



Facultad de  
Ciencias Agrarias  
y Forestales



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE LA PLATA

## TECNICATURA UNIVERSITARIA EN AGROECOLOGÍA

### Agroclimatología y Agrometeorología

# AGUA EN LA ATMÓSFERA

## Humedad del aire

## Precipitación

#### **Bibliografía**

Castillo, F.E. y Castellvi Sentis, F. (Coord.) 1996. Agrometeorología. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa. 517 pp. *Biblioteca parcial del Curso, 1 ejemplar.*

De Fina, A.L.; Ravelo, A.C. 1973. Climatología y Fenología Agrícolas. Buenos Aires, Argentina: EUDEBA. 281 pp. *Biblioteca central.*

Murphy, G.M. y Hurtado, R.H. (Eds.) 2013. Agrometeorología. Buenos Aires, Argentina: Editorial Facultad de Agronomía. 489 pp. *Biblioteca parcial del Curso, 1 ejemplar.*

## AGUA EN LA ATMÓSFERA: ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico es el proceso natural de transformaciones naturales del agua por el cual se mantiene más o menos constante el contenido de vapor de agua en la atmósfera (Figura 1). Este ciclo sucede gracias a los siguientes procesos:

**Evaporación:** el agua líquida de distinta procedencia (océanos, mares, ríos, lagos, etc.), de las capas superficiales del suelo, o contenida en los seres vivos, pasa al estado de vapor, y así a formar parte de la humedad de la atmósfera, y puede ser transportada por los movimientos de ésta a distintos puntos del planeta. Para este proceso se requiere energía (calor latente de evaporación  $\approx 600 \text{ cal.g}^{-1}$ ), que es provisto en forma directa o indirecta por la radiación solar. El 80 % del agua evaporada proviene de los océanos y la transpiración de las plantas contribuye con un 10 %.

**Condensación:** el agua en estado de vapor puede pasar a su forma líquida, liberando una cantidad de energía equivalente a la absorbida en la evaporación (calor latente de condensación). Así, se forman pequeñas gotas que se mantienen en suspensión formando nubes, lo que ocurre cuando el aire alcanza la máxima cantidad de agua en estado de vapor que puede contener a una determinada temperatura (aire saturado).

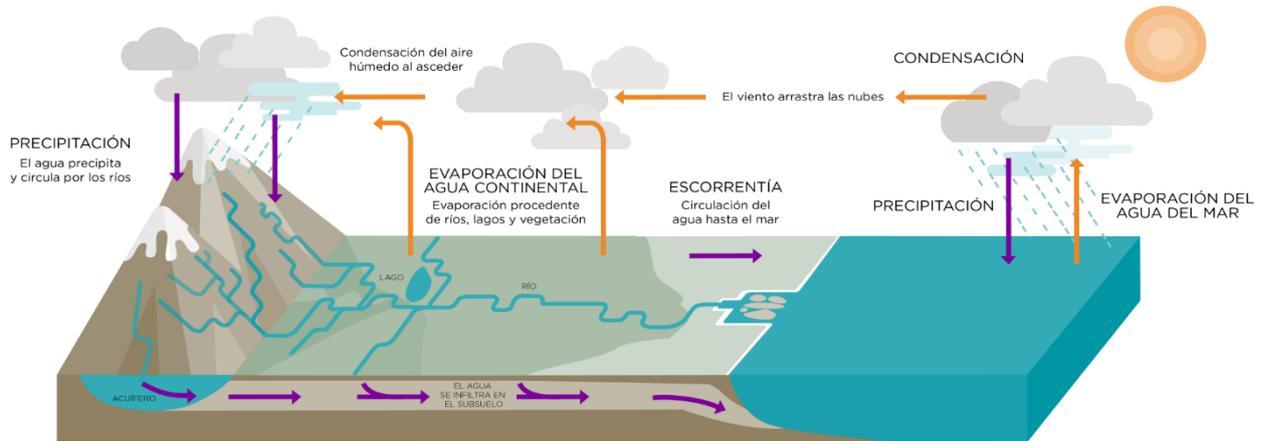
**Solidificación o congelación:** es el cambio del agua de estado líquido a sólido, proceso en el que se libera energía al ambiente (calor latente de solidificación =  $80 \text{ cal.g}^{-1}$ )

