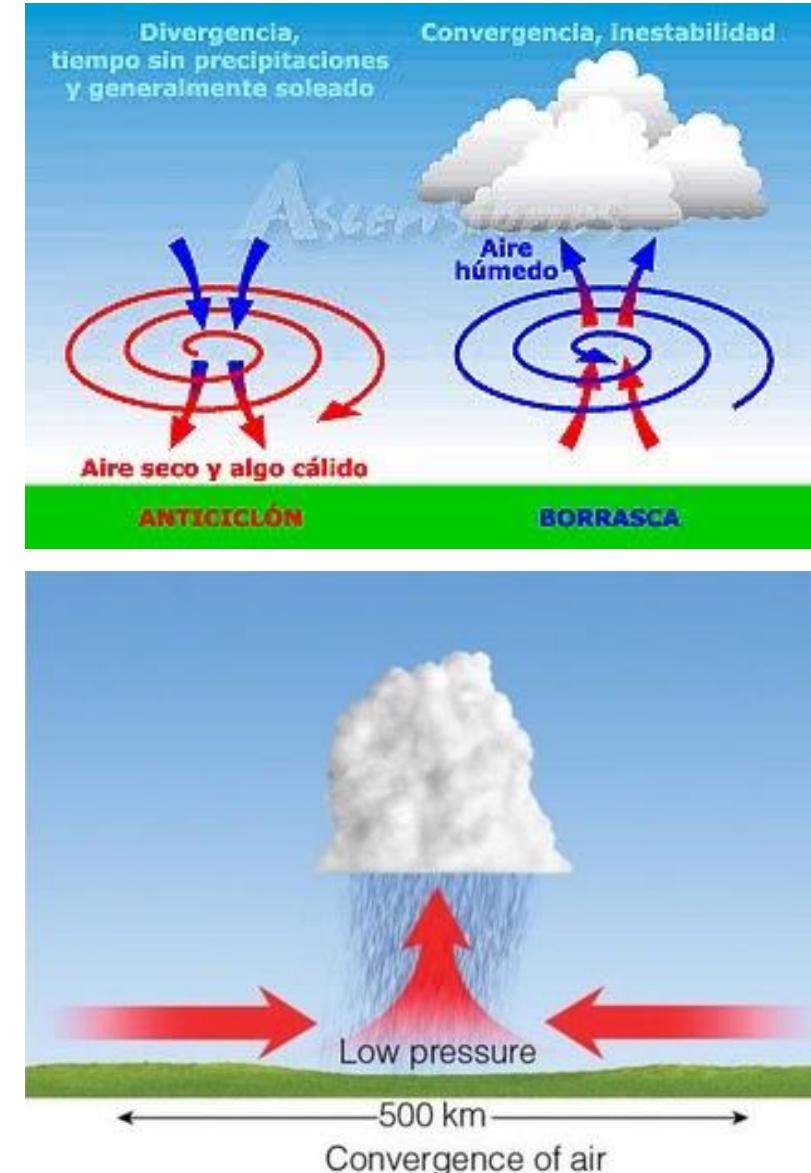




## Las Borrascas

En las borrascas el aire sigue una espiral en sentido antihorario en el hemisferio norte convergiendo hacia el interior. Como el aire no puede acumularse indefinidamente se ve obligado a ascender condensándose y formando bastante nubosidad provocando situaciones generalizadas de "mal tiempo", precipitaciones, etc.

Al contrario, en los anticiclones el aire tiende a salir en sentido horario divergiendo y descendiendo haciéndose seco y relativamente cálido, con lo que nos encontraremos generalmente con "buen tiempo".



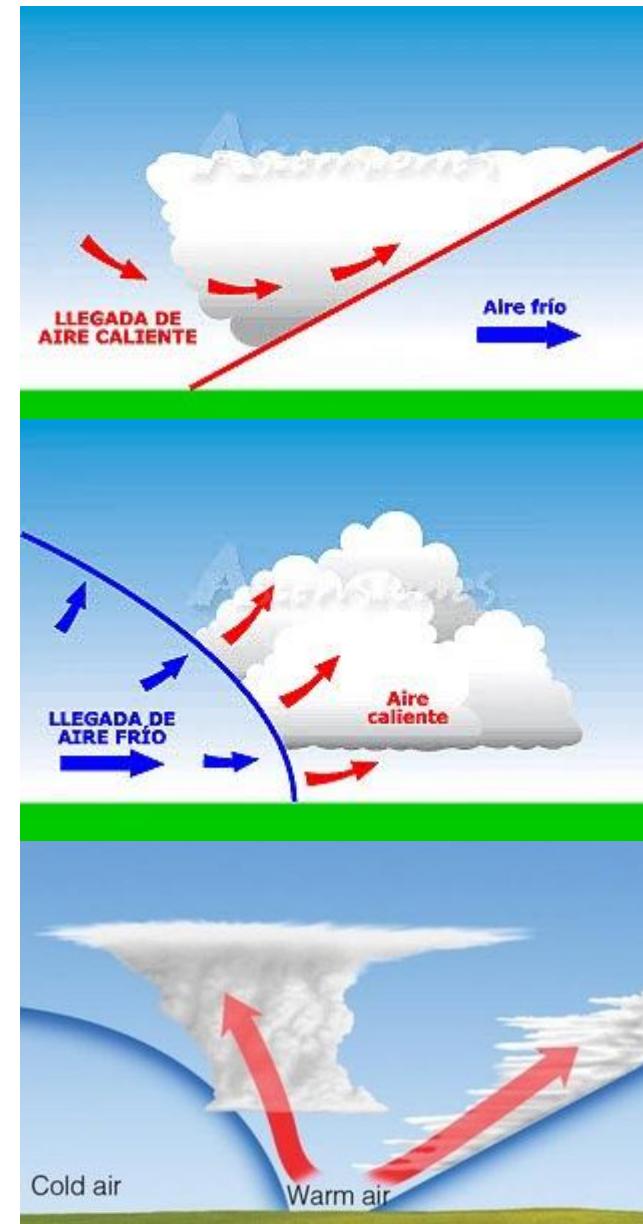


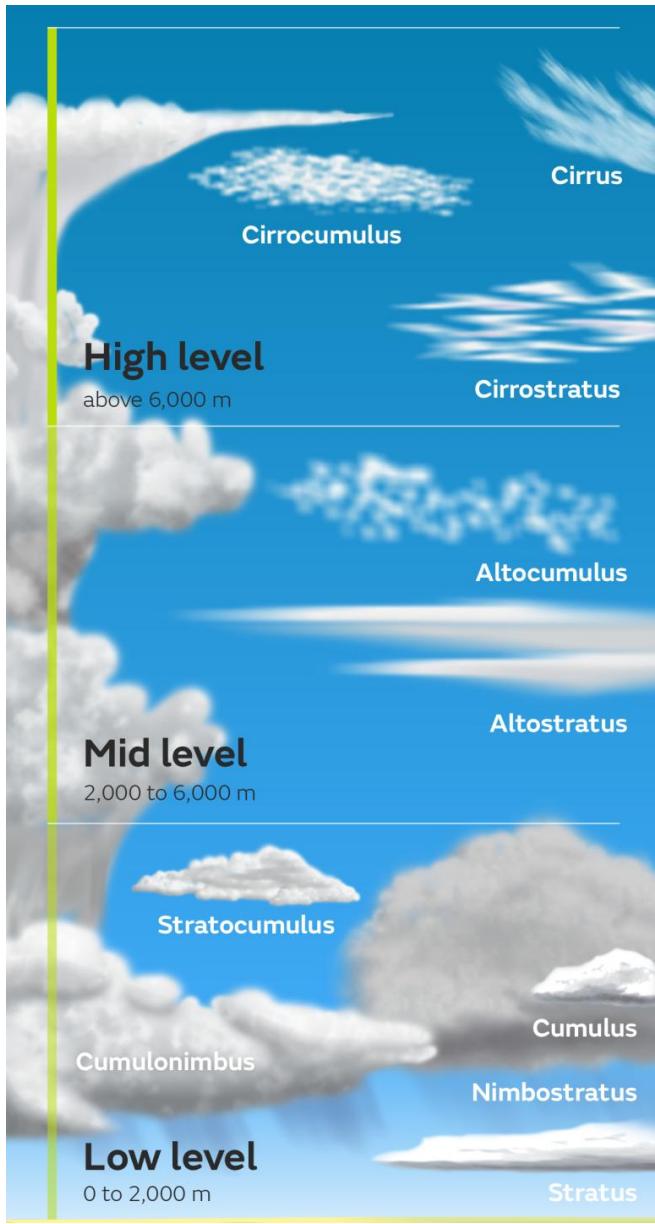
## Los Frentes

Los frentes los componen dos masas de aire con características de humedad y temperatura diferentes, los de menor densidad tienden a elevarse por encima del otro.

Hay tres tipos de frentes: cálidos, fríos y ocluidos.

1. En el **frente cálido** este por tener una masa de aire con mayor temperatura asciende por la suave rampa que forma el frente frío, este ascenso suave forma nubes estratiformes formando bancos y capas dando lugar a lluvias.
2. En los **frentes fríos** la masa de aire empuja a la otra masa caliente que la hace elevarse enérgicamente. Esta drástica ascensión origina normalmente nubosidad cumuliforme con chubascos fuertes y tormentas.
- 3-Los frentes ocluidos se forman por el solapamiento de un frente cálido y otro frío.





## Nubes Altas

Nubes que se encuentran a 5-13 km



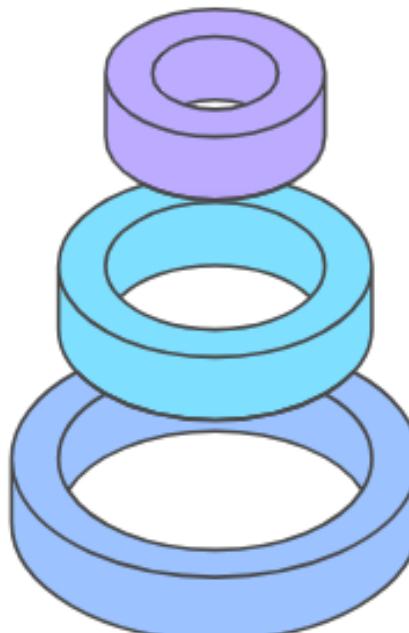
## Nubes Medias

Nubes que existen entre 2 y 7 km



## Nubes Bajas

Nubes que se forman de 0 a 2 km



La clasificación de las nubes, basada principalmente en tres características: altitud, forma y composición, constituye la base del Atlas Internacional de Nubes de la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

**Clasificación basada en la altitud divide las nubes en tres niveles**



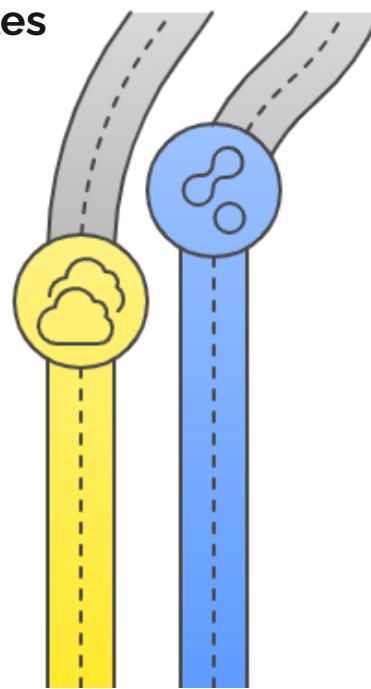
**¿Cómo clasificar las nubes según su forma?**

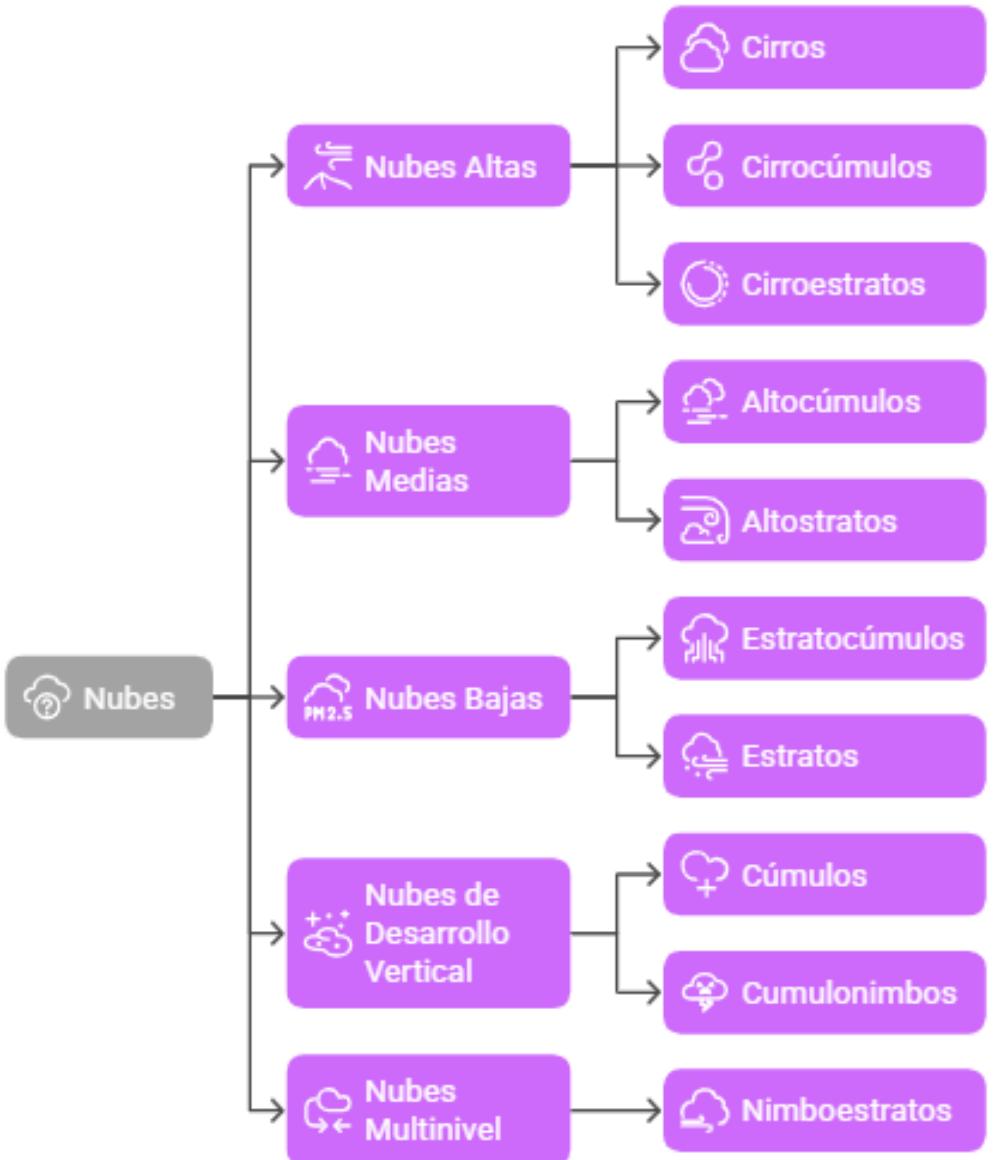
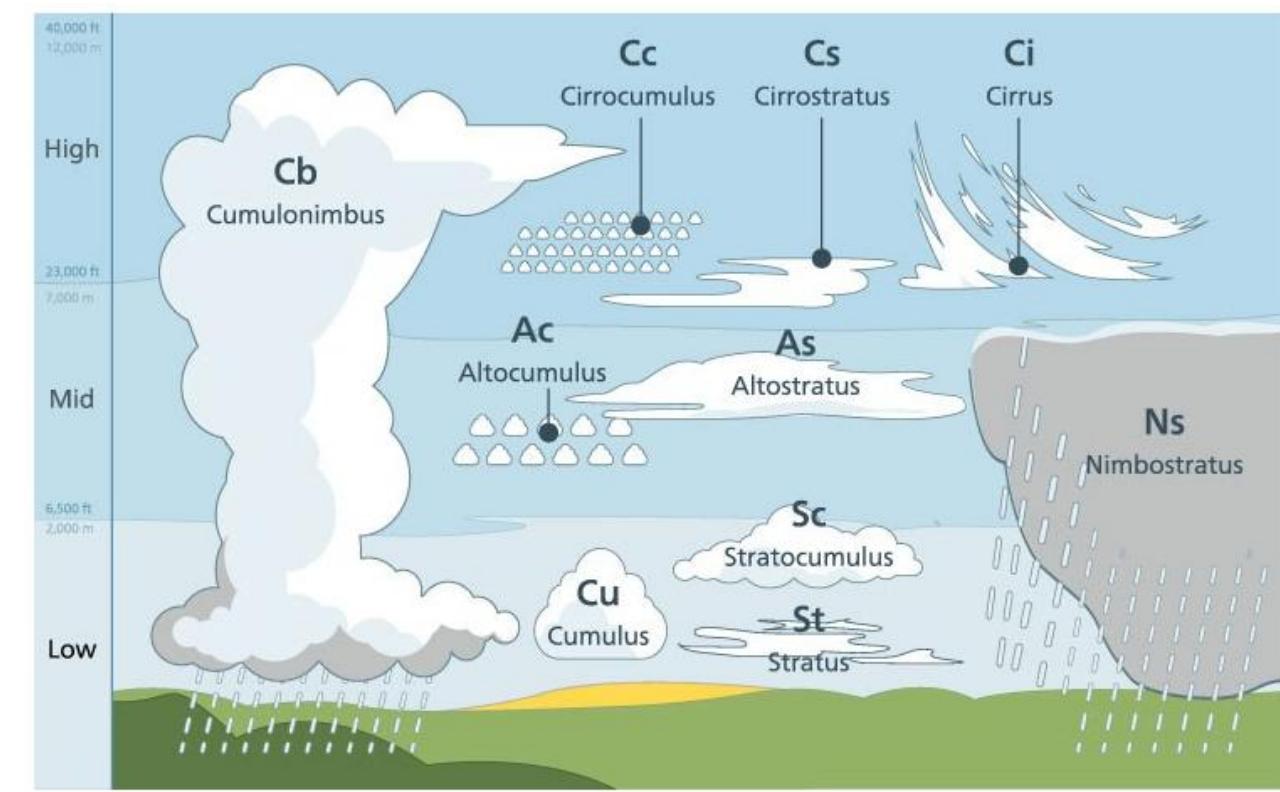
### Cumuliforme

Las nubes cúmulo son hinchadas y similares a montones, a menudo asociadas con el tiempo convectivo.

### Estratiforme

Las nubes estrato son en capas y similares a láminas, típicamente vinculadas a condiciones de tiempo más estables.







## 12 Most Common Types of Clouds



Cirrus Clouds



Cirrocumulus Clouds



Cirrostratus Clouds



Altocstratus Clouds



Altocumulus Clouds



Nimbostratus Clouds



Stratus Clouds



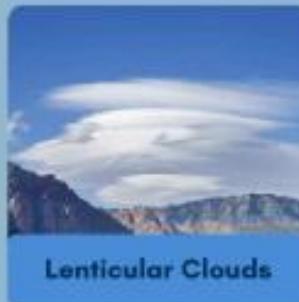
Stratocumulus Clouds



Cumulus Clouds



Cumulonimbus Clouds



Lenticular Clouds



Mammatus Clouds



# Que medir...

*La cantidad de lluvia que se acumula en la superficie terrestre es actualmente (y ha sido tradicionalmente), registrada por aparatos colectores, de “pequeña” boca de captación cuya sección o área es conocida (**Pluviómetros y pluviógrafos**)*

*Mientras que el movimiento de las gotas de lluvia y otras formas de precipitación que se mueven por encima de la superficie terrestre puede ser evaluada y/o monitoreada por **radares meteorológicos y sensores remotos**.*



# Instrumental y Técnicas de medición Precipitación en forma de lluvia

## Instrumentos colectores de lluvia

- **Pluviómetros** - Instrumentos que acumulan la lluvia en un intervalo de tiempo (generalmente 24 hs) .

Mide cantidad de lluvia caída (**mm**)

Se mide su contenido en una probeta graduada hasta la décima de mm y es el valor total definitivo en la observación.





Poseen diferente capacidad según se trate de aparatos de lectura diaria, mensual, o estacional

### Pluviómetros - SMN tipo "B".

### Pluvionímetros o totalizadores.





## Instrumental y Técnicas de medición Precipitación en forma de lluvia

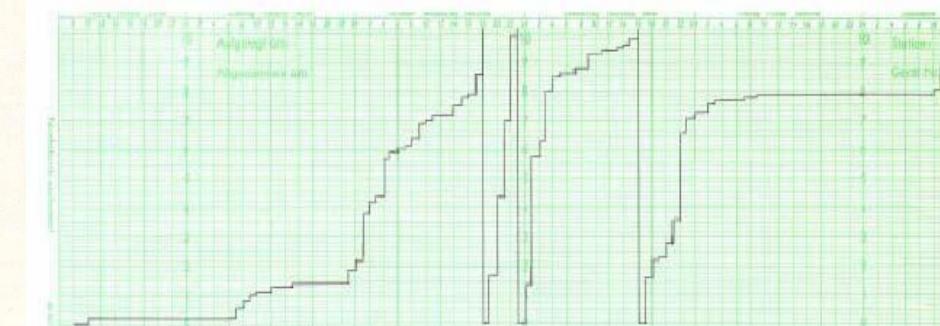
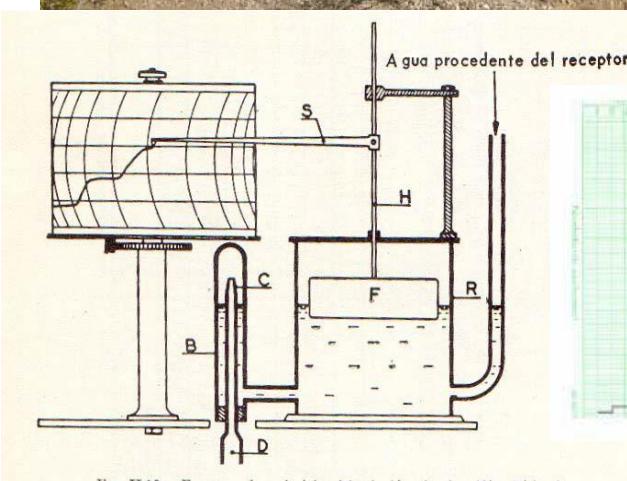
### Instrumentos registradores.

#### Pluviógrafos

Además de medir la cantidad de lluvia caída, indica la **intensidad**, o sea la cantidad de mm que caen por minuto o por hora. (**mm/h**).

En su versión clásica, el agua de lluvia recogida se dirige a un recipiente dotado de un flotador. Este se encuentra sólidamente unido a una **pluma inscriptora** que actúa sobre una **faja de papel** reticulado en donde se registra la precipitación.

La faja de papel esta colocada sobre un cilindro metálico, que por medio de un **aparato de relojería (tambor)**, da una vuelta por día o por semana, según el tipo.



Fra. II-12 — Esquema de principio del pluviógrafo de sifón Richard.



## Instrumentos registradores.

### •Pluviógrafos

- 1 pluviógrafo a flotador con sifón
- 2 pluviógrafo a cangilones
- 3 pluviógrafo de pesada o balanza

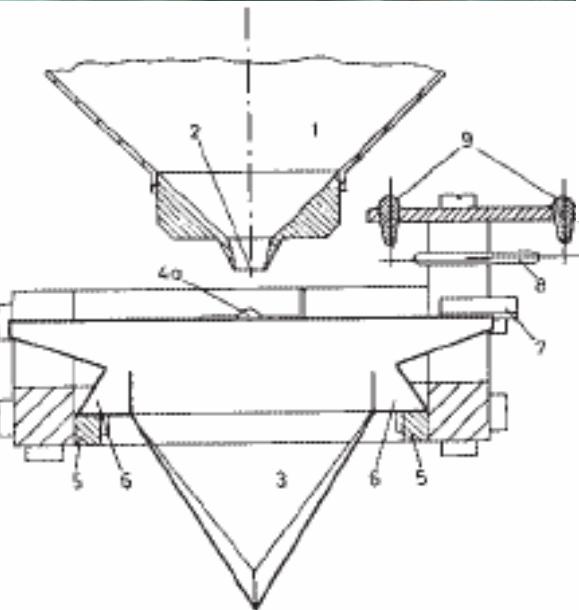
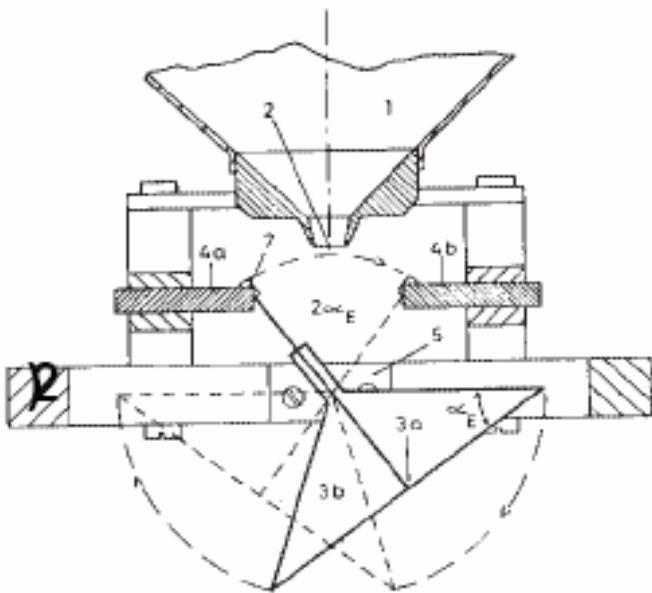




# Pluviógrafo a cangilones

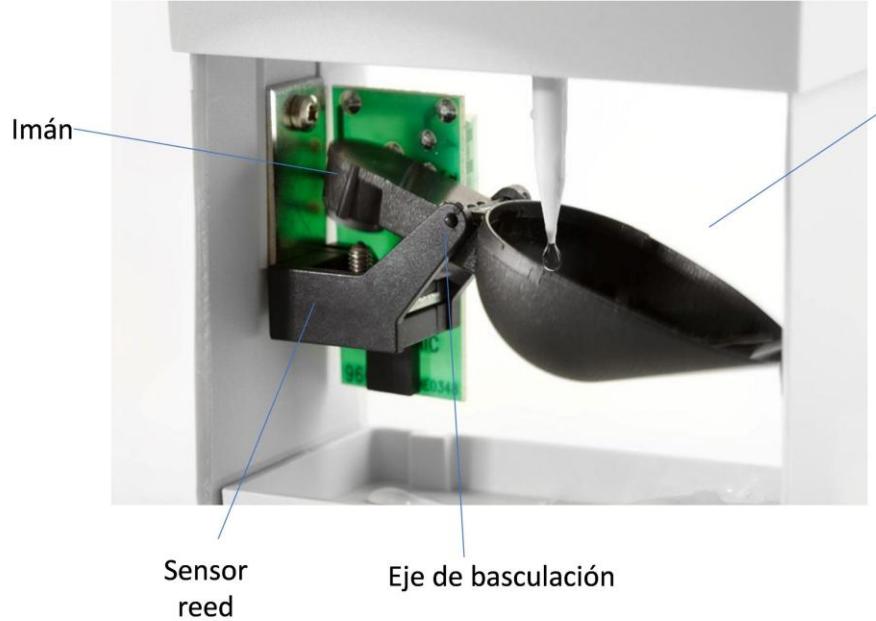


Tipo de pluviómetro basculante que convierte la lluvia en mm en una salida de señal de conmutación



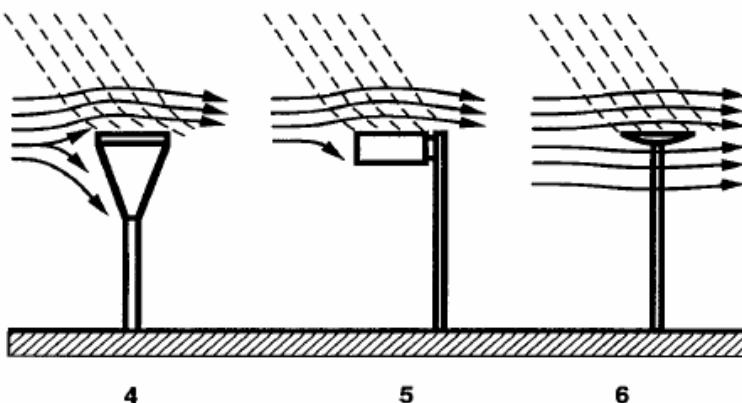
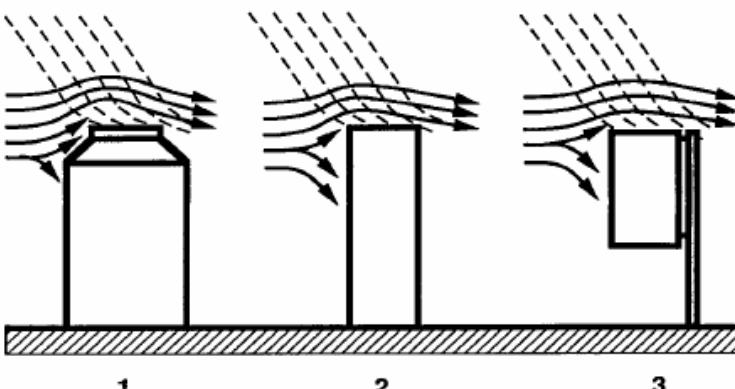


# Pluviógrafo de pesada o balanza





**Figure 1.A.2 Shapes of precipitation gauge body. The number 1 indicates the shape having the worst aerodynamic properties and the number 6 having the best ones. Arrows show the streamlines and the dashed lines the trajectories of precipitation particles.**



**Table 4.1 Measured precipitation expressed as a percentage of the 'true' precipitation as a function of wind speed for several US gauge designs**

Gauge type	Wind speed ( $\text{m s}^{-1}$ )						
	1	2	3	4	5	6	7
<b>Rainfall</b>							
Alter-shielded Universal	98	96	94	92	90	87	85
Unshielded Hellmann	98	96	93	90	86	81	76
<b>Snowfall</b>							
Alter-shielded Universal	88	77	67	59	51	45	40
Canadian Nipher-Shielded	104	106	106	102	96	87	77
Unshielded Universal	63	53	45	38	32	27	23

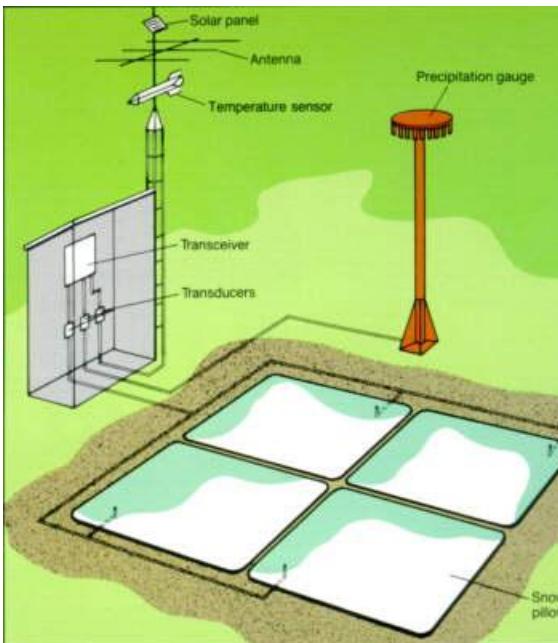
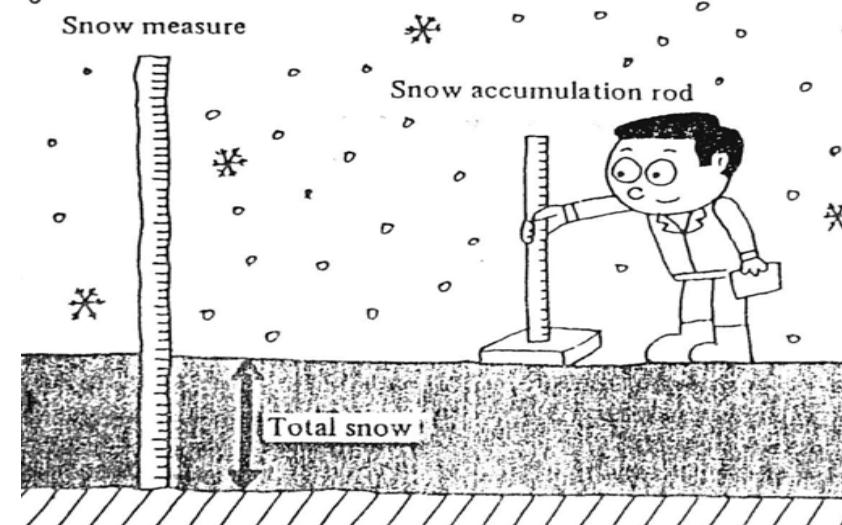
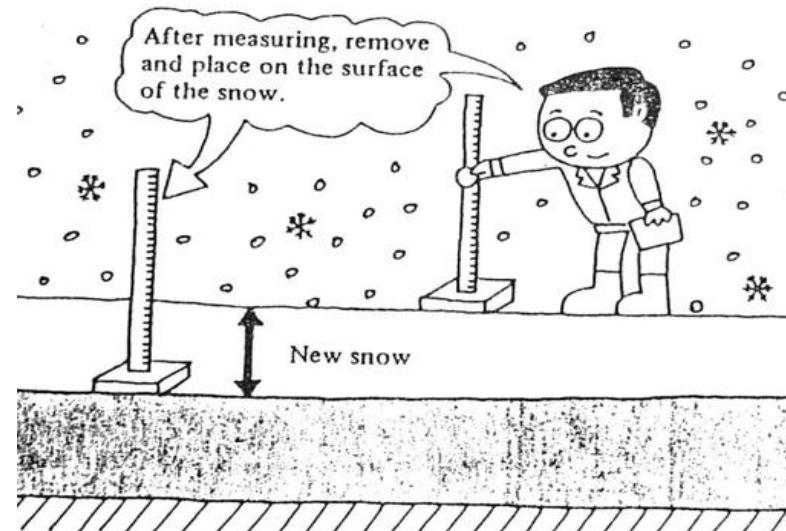
Data derived from Legates (1993)





## Selección del sitio de emplazamiento

- La medida de la precipitación obtenida debe ser representativa de la lluvia que cae en el área circundante.
- La boca receptora debe estar perfectamente horizontal y a 1,5 m del suelo.
- Es preferible disponer de superficie horizontales, evitando en lo posible pendientes abruptas.
- Especial cuidado debe tomarse con los vientos predominantes. Es recomendable un lugar al reparo de vientos, siempre que se respeten las distancias mínimas con los obstáculos.
- Se debe medir alturas de obstáculos y el ángulo que forma el "cono de vision". Tener en cuenta el crecimiento futuro de la vegetación en los alrededores.
- Los sitios deben ser inspeccionados frecuentemente con el objeto de verificar el grado de exposición de los aparatos. Los cambios en el paisaje cercano pueden afectar las condiciones de captación.
- En sitios muy expuestos a los efectos del viento se debe implementar sistemas de protección especiales (Sistemas Nipher o Alter).

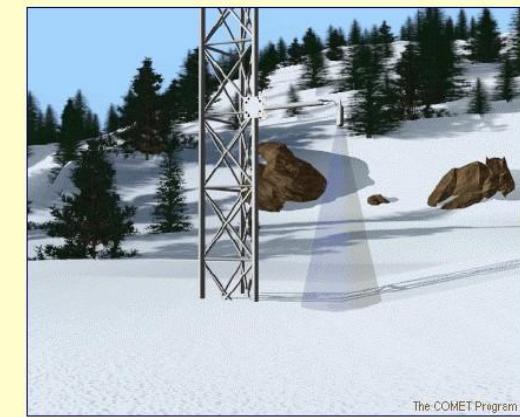


### SENSORES ACUSTICOS PARA MONITOREO DE ESPESOR DE NIEVE.

*Utiliza un transmisor-receptor que opera con un método reflector de ondas ultrasónico, que permite medir la profundidad de nieve sin entrar en contacto con la nieve.*

*Aporta información sobre la acumulación de nieve para propósitos tales como informes del tiempo, control de tráfico y gestión del agua. Se pueden medir profundidades de nieve hasta 5m.*