**Fusión o derretimiento:** pasaje de hielo a agua líquida, lo que implica absorción de energía (calor latente de fusión =  $80 \text{ cal.g}^{-1}$ )

**Deposición:** es el pasaje de gas a sólido, que implica liberación de energía (calor latente de deposición =  $620 \text{ cal.g}^{-1}$ )

**Sublimación:** transformación directa de sólido a gas, y siendo el proceso inverso al anterior, requiere energía (calor latente de sublimación =  $620 \text{ cal.g}^{-1}$ )

Ciclo del agua



IGN - Atlas Nacional Interactivo de Argentina

Figura 1. Esquema del ciclo hidrológico

Fuente: <https://ide.ign.qob.ar/portal/apps/MapJournal/index.html?appid=9afbdac4af82412d9a7657168198e5f3>

## HUMEDAD DEL AIRE

El vapor de agua (humedad) es uno de los principales gases que componen la atmósfera.

El vapor de agua:

- absorbe muy fácilmente las radiaciones térmicas. Debido a ello, una masa de aire húmedo se calienta más que una masa de aire seco bajo la acción del sol.
- por su condensación o congelación, produce distintos fenómenos meteorológicos como nubes, nieblas, lluvia, nieve, granizo.
- regula la pérdida de calor terrestre y también regula la intensidad de las heladas (forma parte de los gases con efecto invernadero).
- regula la velocidad con que se evapora el agua sobre la superficie terrestre y de los mares y océanos

*Importancia agrícola del vapor de agua*

- Regula la desecación de los suelos
- Influye en la tasa de transpiración de las plantas
- Puede afectar a la fecundación, por problemas de adherencia del grano de polen en condiciones de baja humedad relativa
- Incide en la aparición de plagas y enfermedades, por el valor de humedad relativa o por la condensación de agua (rocío), condición que puede ser favorable para la infestación por esporas de hongos, por ejemplo
- Influye en la planificación de las labores culturales, como por ejemplo en la cosecha, siendo deseable que se realice en ausencia de rocío.

La cantidad de vapor de agua o humedad que puede contener el aire depende directamente de la temperatura. El aire a menor temperatura puede contener menor cantidad de agua en estado de vapor, llegando más rápidamente a la saturación y pudiendo condensarse. La forma más común de expresar el contenido de vapor de agua en el aire es a través de la humedad relativa.

La **Humedad relativa** (HR) es la relación entre la cantidad de vapor de agua que se halla en el aire y la máxima capacidad que podría contener a esa temperatura (100 %).

La humedad relativa varía siempre que cambie la cantidad de vapor de agua presente en el aire y también cuando varía la temperatura y volumen de aire. Por ejemplo, un descenso térmico trae una disminución en la capacidad del aire para mantener agua en estado de vapor, motivo por el cual aumenta la humedad relativa, aun cuando no se haya modificado la cantidad de vapor de agua (Figura 2). Cuando la temperatura, y por tanto la capacidad del aire, disminuye hasta que la humedad relativa alcanza el 100 %, se llega a saturación. La temperatura para la cual dicha humedad relativa fue alcanzada, sin modificar la cantidad de vapor de agua, es la **temperatura de punto de rocío** (TR). Un enfriamiento más allá de este punto da lugar a la condensación.

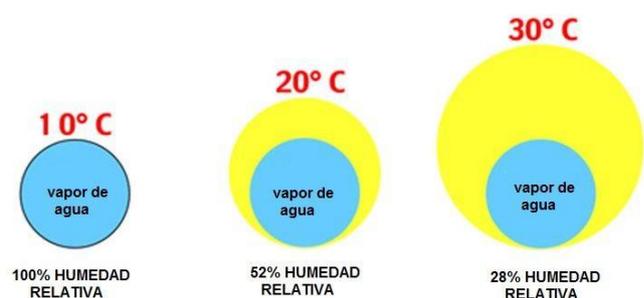


Figura 2. Esquema que relaciona la temperatura del aire con su humedad relativa

Fuente de la imagen:

<https://www.areaciencias.com/meteorologia/humedad/>

Otro concepto importante es el de **Déficit de saturación** (DS): cantidad de vapor de agua que puede admitir una masa de aire a determinada temperatura hasta alcanzar el estado de saturación a esa misma temperatura. Puede también entenderse como la diferencia entre cantidad de vapor de agua que una masa

de aire puede contener a saturación y la que efectivamente tiene, sin que haya variación de temperatura. Su unidad de medida se expresa en mm de Hg o mb.