*valores en defecto cuando la nieve es fresca.*

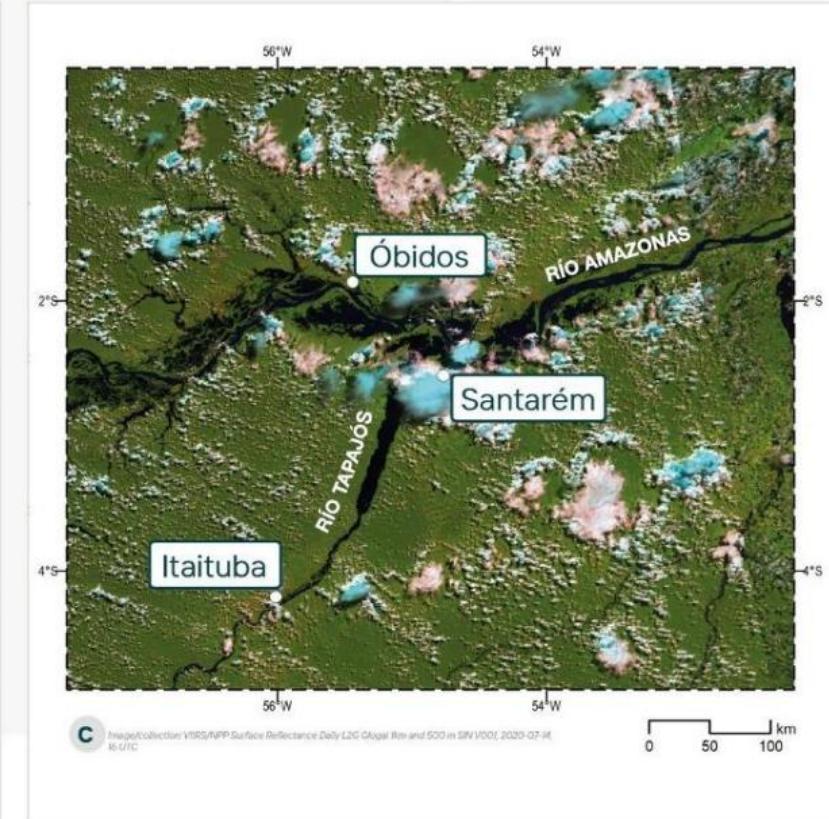
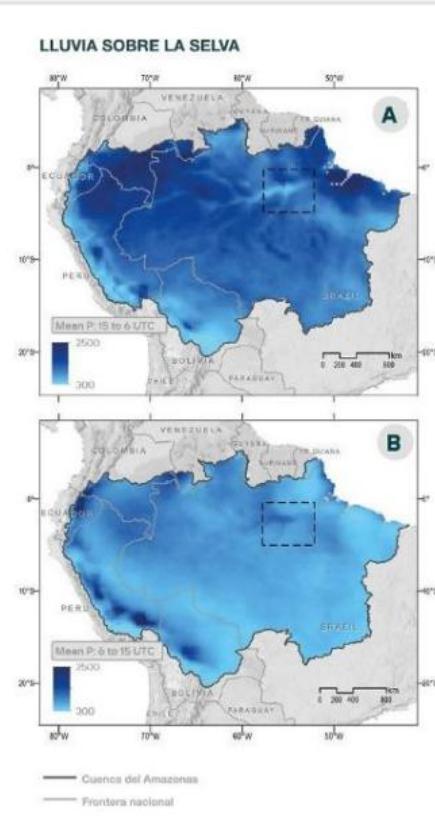
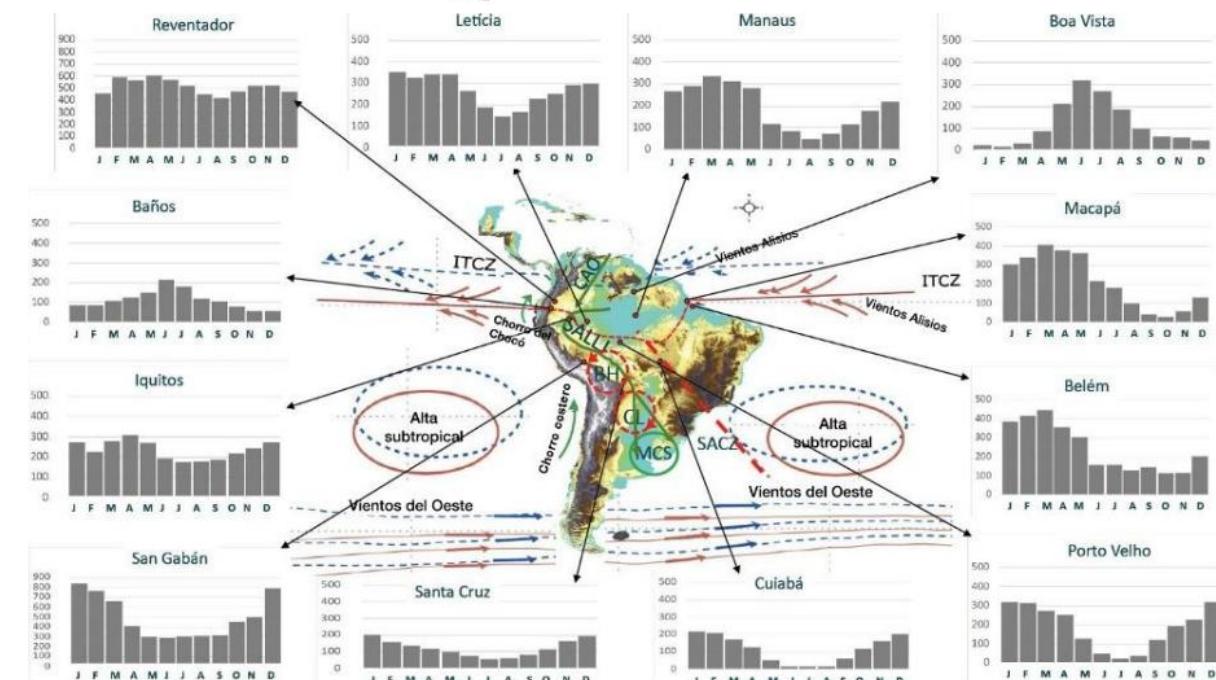
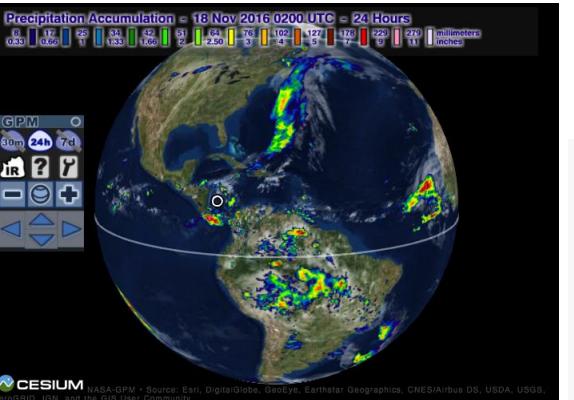


The COMET Program

**Figure 2. The two Thies disdrometers at Wasserkuppe.**

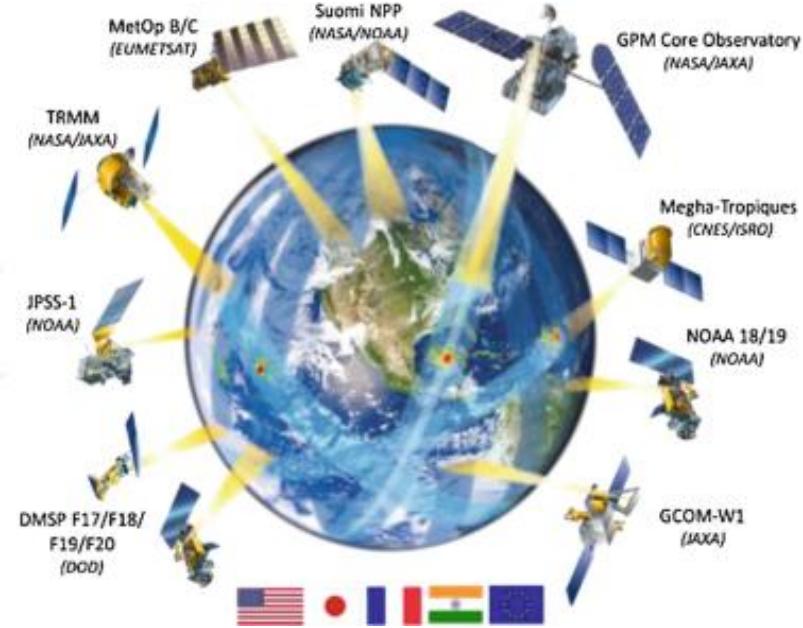


Precipitation Diurnal Cycle Assessment of Satellite-Based Estimates over Brazil



# Precipitación satelital

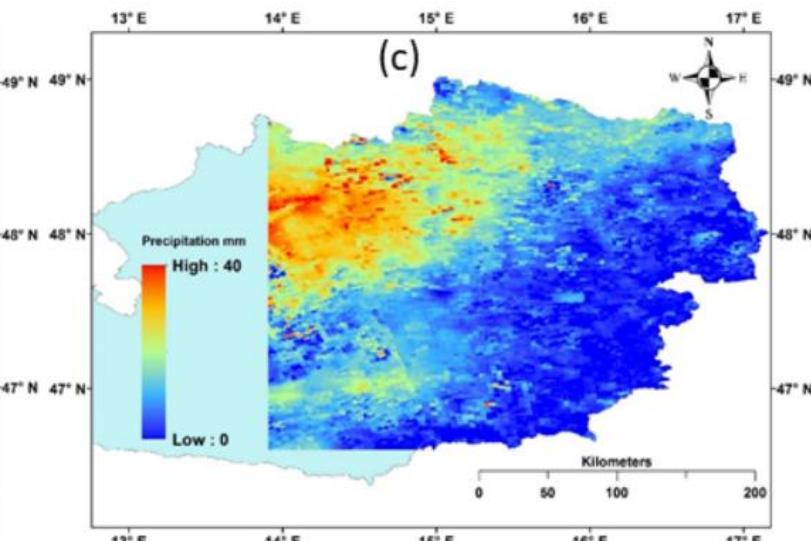
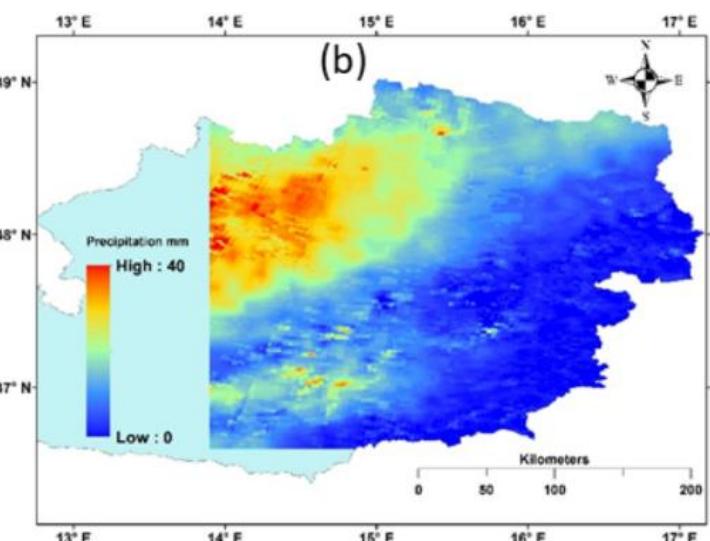
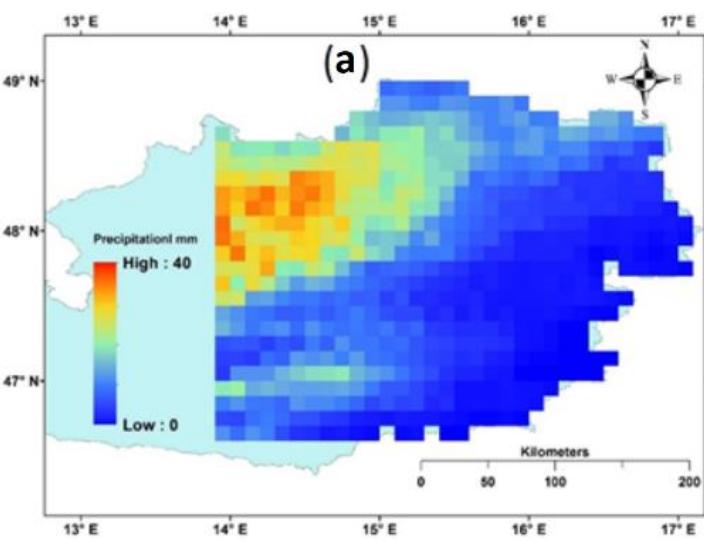
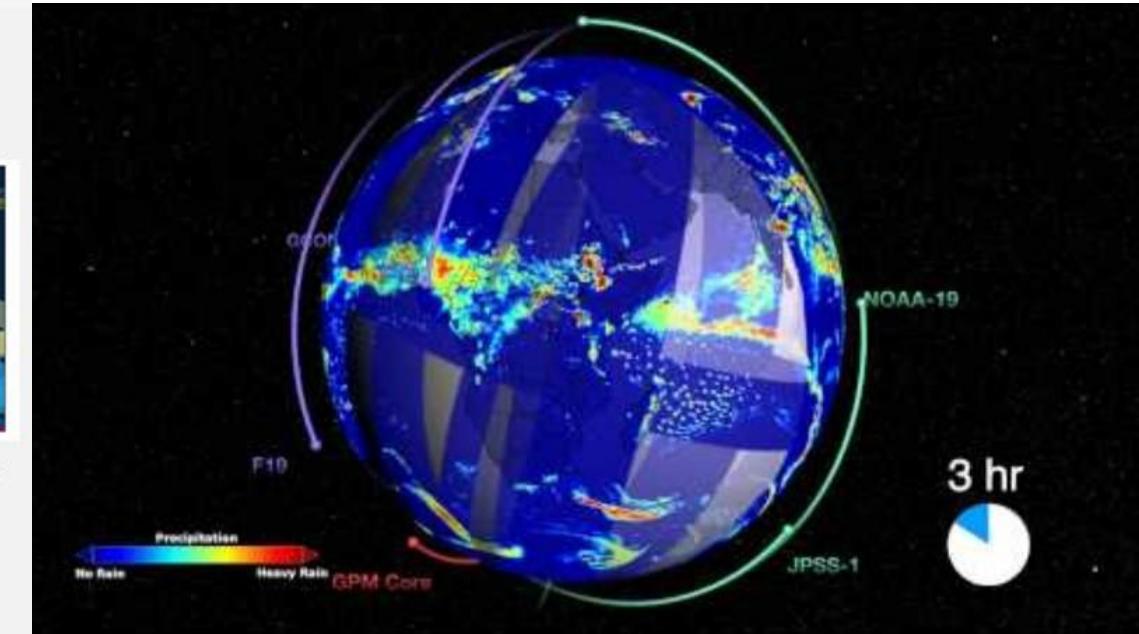
**Figure 5.5** Precipitación estimada por TRMM 3B42 entre (A) 15 a 06 UTC; y (B) 06 y 15 UTC. Adaptado de Paiva et al. (2011). (c) Imagen del sensor VIIRS (por sus siglas en inglés para Visible/Infrared Imager Radiometer Suite) en color verdadero correspondiente al 14 de julio de 2020 a las 16:48 UTC sobre la confluencia de los ríos Tapajós y Amazonas (recuadro negro punteado en a y b). Por el NOAA/OAR/ESRL PSL (<https://psl.noaa.gov>; Liebman y Smith 1996).



## TRMM and GPM Comparison



- TRMM measurements are limited to the tropics
- GPM measurements span middle & high latitudes







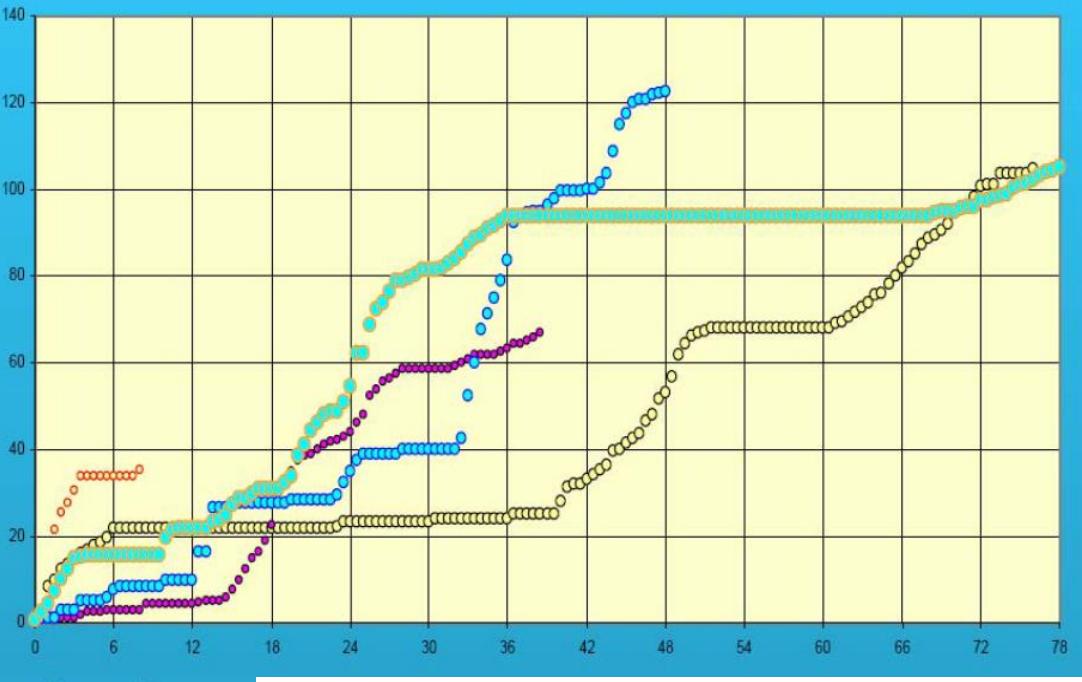
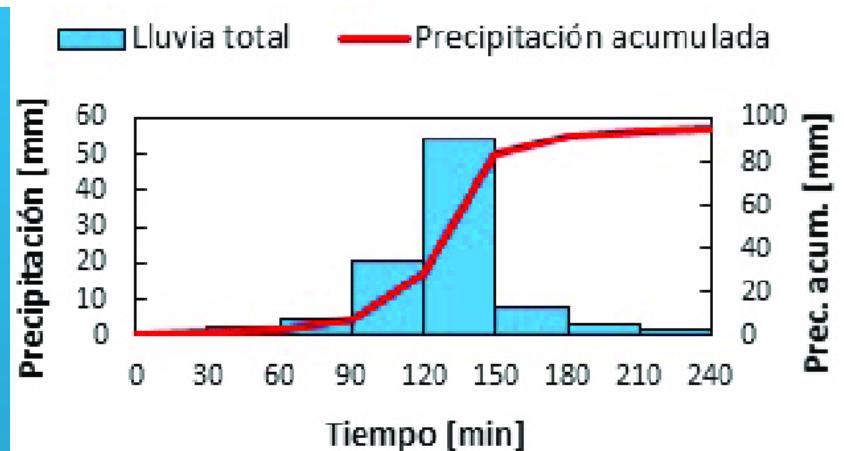
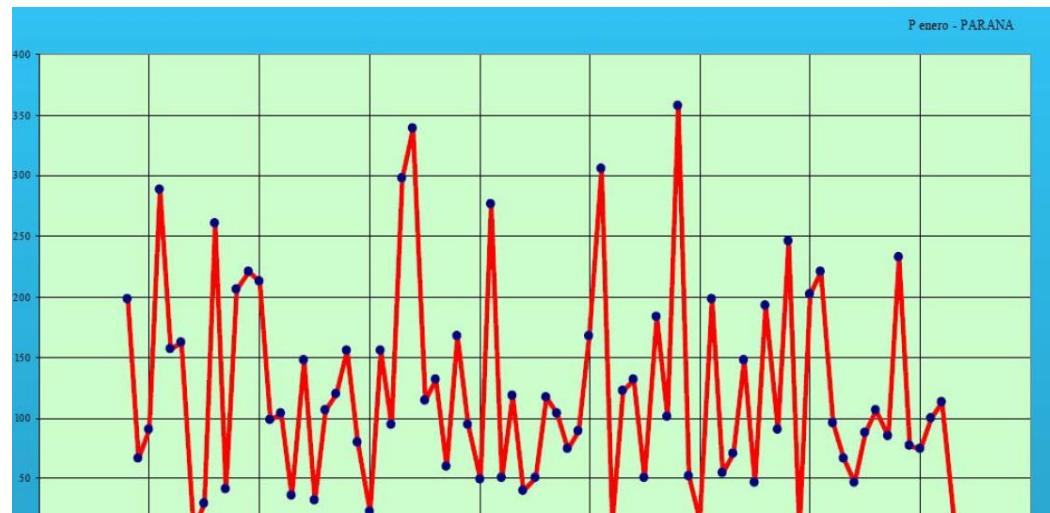
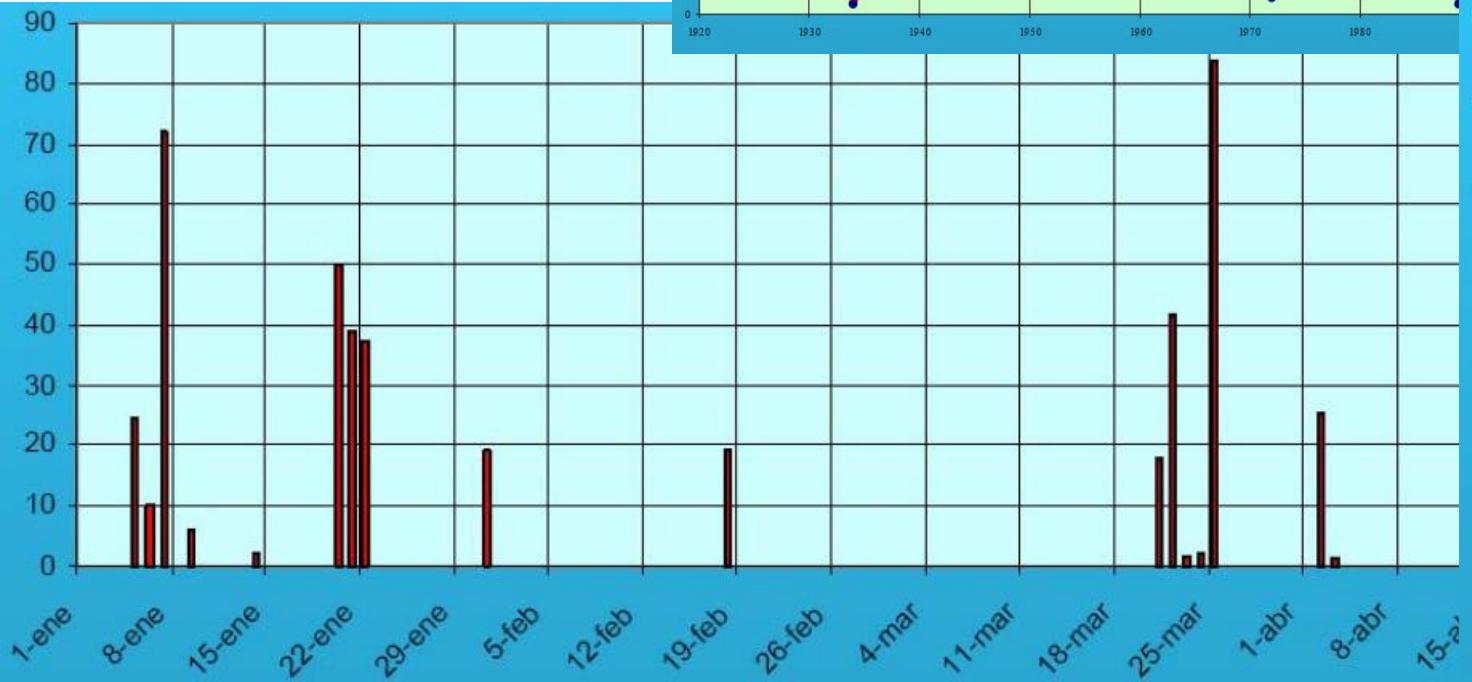
# Análisis de datos de precipitación

## Interpretación de datos de Precipitación.

- Análisis Estadístico de Datos Puntuales de Precipitación
  - Estadística Descriptiva.
- Análisis de series de tiempo.



Un hietograma es un gráfico que muestra cómo varía la precipitación en función del tiempo. Se representa mediante diagramas de barras



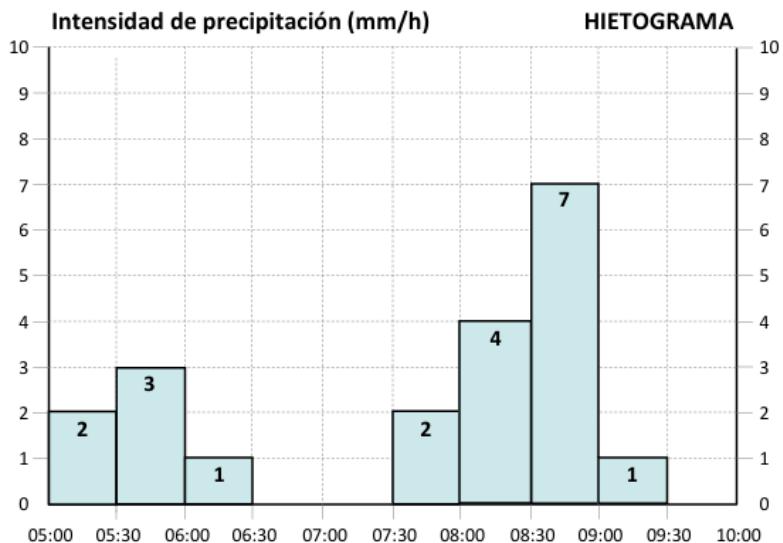
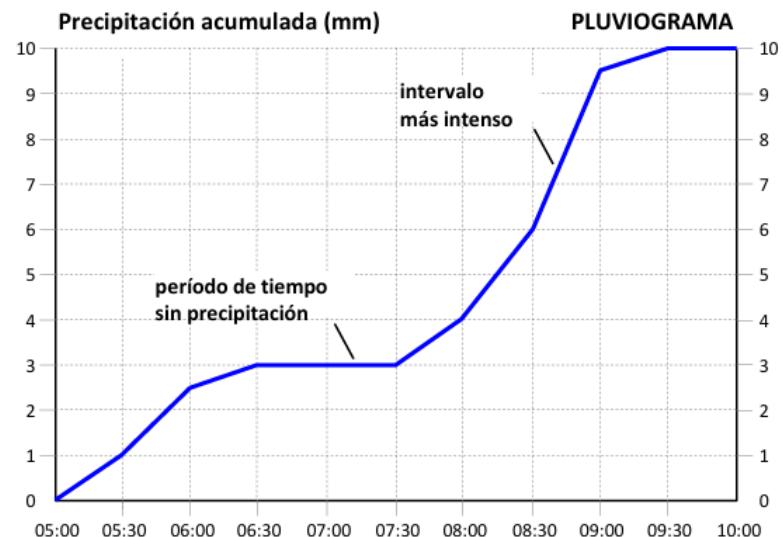


Tabla 3.5 Análisis de la tormenta del pluviograma de la figura 3.16

Hora (1)	Intervalo de tiempo (min) (2)	Tiempo acumulado (min) (3)	Lluvia parcial (mm) (4)	Lluvia acumulada (mm) (5)	Intensidad (mm/hr) (6) (4)×60/(2)
4	120	120	3	3	1.5
6	120	240	5	8	2.5
8	120	360	4	12	2.0
10	120	480	1	13	0.5
12	60	540	6	19	6.0
13	60	600	4	23	4.0
14	60	660	4	27	4.0
15	60	720	6	33	6.0
16	60	780	4	37	4.0
17	60	840	6	43	6.0
18	240	1080	10	53	2.5
22	120	1200	4	57	2.0
24	120	1320	2	59	1.0
2					

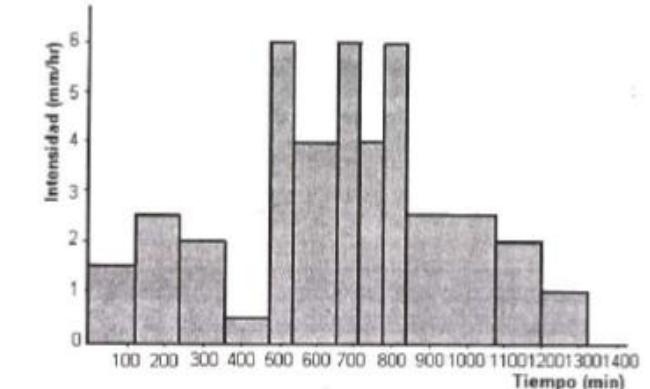
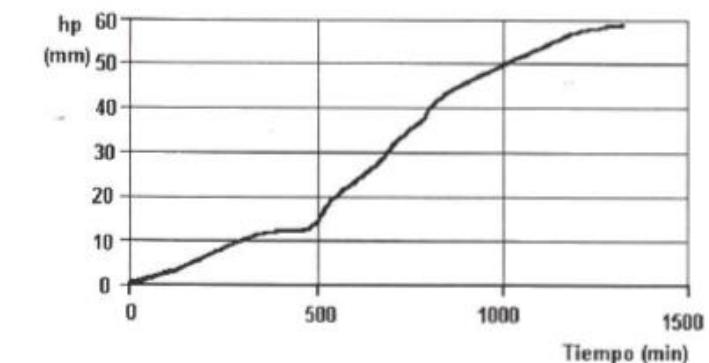


Figura 3.17 Hietograma de la tormenta del pluviograma de la figura 3.16



### Ejemplo:

Para la fila correspondiente a la hora 6:

- Lluvia parcial = 5 mm
- Intervalo de tiempo = 120 min

Aplicando la fórmula:

$$\text{Intensidad} = \frac{5}{120} \times 60 = \frac{5 \times 60}{120} = \frac{300}{120} = 2.5 \text{ mm/h}$$



# Estadística Descriptiva

- Medidas de la tendencia central
- Medidas de la dispersión
- Medidas de las características de forma de distribución



## • Medidas de la tendencia central

- Modulo pluviométrico anual, Panual, (P mensual)
  - Valor Medio
  - Valor Mediano
  - Valor Modal
- P anual Normal

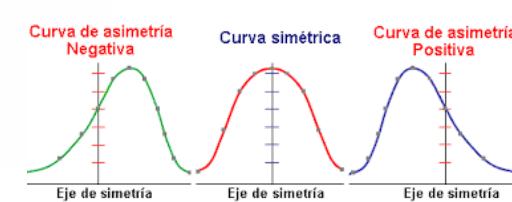
## • Medidas de la dispersión (Variabilidad Interanual)

- Varianza
- Desvío Standard
- Coeficiente de Variación
- Rango o Intervalo de variación
- Irregularidad interanual
- Distribución de Frecuencias
  - Curva de duración de precipitaciones anuales o Precipitaciones Clasificadas.

## • Medidas de la forma

- Simetría
- Curtosis (aplastamiento)

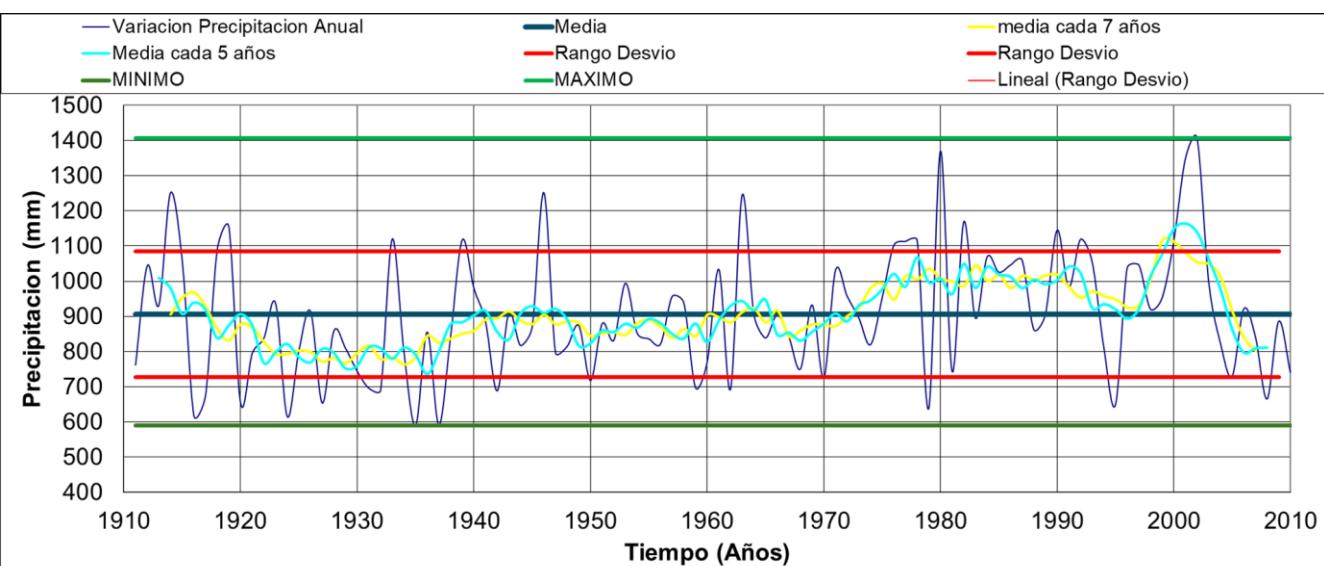
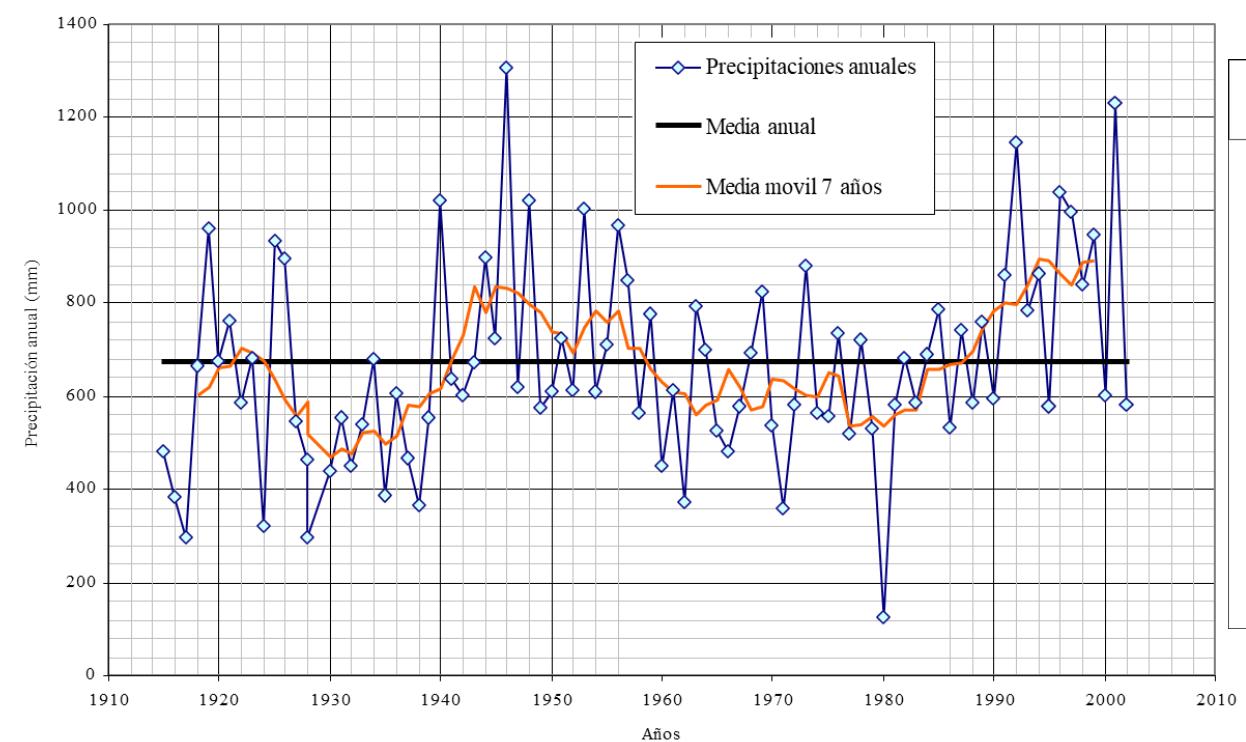
**TABLA 11.3.1**  
**Parámetros de población y estadísticas de muestra**

Parámetro de la población	Estadística de la muestra
1. <i>Punto medio</i>	1. <b>Desviación Estándar (DE):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Qué mide: la dispersión absoluta de los datos respecto a su media.</li> <li>• Unidad: la misma que los datos (por ejemplo, mm de lluvia).</li> <li>• Uso: útil cuando se trabaja con una sola variable o serie y se quiere saber cuánto varían los datos respecto a su media.</li> <li>• Ejemplo: Si tienes precipitaciones en mm, la DE te dice cuántos mm, en promedio, se desvian los valores de la media.</li> </ul>
Media aritmética $\mu = E(X) = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x) dx$	$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$
Mediana $x$ tal que $F(x) = 0.5$	Valor de la información en el punto medio
Media geométrica antilog [ $E(\log x)$ ]	$\left( \prod_{i=1}^n x_i \right)^{1/n}$
2. <i>Variabilidad</i>	2. <b>Coeficiente de Variación (CV):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Qué mide: la dispersión relativa (porcentaje) de los datos respecto a su media.</li> <li>• Unidad: sin unidad, se expresa en %.</li> <li>• Uso: muy útil para comparar la variabilidad entre distintas series, aunque tengan distintas unidades o medias.</li> <li>• Ejemplo: puedes comparar dos estaciones, una con media de 1000 mm y otra con 200 mm, y ver cuál tiene mayor variabilidad relativa.</li> </ul>
Varianza $\sigma^2 = E[(x - \mu)^2]$	👉 ¿Qué significa? Asimetría = 0 → la distribución es simétrica, como una distribución normal.
Desviación estándar $\sigma = \{E[(x - \mu)^2]\}^{1/2}$	Asimetría > 0 → la distribución es asimétrica positiva (cola más larga hacia la derecha). Hay valores extremos altos.
Coefficiente de variación $CV = \frac{\sigma}{\mu}$	Asimetría < 0 → la distribución es asimétrica negativa (cola más larga hacia la izquierda). Hay valores extremos bajos.
3. <i>Simetria</i>	Ejemplo aplicado a precipitación: En una serie de precipitaciones diarias, si la mayoría de los días llueve poco pero de vez en cuando ocurren lluvias intensas muy grandes, la distribución tendrá asimetría positiva.
Coefficiente de asimetría (oblicuidad) $\gamma = \frac{E[(x - \mu)^3]}{\sigma^3}$	
$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)s^3}$	

La desviación estándar y El coeficiente de variación son medidas estadísticas que indica cuánto se dispersan o se alejan los datos respecto a su media.