### Medición de la humedad relativa

El **higrotermógrafo o termohigrógrafo** es un instrumento que mide la humedad relativa y la temperatura.

La parte sensible del aparato que mide la humedad (higrógrafo), está constituida por un haz de cabellos desengrasados que se alarga cuando aumenta la humedad relativa del aire, y se acorta cuando la humedad disminuye. Al pasar del aire seco al saturado, el alargamiento ronda el 2%, no siendo lineal la relación entre la humedad relativa y el alargamiento. Para transformar la variación de longitud del cabello en movimiento del brazo portador de la plumilla, se utilizan sistemas de palancas. La faja del higrógrafo tiene grabadas verticalmente las horas del día. Horizontalmente están marcados los valores de 0 a 100, dando directamente los valores de la humedad relativa. Si bien la precisión de este instrumento varía en +/-5%, proporciona una información valiosa y de fácil obtención.



La unidad para la medición de la temperatura (termógrafo) tiene como sensor una placa metálica cuyos cambios de longitud determinan el movimiento de la plumilla que marca el valor de la temperatura sobre la cinta de papel.

### Variación de la humedad relativa

La variación diaria de la humedad relativa sigue una marcha inversa a la de la temperatura. Por lo tanto, los máximos se producirán en la noche y los mínimos a la tarde y a medio día.

En el año, la variación de la humedad relativa sigue una marcha diferente, según el régimen de precipitaciones. Cuando éstas son uniformes a lo largo del año, la relación con la temperatura determina máximos de humedad relativa invernales y mínimos estivales; pero cuando las lluvias caen en una sola estación del año (invierno o verano), se puede producir algún corrimiento.

### Condensación del vapor de agua

La condensación es una causa directa de las diversas formas de precipitación. Para que se produzca condensación, el aire debe enfriarse hasta la temperatura del punto de rocío o inferior, alcanzando el estado de saturación. Este enfriamiento del aire puede ser directo o por ascenso.

El enfriamiento directo puede producirse por la irradiación del suelo y consiguiente enfriamiento del aire o también por la circulación, movimiento o desplazamiento de una masa de aire frío. En ambos casos, la causa es la formación de condensaciones a nivel de la superficie: nieblas, neblinas, rocío, escarcha (cuando el enfriamiento de la masa de aire supera el punto de congelación).

El enfriamiento por ascenso está dado porque, el aire, al ascender encuentra presiones más bajas, por lo que se expande, y al expandirse se enfría y puede alcanzar el punto de saturación o excederlo. Por el contrario, el aire descendente se calienta por compresión y el agua condensada se evapora (Figura 3). Este cambio de temperatura del aire se da sin intercambio de calor con el medio ambiente (procesos adiabáticos), debido a que el movimiento se da a una velocidad tal que no hay tiempo suficiente para un intercambio eficaz de calor con el aire del entorno. Este enfriamiento adiabático es el principal responsable de las mayores condensaciones que se producen en la atmósfera y de la formación de nubes.

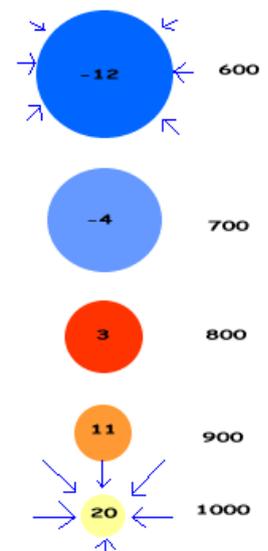


Figura 3. Esquema de una burbuja de aire en movimiento vertical

Fuente de la imagen: <https://www.tutiempo.net/meteorologia/masas-de-aire.html>

## Nubes

Las nubes son un conjunto visible de minúsculas partículas de agua líquida o hielo o de ambas al mismo tiempo, que se encuentran en suspensión en la atmósfera. La formación y disipación de nubes está relacionada con los movimientos ascendentes y descendentes del aire.