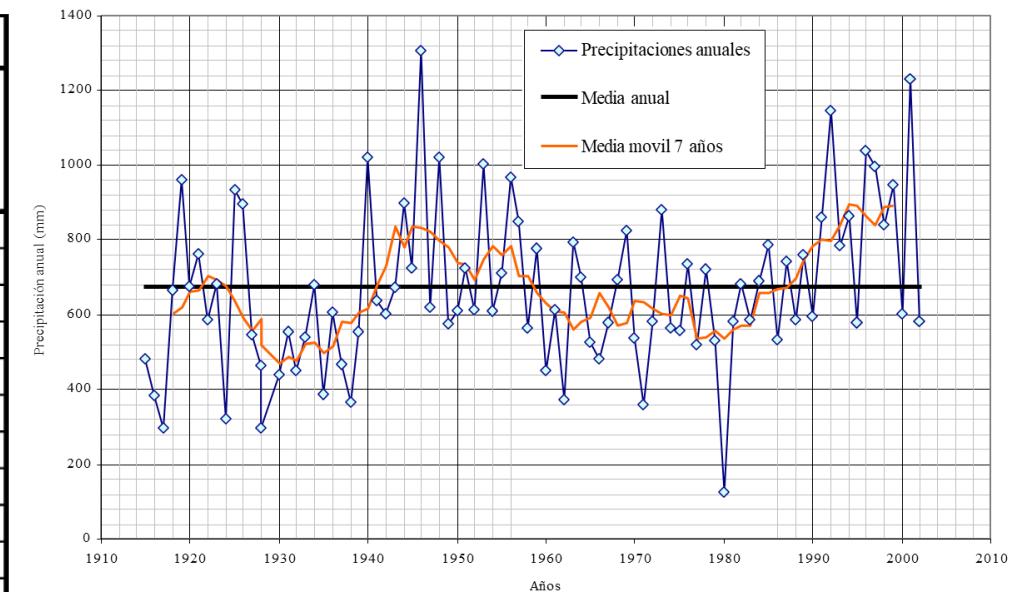
**Precipitaciones medias anuales - Estación: MACACHÍN**  
Período 1915-2001





Precipitaciones medias anuales - Estación: MACACHÍN  
Período 1915-2001

Estadística Descriptiva Macachín	VALOR NORMAL			PERÍODO 1915-2002						
	1961-1990	1941-1970	1921-1950	Media mensual	Mínimo mensual	Máximo mensual	Rango mensual	Varianza mensual ( $s^2$ )	Desvío standard mensual (s)	Cv mensual (%)
ENERO	68.2	69.8	61.4	75.1	0.0	234.0	234.0	2596.6	51.0	67.8
FEBRERO	68.4	61.8	80.0	72.7	0.0	262.0	262.0	3337.6	57.8	79.4
MARZO	91.7	116.0	100.6	97.5	0.0	373.0	373.0	4261.3	65.3	66.9
ABRIL	52.1	68.1	47.1	55.8	0.0	241.0	241.0	3143.6	56.1	100.4
MAYO	24.3	37.7	41.3	33.2	0.0	257.0	257.0	1564.3	39.6	119.1
JUNIO	13.3	36.5	23.3	24.6	0.0	178.0	178.0	1391.7	37.3	151.6
JULIO	18.3	22.9	20.9	19.4	0.0	153.3	153.3	728.7	27.0	139.2
AGOSTO	19.1	15.6	27.3	23.1	0.0	182.0	182.0	958.2	31.0	134.2
SEPTIEMBRE	48.6	48.6	40.0	44.9	0.0	223.0	223.0	1976.6	44.5	98.9
OCTUBRE	63.0	85.1	80.5	75.0	0.0	320.0	320.0	3198.7	56.6	75.5
NOVIEMBRE	92.1	95.2	69.6	82.8	0.0	210.0	210.0	2865.7	53.5	64.7
DICIEMBRE	70.1	68.7	70.2	73.7	0.0	371.0	371.0	4693.3	68.5	93.0
ANUAL	629	697	662	674.1						





# Análisis de Datos Puntuales de Precipitación - Estadística Descriptiva.

## Medidas de la tendencia central

Modulo pluviométrico anual, Panual, (P mensual)

Valor Medio Valor

Mediano Valor Modal

P anual Normal

## Medidas de la dispersión (Variabilidad Interanual)

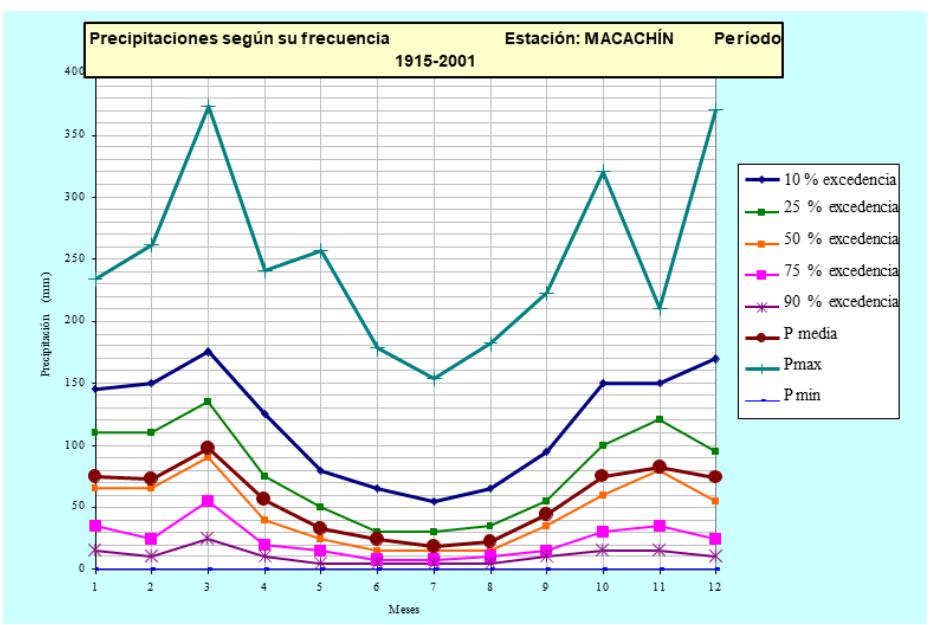
- Varianza
- Desvío Standard
- Coeficiente de Variación
- Rango o Intervalo de variación
- Irregularidad interanual
- Distribución de Frecuencias

• **Distribución anual de precipitaciones Distribuciones mensuales según su frecuencia**  
**Curva de duración de precipitaciones anuales y mensuales**

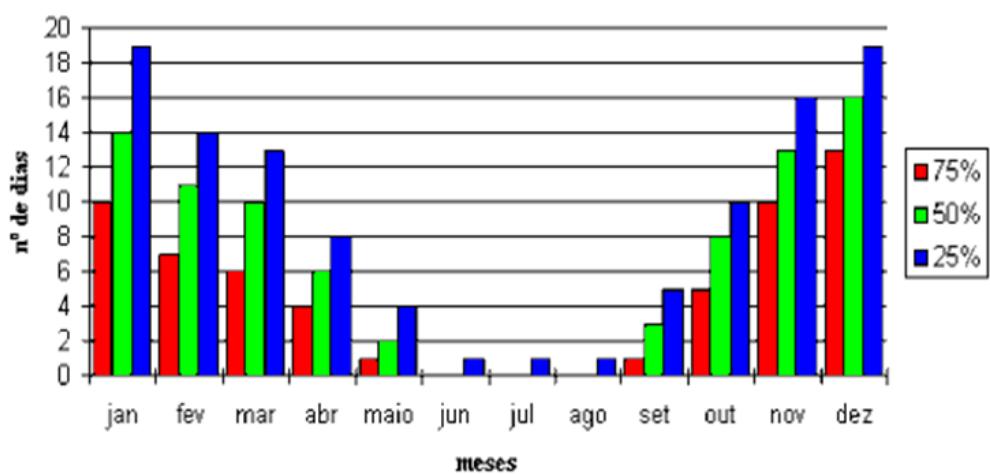
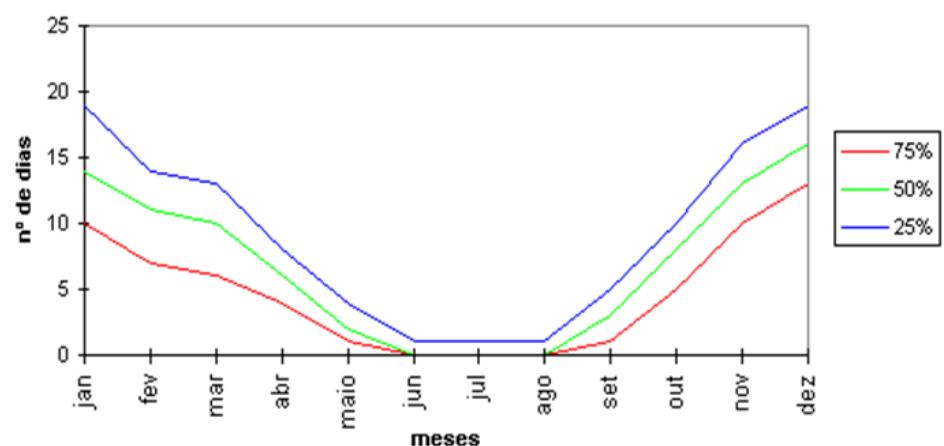
## Medidas de la forma

- Simetría
- Curtosis (aplastamiento)

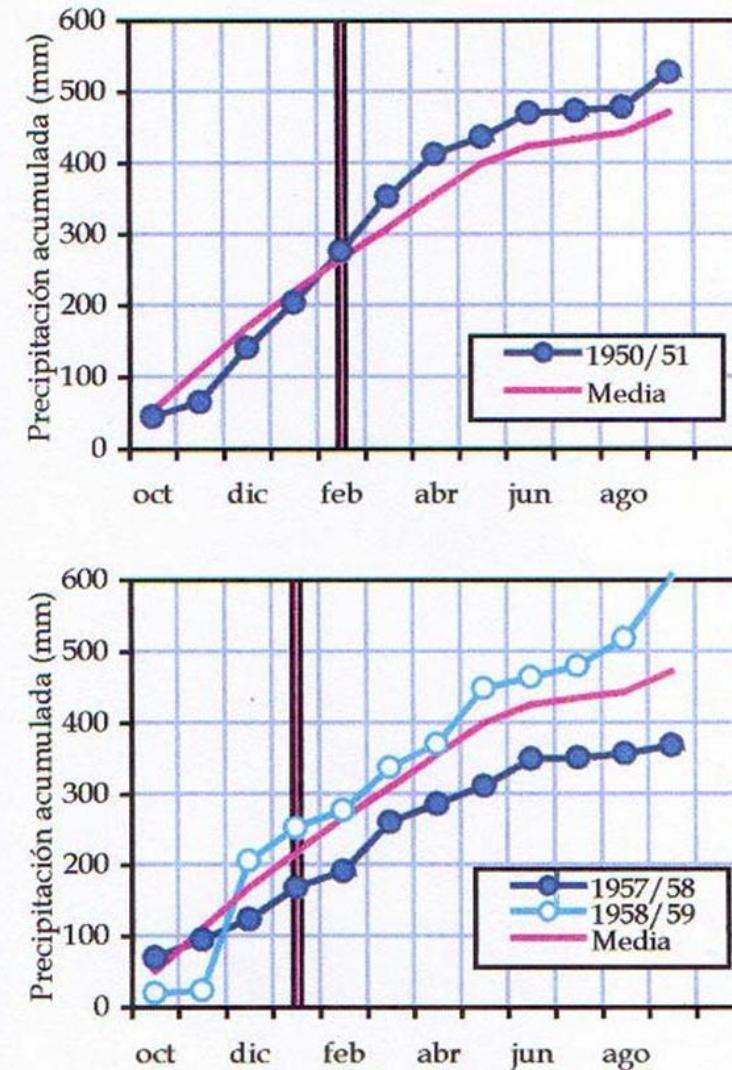
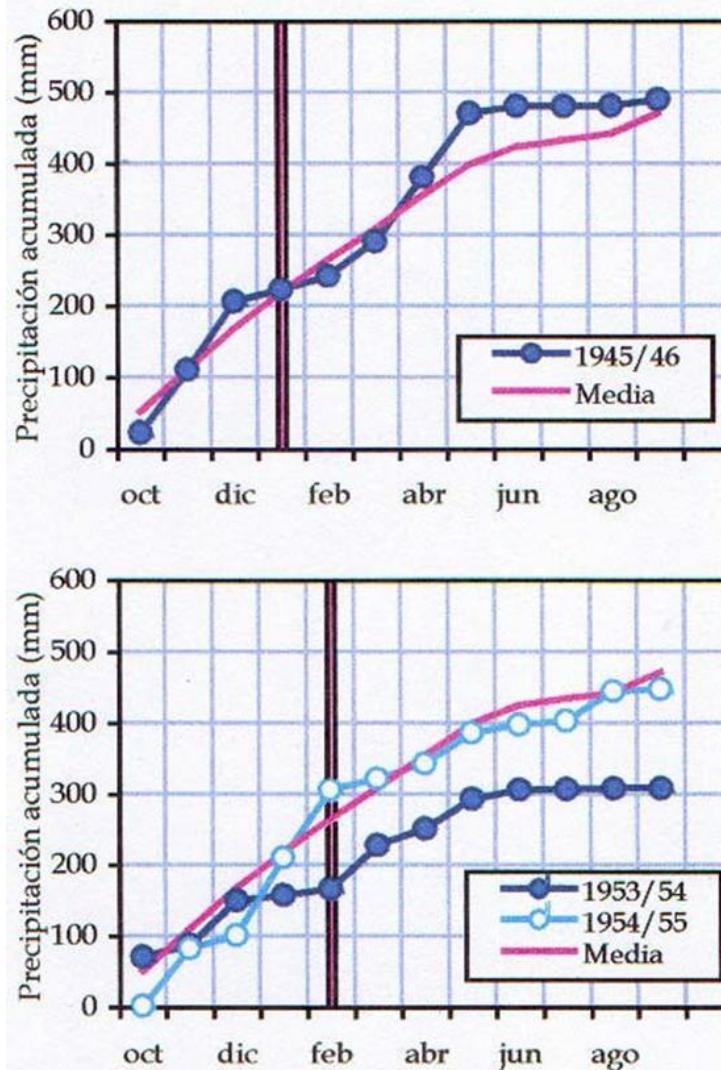
Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	ANUAL
1915	37	191	47	36	35	0	0	0	4	91	18	22	481
1916	71	0	0	42	10	0	5	99	48	24	20	65	384
1917	58	0	52	106	0	10	25	0	33	13	0	0	297
1918	93	82	82	0	0	14	0	39	53	158	134	10	665
1919	30	157	138	169	80	85	24	4	65	67	94	48	961
1920	97	88	59	30	0	0	20	14	21	51	201	96	677
1921	70	128	75	0	8	0	7	0	94	205	29	146	762
1922	95	77	51	15	32	69	10	0	33	66	92	45	585
1923	4	49	74	0	13	62	10	182	44	88	68	89	683
1924	99	8	78	32	11	9	4	4	27	7	10	32	321
1925	17	262	216	0	60	0	41	4	45	37	60	192	934
1926	72	100	146	104	15	27	47	94	11	89	138	51	894
1927	68	23	48	0	3	14	25	5	130	210	19	545	
1928	11	13	93	48	43	2	12	2	20	66	137	15	462
1929	94	14	9	43	5	5	5	10	4	83	18	5	295
1930	38	34	25	16	16	6	8	25	9	74	44	143	438
1931	160	72	71	29	0	0	62	19	8	38	39	54	552
1932	40	32	103	0	18	0	5	49	43	80	31	47	448
1933	75	100	151	30	56	7	1	11	47	18	11	33	540
1934	75	4	27	1	1	9	0	26	53	163	138	181	678
1935	62	0	45	2	17	0	20	5	0	100	37	99	387
1936	60	153	0	51	26	13	23	18	13	44	104	100	605
1937	1	42	139	2	113	4	13	19	10	38	72	15	468
1938	21	22	96	87	72	2	12	10	3	14	24	4	367
1939	37	86	34	7	104	53	10	3	81	90	7	41	553
1940	59	245	93	33	31	143	21	36	56	83	52	169	1021
1941	167	78	154	30	4	9	38	62	0	21	23	51	637
1942	48	182	50	18	3	5	0	13	13	72	147	50	601
1943	8	62	101	54	14	84	100	9	12	130	71	28	673
1944	106	61	150	241	57	6	0	5	33	188	19	34	900
1945	74	205	130	84	4	0	7	19	72	47	57	26	723
1946	50	50	127	202	141	138	62	32	92	93	113	206	1306
1947	10	74	185	36	2	4	27	11	7	125	115	23	619
1948	110	3	181	70	257	0	27	26	206	51	0	89	1020
1949	42	64	147	4	32	18	15	63	52	25	85	28	574
1950	7	78	118	125	42	0	6	9	67	70	68	21	610
1951	171	68	22	11	82	45	25	2	23	15	96	168	726
1952	44	20	42	0	4	154	8	17	49	203	49	26	614
1953	76	68	194	73	41	8	12	0	38	199	126	168	1002
1954	69	0	50	218	27	49	9	0	25	78	46	40	609
1955	61	107	109	51	30	16	103	9	8	49	120	49	709
1956	124	4	298	152	0	36	3	31	38	134	134	16	969
1957	148	28	136	42	56	178	6	0	26	125	102	4	851
1958	98	0	55	44	32	11	89	0	171	2	49	17	565
1959	41	134	67	58	20	93	9	4	17	172	111	53	778
1960	58	58	94	13	5	74	4	1	56	23	12	56	449
1961	64	65	17	32	48	0	43	0	37	56	107	147	614
1962	30	36	62	18	8	10	0	21	38	54	60	37	373
1963	11	65	130	52	3	41	13	16	86	88	143	149	793
1964	39	64	104	49	81	1	1	29	49	28	168	92	702
1965	125	32	79	61	7	21	0	0	0	13	145	44	525
1966	0	9	77	58	22	10	41	2	10	17	165	72	481
1967	43	0	0	121	43	2	14	0	9	220	71	58	579
1968	35	49	134	4	0	21	5	67	48	72	162	101	695
1969	73	98	252	59	21	19	0	6	48	21	180	52	826
1970	100	34	102	0	10	8	0	0	84	82	24	93	535
1971	16	10	45	9	56	2	11	54	93	46	10	11	360
1972	58	3	64	70	6	30	7	14	48	76	155	55	583
1973	100	165	147	45	6	47	3	28	223	36	79	2	880
1974	33	124	102	4	97	19	9	0	0	66	38	75	566
1975	105	65	61	54	29	47	2	8	34	65	61	28	556
1976	46	136	58	45	4	9	0	47	0	111	200	78	734
1977	82	129	46	23	0	0	10	23	10	56	26	116	520
1978	17	123	105	0	0	0	48	8	122	25	63	209	720
1979	52	49	128	0	6	17	0	8	14	132	49	76	531
1980	9	45	65	8	1	0	0	0	0	0	0	0	127
1981	61	24	0	211	68	17	7	0	12	70	53	61	583



Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	ANUAL
1915	37	191	47	36	35	0	0	0	4	91	18	22	481
1916	71	0	0	42	10	0	5	99	48	24	20	65	384
1917	58	0	52	106	0	10	25	0	33	13	0	0	297
1918	93	62	62	0	0	14	0	39	53	158	134	10	665
1919	30	157	138	169	80	85	24	4	65	67	94	48	961
1920	97	88	59	30	0	0	20	14	21	51	201	96	677
1921	70	128	75	0	8	0	7	0	94	205	29	146	762
1922	95	77	51	15	32	69	10	0	33	66	92	45	585
1923	4	49	74	0	13	62	10	182	44	88	68	89	683
1924	99	8	78	32	11	9	4	4	27	7	10	32	321
1925	17	262	216	0	60	0	41	4	45	37	60	192	934
1926	72	100	146	104	15	27	47	94	11	69	138	51	894
1927	68	23	48		3		14	25	5	130	210	19	545
1928	11	13	93	48	43	2	12	2	20	66	137	15	462
1929	94	14	9	43	5	5	5	10	4	83	18	5	295
1930	38	34	25	16	16	6	8	25	9	74	44	143	438
1931	160	72	71	29	0	0	62	19	8	38	39	54	552
1932	40	32	103	0	18	0	5	49	43	80	31	47	448
1933	75	100	151	30	56	7	1	11	47	18	11	33	540
1934	75	4	27	1	1	9	0	26	53	163	138	181	678
1935	62	0	45	2	17	0	20	5	0	100	37	99	387
1936	60	153	0	51	26	13	23	18	13	44	104	100	605
1937	1	42	139	2	113	4	13	19	10	38	72	15	468
1938	21	22	96	87	72	2	12	10	3	14	24	4	367
1939	37	86	34	7	104	53	10	3	81	90	7	41	553
1940	59	245	93	33	31	143	21	36	56	83	52	169	1021
1941	167	78	154	30	4	9	38	62	0	21	23	51	637
1942	48	182	50	18	3	5	0	13	13	72	147	50	601
1943	8	62	101	14	84	100	9	12	130	71	28	673	
1944	106	61	150	241	57	6	0	5	33	188	19	34	900
1945	74	205	130	84	4	0	7	19	72	47	57	26	723
1946	50	50	127	202	141	138	62	32	92	93	113	206	1306
1947	10	74	185	36	2	4	27	11	7	125	115	23	619
1948	110	3	181	70	257	0	27	26	206	51	0	89	1020
1949	42	64	147	4	32	18	15	63	52	25	85	28	574
1950	7	78	118	125	42	0	6	9	67	70	68	21	610
1951	171	68	22	11	82	45	25	2	23	15	96	168	726
1952	44	20	42	0	4	154	8	17	49	203	49	26	614
1953	76	68	194	73	41	8	12	0	38	199	126	168	1002
1954	69	0	50	218	27	49	9	0	25	78	46	40	609
1955	61	107	109	51	30	16	103	9	8	49	120	49	709
1956	124	4	298	152	0	36	3	31	38	134	134	16	969
1957	148	28	136	42	56	178	6	0	26	125	102	4	851
1958	98	0	55	44	32	11	89	0	171	2	49	17	565
1959	41	134	67	58	20	93	9	4	17	172	111	53	778
1960	56	58	94	13	5	74	4	1	56	23	12	56	449
1961	64	65	17	32	48	0	43	0	37	56	107	147	614
1962	30	36	62	18	8	10	0	21	38	54	60	37	373
1963	11	65	130	52	3	41	13	16	86	88	143	149	793
1964	39	64	104	49	81	1	1	29	49	28	168	92	702
1965	125	32	79	61	7	21	0	0	0	13	145	44	525
1966	0	9	77	58	22	10	41	2	10	17	165	72	481
1967	43	0	121	43	2	14	0	9	220	71	58	579	
1968	35	49	134	4	0	21	5	67	48	72	162	101	695
1969	73	98	252	59	21	19	0	6	48	21	180	52	826
1970	100	34	102	0	10	8	0	0	84	82	24	93	535
1971	16	10	45	9	56	2	11	54	93	46	10	11	360
1972	58	3	64	70	6	30	7	14	48	76	155	55	583
1973	100	165	147	45	6	47	3	28	223	36	79	2	880
1974	33	124	102	4	97	19	9	0	0	66	38	75	566
1975	105	65	61	54	29	47	2	8	34	65	61	28	556
1976	46	136	58	45	4	9	0	47	0	111	200	78	734
1977	82	129	46	23	0	0	10	23	10	56	26	116	520
1978	17	123	105	0	0	0	48	8	122	25	63	209	720
1979	52	49	128	0	6	17	0	8	14	132	49	76	531
1980	9	45	65	8	1	0	0	0	0	0	0	0	127
1981	61	24	0	211	68	17	7	0	12	70	53	61	583



## Número de días con precipitación Análisis Frecuencias mensuales





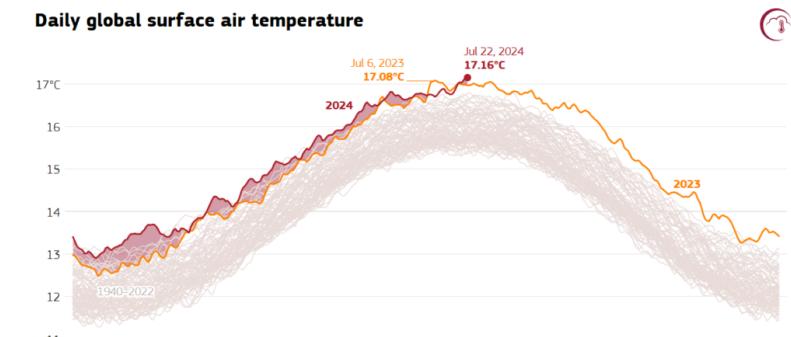
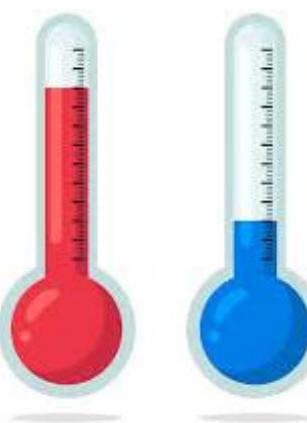
## 1. Importancia en Climatología

**Elemento climático fundamental:** Define zonas térmicas del planeta

**Indicador del cambio climático:** Registros históricos revelan tendencias globales

**Factor determinante:** Influye en precipitación, presión atmosférica y vientos

**Impacto socioeconómico:** Afecta agricultura, salud, energía y biodiversidad.



Data for 2024 shown up to 23 July. Data for 23 July 2024 is preliminary.

Data source: ERA5 • Credit: C3S/ECMWF



## 2. FUNDAMENTOS FÍSICOS

### Calor vs Temperatura

- **Calor:** Energía en tránsito entre sistemas a diferente temperatura.
- **Temperatura:** Medida de la energía cinética promedio de las partículas.

### Escalas de Medición

- **Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ):** Punto de congelación del agua =  $0^{\circ}\text{C}$ , ebullición =  $100^{\circ}\text{C}$
- **Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ):** Usado principalmente en EE.UU. ( $32^{\circ}\text{F} = 0^{\circ}\text{C}$ )
- **Kelvin (K):** Escala absoluta,  $0\text{ K} = -273.15^{\circ}\text{C}$

Energía que un objeto posee debido a su movimiento y depende directamente de su masa y velocidad.

### Calor

El calor es la transferencia de energía térmica desde un cuerpo con una temperatura más alta a uno con una temperatura más baja



### Temperatura

La temperatura es una medida de la energía cinética promedio de las partículas





### 3. MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA

#### Instrumentos de Medición

##### Termómetros Tradicionales

- **Termómetro de mercurio:** Alta precisión, uso limitado por toxicidad
- **Termómetro de alcohol:** Alternativa segura para bajas temperaturas
- **Termómetro de máxima y mínima:** Registra extremos diarios

#### Instrumentos Modernos

- **Termómetros digitales:** Sensores electrónicos de alta precisión
- **Termógrafos:** Registro continuo automático
- **Estaciones meteorológicas automáticas:** Medición integrada múltiples variables
- **Sensores satelitales:** Cobertura global y teledetección



#### Normas de Medición (OMM)

- **Altura estándar:** 1.5 metros sobre el suelo
- **Abrigo meteorológico:** Protección de radiación directa
- **Ubicación:** Alejado de fuentes artificiales de calor
- **Horarios:** Observaciones sinópticas cada 3 horas



## Temperaturas básicas del aire

**Temperatura del aire o de bulbo seco** - La medición más común, tomada en el abrigo meteorológico a 1.5-2 metros de altura, protegida de la radiación solar directa y con buena ventilación.

**Temperatura máxima diaria** - El valor más alto registrado durante un período de 24 horas, generalmente medida con termómetros de máximas.

**Temperatura mínima diaria** - El valor más bajo del día, crucial para determinar riesgos de heladas y calcular la amplitud térmica.



**Agricultura:**  
Determinar riesgo de plagas y enfermedades, calcular evapotranspiración de cultivos, y programar riegos.

## Temperaturas especializadas

**Temperatura de bulbo húmedo** - Medida con un termómetro cuyo bulbo está envuelto en una mecha húmeda, esencial para calcular la humedad relativa y el punto de rocío.

**Temperatura del punto de rocío** - La temperatura a la cual el aire se satura de vapor de agua, fundamental para pronósticos de niebla y precipitación. Temperatura a la cual se forma condensación.

**Temperatura del suelo** - Se mide a diferentes profundidades (superficie, 5 cm, 10 cm, 20 cm, 50 cm, 100 cm) para estudiar el intercambio de calor entre la atmósfera y el suelo.

La diferencia entre ambas temperaturas permite calcular la humedad del aire:

- **Diferencia pequeña** = aire muy húmedo (poca evaporación)
- **Diferencia grande** = aire seco (muchas evaporación)



## 4. APLICACIONES PRÁCTICAS

### Gestión de Cultivos

**Programación de siembras y cosechas:** Las temperaturas del suelo y del aire determinan cuándo es óptimo sembrar cada cultivo. Por ejemplo, el maíz requiere temperaturas del suelo superiores a 10°C para germinar adecuadamente.

**Predicción de fases fenológicas:** La acumulación de grados día (temperatura promedio menos temperatura base del cultivo) permite predecir cuándo ocurrirán eventos como floración, formación de frutos o maduración.



### Control de Plagas y Enfermedades

**Modelos predictivos:** Muchos patógenos y plagas tienen rangos de temperatura específicos para su desarrollo. Medir temperaturas permite anticipar brotes y aplicar tratamientos preventivos de manera oportuna.

**Optimización de aplicaciones:** La efectividad de las aplicaciones varía según la temperatura, por lo que su medición ayuda a determinar el momento óptimo de aplicación.



### Manejo del Riego

**Cálculo de evapotranspiración:** Las temperaturas del aire y del suelo son variables clave para estimar cuánta agua necesitan los cultivos, optimizando el uso del recurso hídrico.

**Programación de riegos:** Las diferencias de temperatura entre día y noche influyen en los momentos más efectivos para el riego.



## Protección contra Heladas

**Sistemas de alerta temprana:** Monitorear temperaturas mínimas permite activar sistemas de protección como aspersores, calefactores o ventiladores antes de que ocurra daño por heladas.

**Selección de variedades:** Conocer los rangos de temperatura de una zona ayuda a elegir variedades resistentes al frío.

## Optimización de Ambientes Controlados

**Invernaderos:** El control preciso de temperatura maximiza el crecimiento y la calidad de los productos, especialmente en cultivos de alto valor como tomates, pepinos o flores.

**Almacenamiento postcosecha:** Mantener temperaturas específicas preserva la calidad y extiende la vida útil de frutas y verduras.

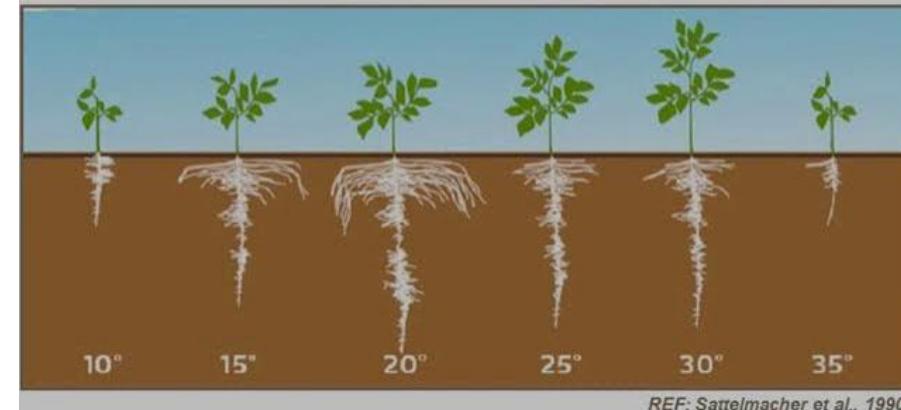
## Agricultura de Precisión

**Mapeo térmico:** Usar sensores distribuidos en el campo permite identificar microclimas y ajustar el manejo específico por zonas, optimizando rendimientos y reduciendo costos.

La medición continua y precisa de temperaturas se ha vuelto esencial para una agricultura moderna, eficiente y sostenible, especialmente considerando los desafíos del cambio climático.



Effects of soil temperature on root development





## VELOCIDAD DEL VIENTO

**Definición:** La velocidad del viento es la rapidez con la que se desplaza el aire en la atmósfera, medida generalmente en metros por segundo (m/s), kilómetros por hora (km/h) o nudos (kt).

### Características Principales:

**Vector tridimensional:** Tiene magnitud, dirección y sentido

**Componentes:** Horizontal (más importante) y vertical

**Variabilidad:** Cambia constantemente en el tiempo y en el espacio.

**Unidades comunes:** m/s, km/h, nudos, mph.



### Factores que Influyen en la Velocidad del Viento

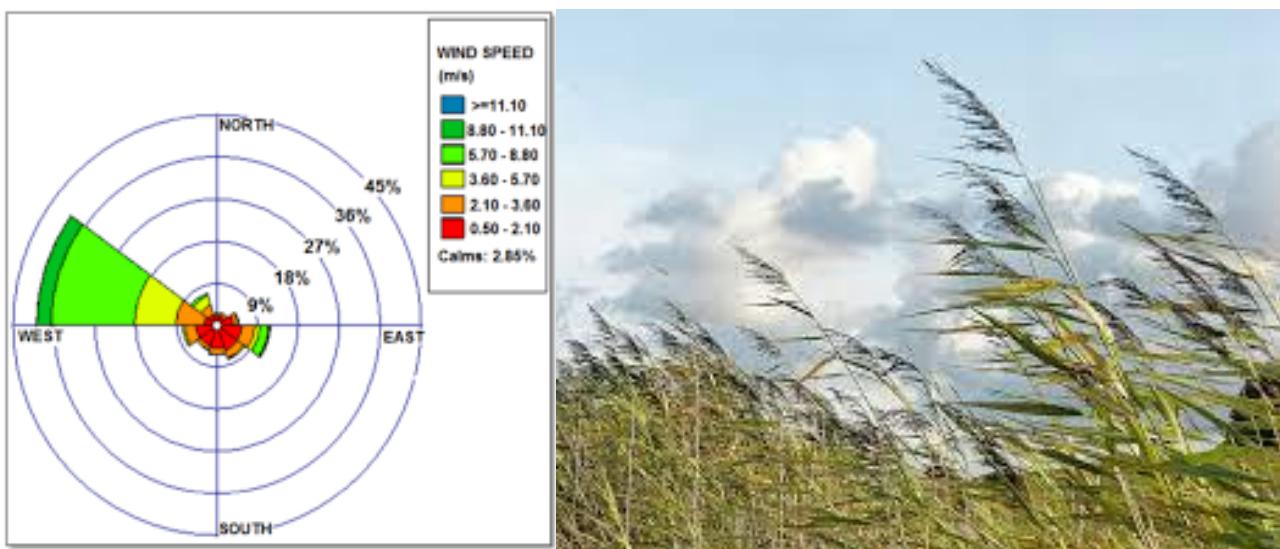
**Gradientes de presión:** El aire se mueve de alta a baja presión

**Calentamiento diferencial:** Diferencias de temperatura entre superficies

**Rotación terrestre:** Efecto Coriolis desvía el movimiento del aire

**Topografía:** Montañas, valles y costas modifican los patrones

**Convección:** Movimientos verticales por calentamiento





## Fuerza del gradiente de presión = $-\nabla p/\rho$

- Explica por qué el aire se mueve en la atmósfera (viento): el aire fluye desde regiones de alta presión hacia regiones de baja presión.
- En hidráulica subterránea, este mismo principio se asocia al **gradiente hidráulico** que impulsa el flujo de agua a través de los poros de un acuífero.

### • Gradiente de presión ( $\nabla p$ )

- El símbolo  $\nabla$  (nabla) representa el operador gradiente.
- Aplicado a la presión  $p$ , indica cómo cambia la presión en el espacio Matemáticamente:
- Esto nos dice hacia dónde aumenta más rápidamente la presión.

$$\nabla p = \left( \frac{\partial p}{\partial x}, \frac{\partial p}{\partial y}, \frac{\partial p}{\partial z} \right)$$

### • Signo negativo (-)

- El movimiento de un fluido no se da hacia donde la presión aumenta, sino hacia donde disminuye.
- Por eso se coloca el signo negativo: el fluido "es empujado" de la zona de mayor presión hacia la de menor presión.

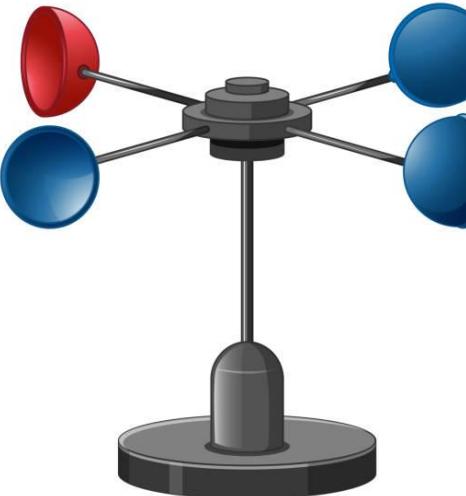
### • División entre densidad ( $\rho$ )

- La fuerza del gradiente de presión se expresa como **fuerza por unidad de masa** (una **aceleración**).
- Al dividir el gradiente de presión entre la densidad, se obtiene esa aceleración debida a la diferencia de presión.



## Instrumentos de Medición

**Anemómetro de cazoletas:** Más común, mide velocidad horizontal



**Anemógrafo:** Registro continuo, gráfica la variación temporal



**Veleta:** Complementa la medición indicando dirección

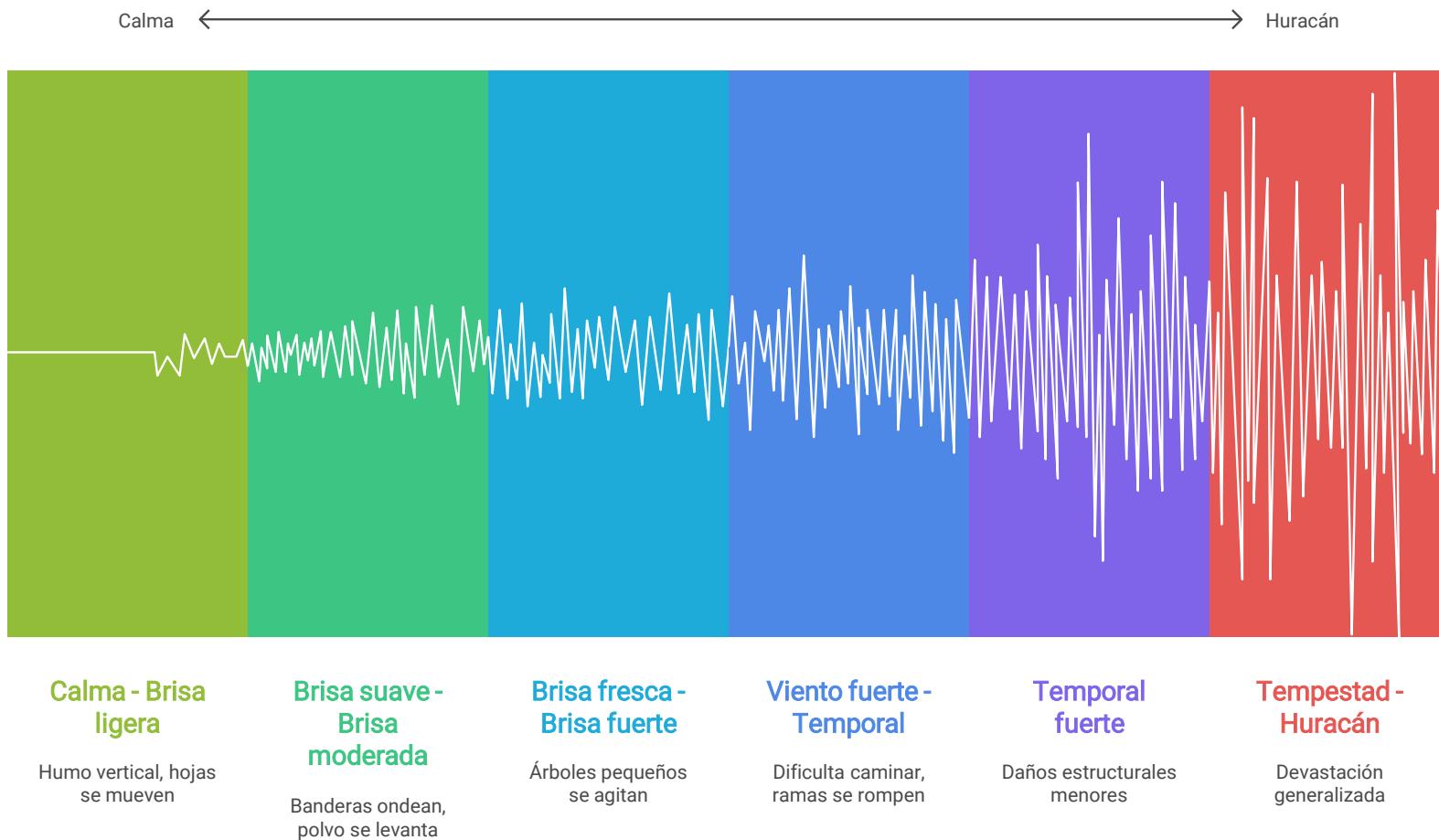


**Anemómetro Sónico:** Alta precisión, medición ultrasónica sin partes móviles





La escala de Beaufort clasifica la intensidad del viento según sus efectos observables.





## Variabilidad Temporal

El viento varía en diferentes escalas de tiempo:

- **Turbulencia (segundos):** Fluctuaciones rápidas y caóticas
- **Ráfagas (minutos):** Aumentos súbitos de velocidad
- **Ciclo diario:** Brisas térmicas, calmas nocturnas
- **Variación estacional:** Vientos monzónicos, alisios
- **Cambios interanuales:** El Niño, La Niña
- **Tendencias climáticas:** Cambio climático a largo plazo

**Importante:** Las mediciones estándar se promedian cada 10 minutos para filtrar turbulencias.

## Variabilidad Espacial

**Factores que influyen en la distribución del viento:**

- **Altitud:** Velocidad aumenta con la altura (perfil logarítmico)
- **Rugosidad del terreno:** Ciudades vs. océanos
- **Topografía:** Valles canalizan, montañas bloquean
- **Efectos costeros:** Brisas marinas y terrestres
- **Islas de calor urbano:** Modifican patrones locales
- **Latitud:** Cinturones de vientos planetarios



## APLICACIONES PRÁCTICAS

- **Evapotranspiración:** El viento aumenta la pérdida de agua de cultivos
- **Dispersión de polen:** Fundamental para la polinización
- **Control de plagas:** Migración y dispersión de insectos
- **Aplicación de pesticidas:** Deriva y efectividad del tratamiento
- **Protección de cultivos:** Cortinas rompevientos
- **Secado de granos:** Ventilación natural de silos
- **Riesgo de incendios:** Propagación del fuego

**La velocidad del viento es una variable climática fundamental que:**

- **Influye directamente** en procesos meteorológicos y climáticos
- **Requiere medición precisa** con instrumentos especializados
- **Presenta alta variabilidad** temporal y espacial
- **Tiene aplicaciones críticas** en múltiples sectores
- **Es afectada** por el cambio climático global
- **Constituye un recurso energético** renovable importante

**Su estudio es esencial para la comprensión del sistema climático**



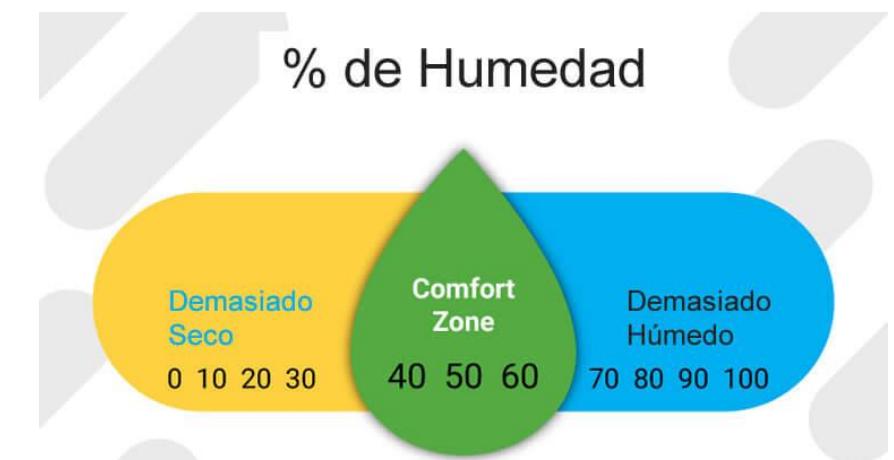
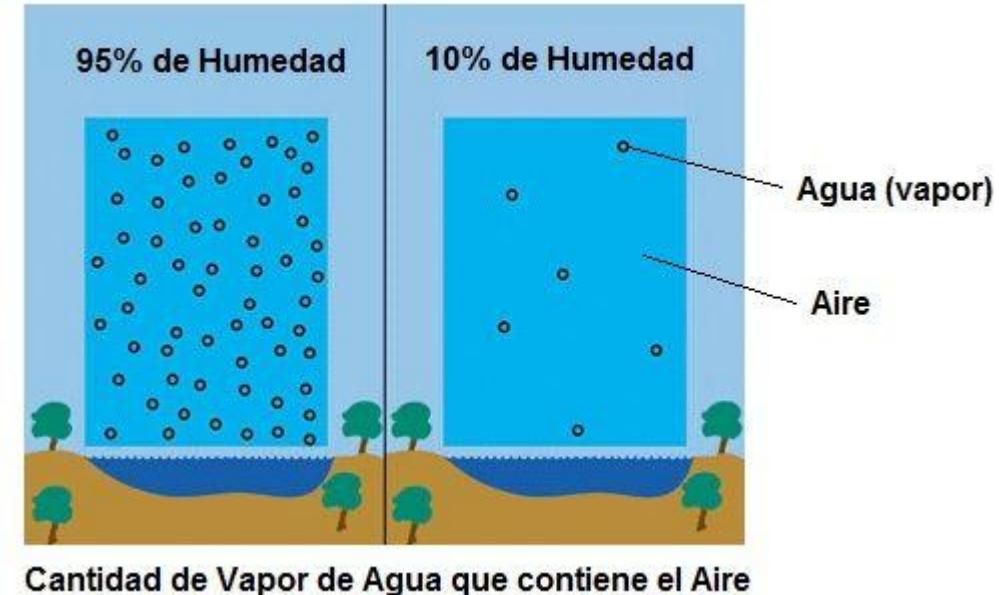
## Humedad relativa

La humedad relativa es la relación entre la cantidad de vapor de agua presente en el aire y la cantidad máxima que podría contener a una temperatura específica.

$$HR = (\text{Humedad Absoluta} / \text{Humedad de Saturación}) \times 100\%$$

- Se expresa como un porcentaje (%)
- Varía entre 0% (aire completamente seco) y 100% (aire saturado)
- Depende directamente de la temperatura del aire
- Es independiente de la presión atmosférica para fines prácticos

### ¿QUÉ ES HUMEDAD?





## Humedad Absoluta

- **Definición:** Cantidad real de vapor de agua presente en el aire, expresada como masa por volumen.
- **Unidad típica:** g/m<sup>3</sup>.
- **Ejemplo:** Si en 1 m<sup>3</sup> de aire hay 10 gramos de vapor de agua, la humedad absoluta es **10 g/m<sup>3</sup>**.
- **Importancia:** Mide la densidad del vapor de agua, pero depende de la temperatura y la presión.

## Humedad Específica

- **Definición:** Relación entre la masa de vapor de agua y la masa total de aire húmedo (aire seco + vapor de agua).
- **Unidad típica:** g/kg.
- **Ejemplo:** Si en 1 kg de aire húmedo hay 15 gramos de vapor de agua, la humedad específica es **15 g/kg**.
- **Importancia:** Es más útil que la humedad absoluta porque no cambia con la expansión o compresión del aire.

## Punto de Rocío

- **Definición:** Temperatura a la cual el aire debe enfriarse (a presión constante) para alcanzar saturación (HR = 100%).
- **Ejemplo:** Si el aire está a 25 °C y con 60% de humedad relativa, el punto de rocío puede ser unos 16 °C.
- **Importancia:** Indica la cantidad real de vapor de agua en el aire y está directamente ligado a la formación de rocío, niebla o nubes.

### Cálculo exacto usando la ecuación de Magnus-Tetens:

La fórmula correcta es:  $Td = (\beta \times \gamma) / (\alpha - \gamma)$

Donde:  $\gamma = \ln(HR/100) + (\alpha \times T) / (\beta + T)$

Resultado del cálculo:

Punto de rocío = 16.7°C

Explicación de los pasos:

$$1. \ln(HR/100) = \ln(0.6) = -0.5108$$

$$2. (\alpha \times T) / (\beta + T) = (17.625 \times 25) / (243.04 + 25) = 1.6439$$

$$3. \gamma = -0.5108 + 1.6439 = 1.1331$$

$$4. Td = (243.04 \times 1.1331) / (17.625 - 1.1331) = 16.70°C$$



¿De qué depende la cantidad de agua que puede contener un aire?

Pues depende de la temperatura.

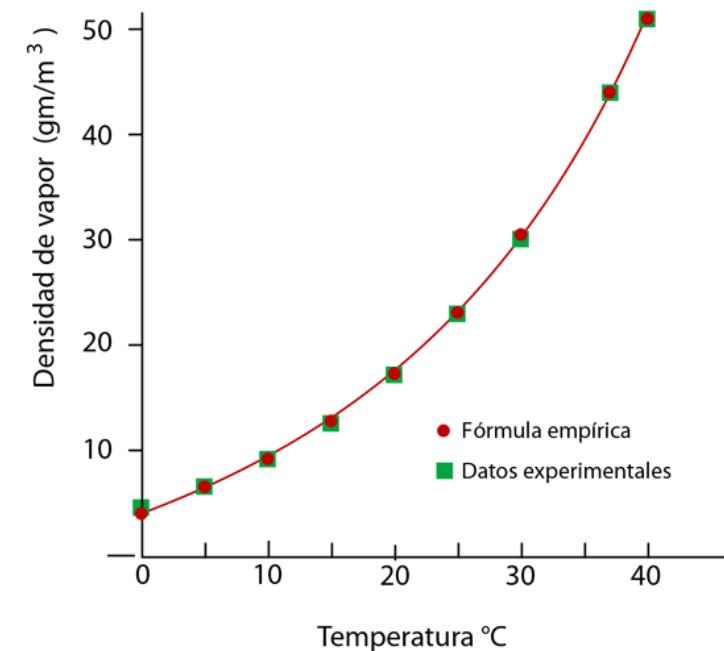
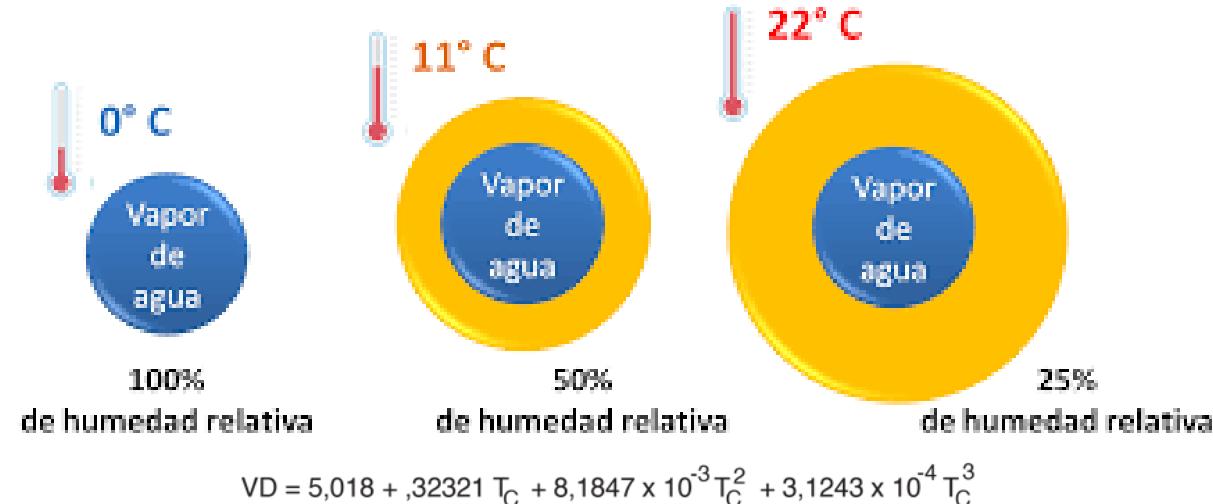
**Cuanto mayor es la temperatura de ese aire, más cantidad de vapor de agua puede contener el mismo aire.**

Esto quiere decir que el mismo aire puede estar saturado de vapor de agua a una temperatura, pero si aumentamos su temperatura, podremos introducir en él más vapor.

Dicho de otra forma.

¿Cómo podríamos meter más vapor de agua en un aire saturado?

Muy sencillo... **aumentando su temperatura.**





## INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

### Principales instrumentos:

- **Psicrómetro:** Utiliza dos termómetros (bulbo seco y húmedo)
- **Higrómetro de cabello:** Basado en la expansión/contracción del cabello
- **Higrómetro electrónico:** Sensores de capacitancia o resistencia
- **Higrógrafo:** Registro continuo de la humedad relativa
- **Radiosonda:** Para mediciones en altura



### Método del Psicrómetro

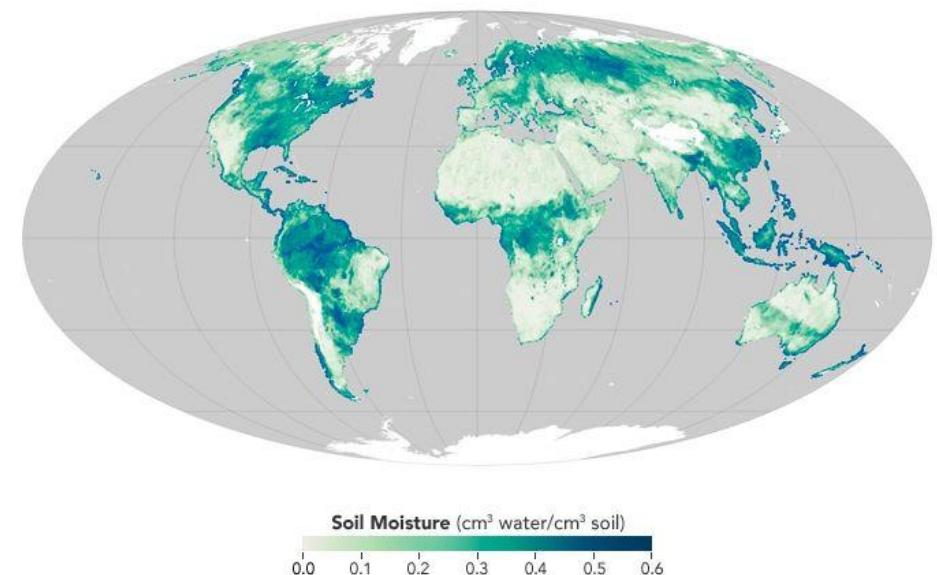
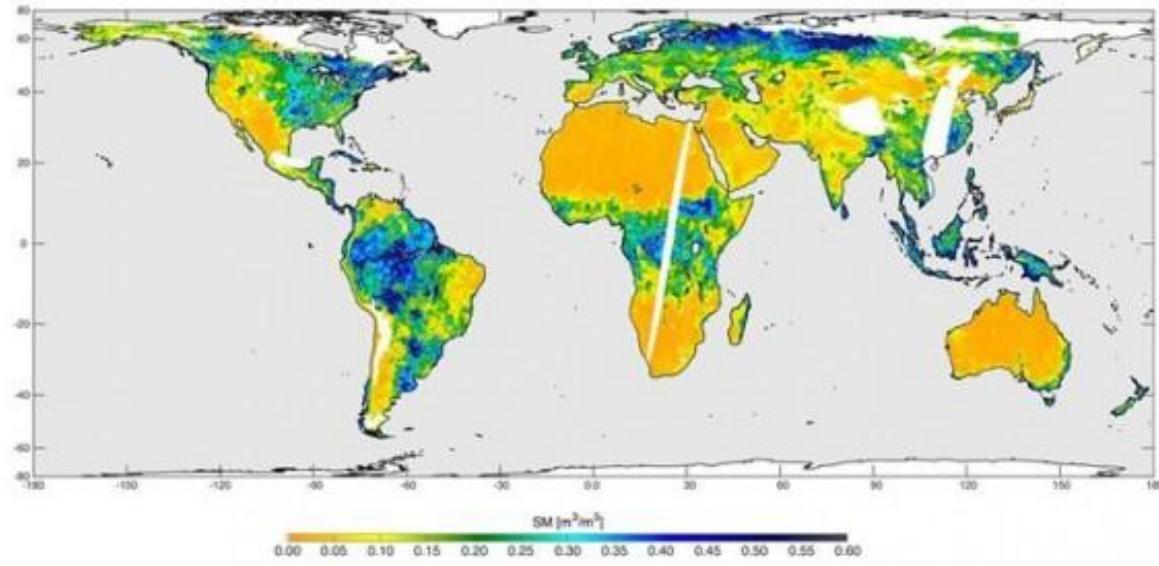
La diferencia de temperatura entre bulbo seco y húmedo permite calcular la HR



## DISTRIBUCIÓN GLOBAL

### Patrones regionales:

- **Regiones Ecuatoriales:** HR alta (70-90%) por altas temperaturas y evaporación
- **Desiertos Subtropicales:** HR baja (20-40%) por subsidencia y altas temperaturas
- **Regiones Polares:** HR variable, alta en verano por deshielo
- **Zonas Costeras:** HR generalmente alta por proximidad al océano
- **Continentes Interiores:** HR más baja, especialmente en verano



🌐 La distribución de HR refleja patrones de circulación atmosférica y fuentes de humedad



## Formación de Nubes

La humedad relativa es el factor determinante en los procesos de condensación y formación de nubes.

**Condensación ocurre cuando:  $HR \geq 100\%$**

**Punto de saturación:  $T = \text{Punto de Rocío}$**

**Enfriamiento**  
Ascenso adiabático  
HR aumenta

**Saturación**  
 $HR = 100\%$   
Condensación inicia

**Nucleación**  
Gotas microscópicas  
se forman

**Precipitación**  
Gotas crecen  
y caen

- ▀ Nivel de condensación libre (NCL): Altura donde  $HR = 100\%$
- ▀ Tipos de ascenso: Orográfico, convectivo, frontal
- ▀ Supersaturación:  $HR > 100\%$  antes de condensación inicial
- ▀ Núcleos de condensación: Necesarios para formación de gotas

## Formación de Niebla

La niebla se forma cuando la HR alcanza 100% cerca de la superficie terrestre por diferentes mecanismos.

Tipo de Niebla	Mecanismo	Condiciones HR	Época Típica
Radiativa	Enfriamiento nocturno	HR > 95% al atardecer	Invierno/Otoño
Adveciva	Aire húmedo sobre superficie fría	HR > 90% en masa de aire	Todo el año
Orográfica	Ascenso forzado en montañas	HR > 85% en barlovento	Estaciones húmedas
Evaporación	Evaporación sobre agua	HR > 80% localmente	Mañanas frías



## Importancia de la Humedad Relativa en la Agroecología

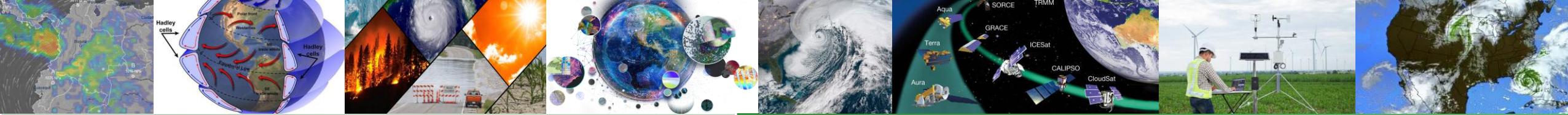
Factor clave para agroecosistemas resilientes y sostenibles

### PROCESOS FISIOLÓGICOS DE LAS PLANTAS

Transpiración	HR Óptima	50-70%	Balance ideal agua-CO <sub>2</sub>
	HR Alta (>70%)	Reduce transpiración	- Posible estrés por exceso agua
	HR Baja (<40%)	Aumenta transpiración excesiva	- Estrés hídrico
Fotosíntesis	Intercambio Gaseoso	HR controla apertura estomática y absorción CO <sub>2</sub>	
	Absorción Nutrientes	Transpiración facilita transporte en xilema	
<b>DESARROLLO Y CRECIMIENTO</b>			
Germinación	HR Óptima	70-85%	Para mayoría de semillas
Floración	Producción Polen	40-70%	Óptimo
	HR Muy Alta	Polen se aglutina	- Reduce viabilidad
	HR Muy Baja	Polen se deshidrata	- Pérdida rápida viabilidad
Fructificación	Cuajado y Desarrollo	HR adecuada mejora tamaño y calidad final	

### MANEJO DEL RIEGO

Programación	Evapotranspiración	Se calcula con temperatura y HR
	Déficit Presión Vapor	$DPV = P_{sat} - P_{actual}$ (mejor indicador que HR sola)
Eficiencia	Momento Óptimo	Regar con <b>HR alta (madrugada)</b> reduce pérdidas
	HR Alta	Reduce necesidades de riego
	HR Baja	Aumenta demanda hídrica
<b>ENFERMEDADES DE LAS PLANTAS</b>		
Enfermedades Fúngicas	Mildiu	Requiere <b>HR &gt; 90%</b> para infección
	Oídio	Se desarrolla con <b>HR 40-70%</b>
	Botrytis	Prolifera con <b>HR &gt; 80%</b>
	Roya	Necesita <b>HR alta</b> para germinación esporas
Prevención	Sistemas Alerta	Basados en umbrales críticos de HR
	Modelos Predictivos	Integran HR + temperatura + duración



## PLAGAS AGRÍCOLAS

Desarrollo Insectos	Áfidos	Se multiplican con <b>HR moderada-alta</b>
	Trips	Prefieren <b>HR baja-moderada</b>
	Ácaros	Prosperan con <b>HR baja</b>

Control Biológico	Enemigos Naturales	HR extrema reduce eficiencia control biológico
-------------------	--------------------	--

## APLICACIÓN DE AGROQUÍMICOS

Eficacia	Momento Óptimo	Aplicar con <b>HR 50-80%</b>
	HR Baja	<b>Mayor deriva y evaporación</b>
	HR Alta	<b>Mejor absorción foliar</b>

Restricciones	Evitar Aplicar	Con <b>HR &lt;30% o &gt;90%</b>
---------------	----------------	---------------------------------

## ALMACENAMIENTO Y CONSERVACIÓN

Granos	Cereales	<b>13-14%</b> humedad del grano
	Oleaginosas	<b>7-8%</b> humedad del grano
	Prevención Hongos	<b>HR &lt;65%</b> previene crecimiento fúngico
Frutas/Hortalizas	Manzanas	<b>90-95%</b>
	Papas	<b>90-95%</b>
	Cebollas	<b>65-70%</b>
	Ajos	<b>60-65%</b>

## REQUERIMIENTOS POR CULTIVO

Cereales	Floración	<b>50-70%</b> óptima polinización
	Cosecha	<b>HR &lt;20%</b> ideal recolección
Hortalizas	Crecimiento	<b>60-80%</b>
	Floración	<b>50-70%</b> evita aborto floral

Tropicales	Condiciones Naturales	<b>70-90%</b> (café, cacao, plátano)
Frutales	Desarrollo General	HR determina calidad y vida útil

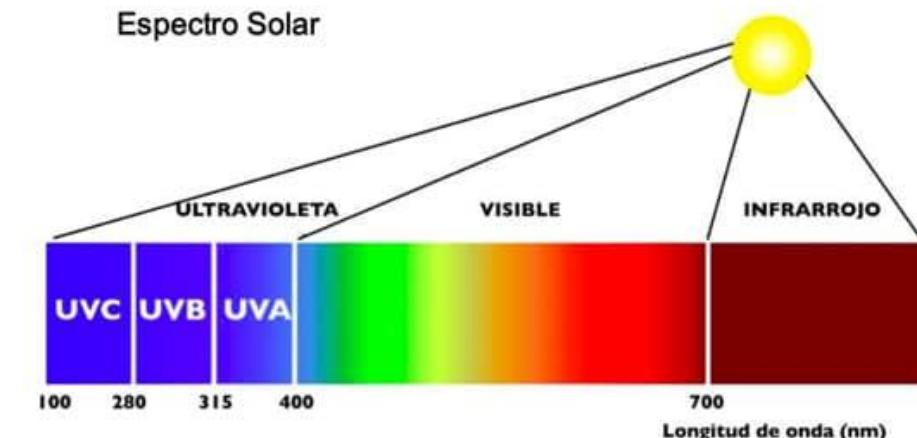
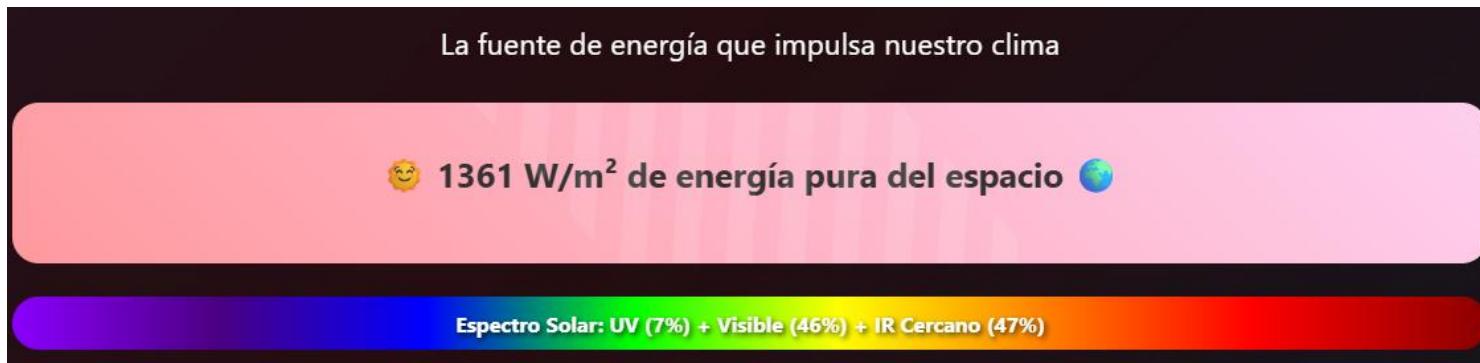
## TECNOLOGÍAS DE CONTROL

Invernaderos	Control Automático	Ventilación y nebulización programada
Agricultura Precisión	Sensores IoT	Monitoreo continuo y toma decisiones automatizada
Monitoreo	Estaciones Meteorológicas	Datos históricos y tiempo real



## RADIACIÓN SOLAR

La radiación solar es la energía electromagnética emitida por el Sol, que abarca una amplia gama de longitudes de onda, desde el ultravioleta y el infrarrojo invisibles hasta la luz visible, y que constituye la principal fuerza motriz del clima terrestre (Balance Radiativo)

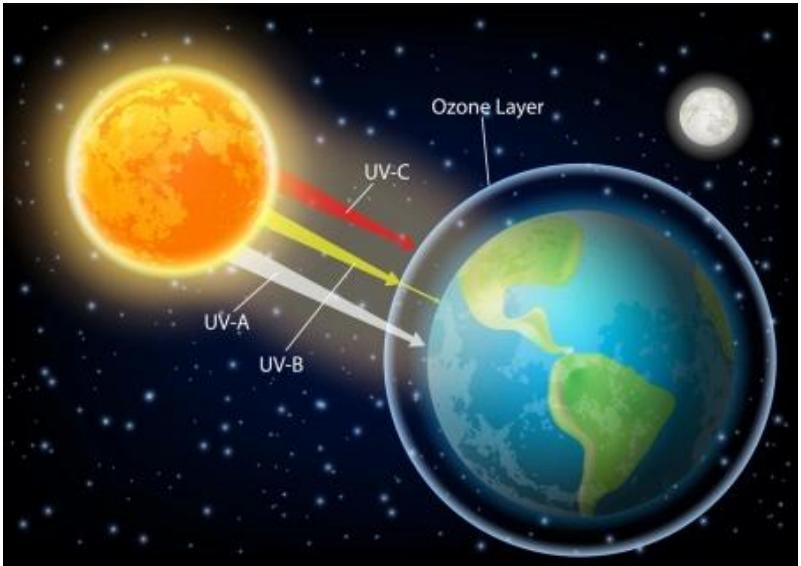




## ¿Qué influye en la cantidad de radiación solar que llega a la superficie?

Varios factores influyen en la intensidad y disponibilidad de la radiación solar en cualquier lugar:

- **La hora del día:** La radiación es más intensa al mediodía solar, cuando el Sol está más alto en el cielo.
- **La latitud:** Las regiones ecuatoriales reciben una radiación solar más constante y directa durante todo el año. Las regiones polares reciben menos debido a los bajos ángulos del Sol y a los largos períodos de oscuridad en invierno.
- **Las estaciones:** La inclinación axial de la Tierra provoca cambios estacionales. En verano, el Sol está más alto y los días son más largos, lo que aumenta la exposición solar.
- **Nubosidad:** Las nubes bloquean o dispersan la luz solar, reduciendo la radiación directa. Sin embargo, parte de la radiación difusa sigue llegando al suelo.
- **Elevación:** Las mayores altitudes reciben una radiación más intensa debido a la menor densidad de la atmósfera y a su menor absorción.





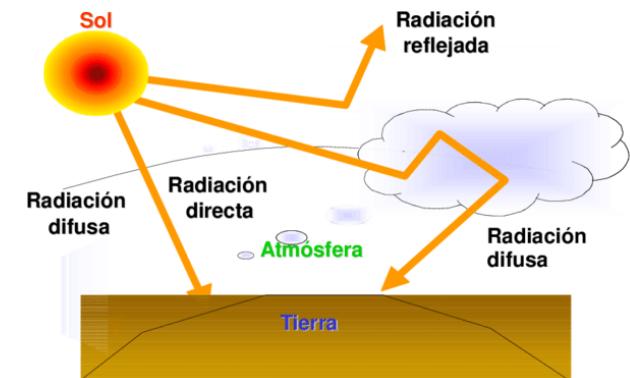
## ¿Cómo se mide la radiación solar?

La medición precisa de la radiación solar es crucial para la climatología, la agricultura y los sistemas de energía solar. Se utilizan varios instrumentos:

- **Piranómetros:** Miden la radiación solar total (directa + difusa) sobre una superficie plana.
- **Pirheliómetros:** Miden la radiación directa del Sol.
- **Radiómetros:** Miden tipos específicos de radiación, como la UV o la IR.
- **Satélites:** Observan la radiación solar a escala mundial y apoyan la modelización del clima.

Las medidas suelen expresarse en:

- $\text{W/m}^2$  (vatos por metro cuadrado): Indica la potencia instantánea, es decir, cuánta energía incide sobre una superficie en un momento dado.
- $\text{kWh/m}^2/\text{día}$  (kilovatios-hora por metro cuadrado y día): Representa la energía total recibida en un día, útil para la planificación energética.



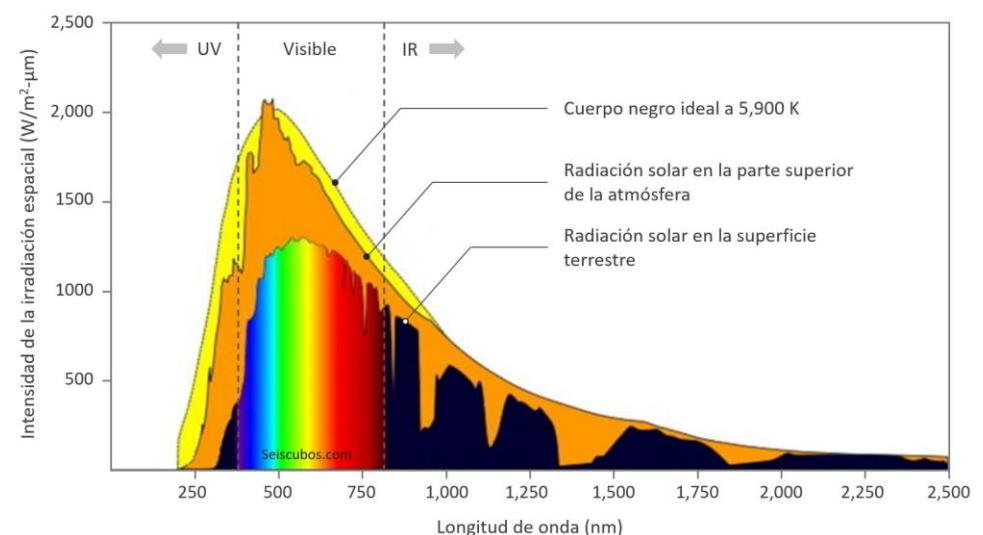


## ¿Cómo afecta la radiación solar a los sistemas terrestres?

La radiación solar es la principal fuente de energía para el clima, el tiempo y los ecosistemas de la Tierra.

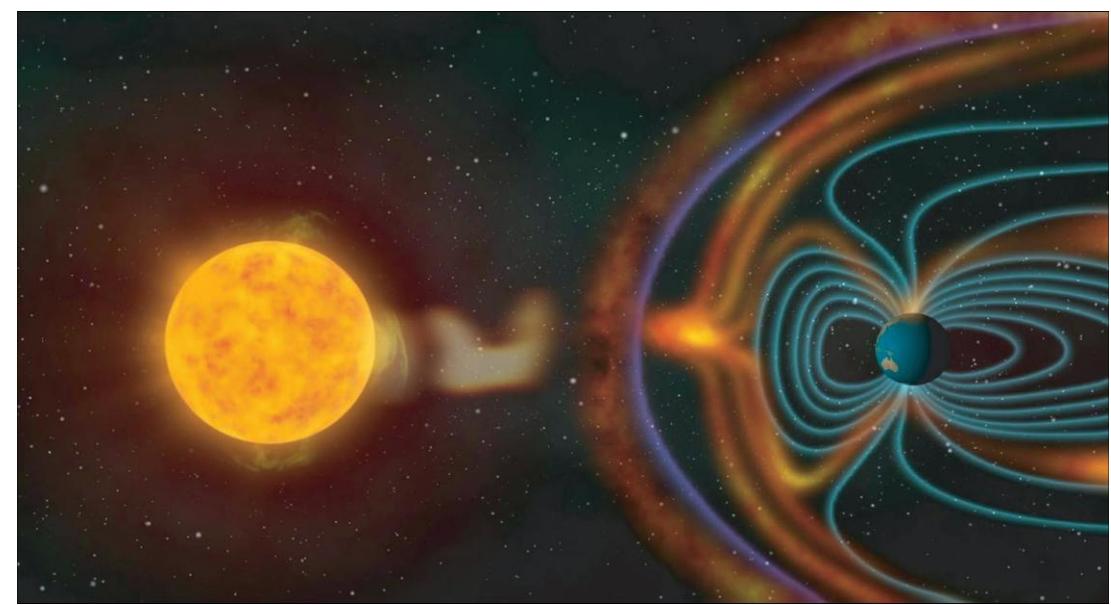
### Clima y tiempo

El calentamiento desigual de la superficie terrestre crea gradientes de temperatura que generan **viento**, **corrientes oceánicas** y **convección**. La energía solar impulsa el **ciclo del agua** provocando la evaporación, la formación de nubes y las precipitaciones.



## Equilibrio energético de la Tierra

La radiación solar es absorbida por la Tierra y reemitida en forma de radiación infrarroja. Los gases de efecto invernadero atrapan parte de este calor, manteniendo un clima estable. Este **efecto invernadero** natural mantiene la temperatura media de la Tierra muy por encima del punto de congelación y sustenta una gran variedad de formas de vida. Sin él, el planetaaría inhóspitamente frío.





## Importancia de la Radiación Solar en la Agroecología

Principios ecológicos para sistemas agrícolas sostenibles

## Importancia de la Radiación Solar en la Agroecología

Principios ecológicos para sistemas agrícolas sostenibles

Principio Agroecológico	Descripción	Beneficios del Sistema	Principio Agroecológico	Descripción	Beneficios del Sistema
Biodiversidad Funcional	La radiación solar optimizada favorece la diversidad de cultivos, plantas acompañantes y polinizadores	<ul style="list-style-type: none"><li>Múltiples estratos vegetales</li><li>Habitats para fauna benéfica</li><li>Mayor estabilidad del ecosistema</li></ul>	Resiliencia Climática	Adaptación a variaciones solares mediante diversificación y prácticas resilientes	<ul style="list-style-type: none"><li>Tolerancia a cambios climáticos</li><li>Estabilidad productiva</li><li>Adaptación local a condiciones</li></ul>
Sistemas Integrados	Aprovechamiento eficiente de la luz solar en policultivos, agroforestería y rotaciones	<ul style="list-style-type: none"><li>Uso óptimo del espacio vertical</li><li>Complementariedad entre especies</li><li>Maximización de la fotosíntesis total</li></ul>	Conocimiento Comunitario	Integración del saber tradicional sobre ciclos solares con técnicas agroecológicas	<ul style="list-style-type: none"><li>Calendarios agrícolas locales</li><li>Variedades criollas adaptadas</li><li>Prácticas culturalmente apropiadas</li></ul>
Sostenibilidad Energética	La energía solar como base para sistemas autosuficientes y de bajo impacto ambiental	<ul style="list-style-type: none"><li>Reducción de insumos externos</li><li>Ciclo natural de nutrientes</li><li>Menor huella de carbono</li></ul>			
Equilibrio Ecológico	La luz solar regula interacciones entre organismos beneficiosos y manejo de plagas	<ul style="list-style-type: none"><li>Control biológico natural</li><li>Fortalecimiento de enemigos naturales</li><li>Reducción de pesticidas sintéticos</li></ul>			