Las partículas provienen de la condensación o la congelación del vapor de agua. Las gotas de nubes tienen un tamaño entre 0,01 y 0,1 mm de radio. Las corrientes ascendentes que se producen dentro de una nube hacen que las gotas se mantengan suspendidas hasta que se evaporan o hasta que aumentan de tamaño y caen en forma de gotas de lluvia. Para la formación de gotas deben estar presentes núcleos de condensación, que son componentes sólidos de la atmósfera (impurezas), de entre 0,1 y 10  $\mu\text{m}$ , presentes en cantidad variable (sales oceánicas, polvo atmosférico, etc.), necesarios para que comiencen a aglutinarse las pequeñas gotas presentes en la nube. Para que las nubes precipiten es necesario el crecimiento de las gotas que, al aumentar su masa, vence la resistencia del aire y cae como precipitación.

El aumento de tamaño de la gota puede darse por coalescencia. Mediante este proceso, gotas de mayor tamaño, en su movimiento en la nube, van captando gotas más pequeñas, e incrementando su tamaño a costa de estas. Cuando en la nube hay presencia de cristales de hielo, el crecimiento de la gota se produce por la incorporación de las gotas a estos cristales, que van así, aumentando su tamaño hasta que precipitan (Figura 4). En este último caso, si en el descenso encuentran temperaturas superiores a 0 °C, precipitarán en forma líquida, y si la temperatura se mantiene por debajo de 0 °C, en forma sólida, como granizo.

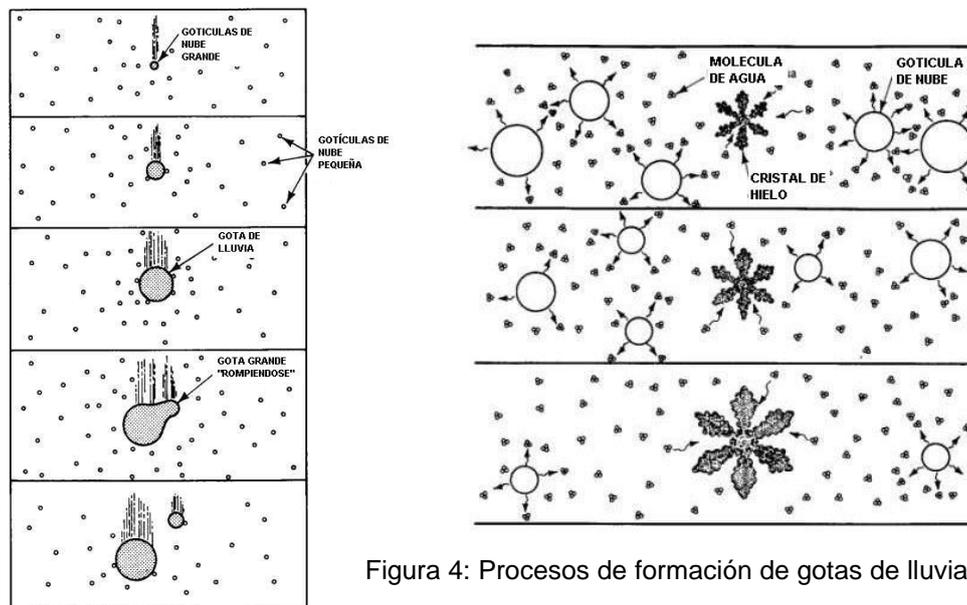


Figura 4: Procesos de formación de gotas de lluvia

Fuente de la imagen:

<http://www.canalextramadura.es/noticias/meteocuriosidades/como>

## PRECIPITACIÓN

La precipitación es el producto líquido o sólido de la condensación del agua atmosférica que cae o se deposita sobre la superficie de la tierra.

La precipitación tiene efecto sobre el crecimiento y desarrollo vegetal, y consecuentemente sobre la producción, pues su presencia, ausencia o variación, determina que los rendimientos sean mayores o menores en un lugar donde los elementos bioclimáticos (temperatura y duración del día) han posibilitado la implantación de un cultivo. Por ejemplo, en aquellas regiones donde la temperatura es alta todo el año, la duración del día varía poco y las lluvias son continuas, como en las regiones ecuatoriales, el cultivo puede implantarse en cualquier época del año (no existe un ciclo biológico definido). En las regiones tropicales, donde existe una verdadera estacionalidad de las precipitaciones (época seca y húmeda), los cultivos se hacen en la época húmeda.

## Clasificación de la precipitación según sus características

La precipitación desde una nube puede adquirir distintas formas que dependen del tipo de nube y de las condiciones atmosféricas que se presentan durante su ocurrencia. Puede ser líquida o sólida y en ambos casos es un hidrometeoro. Según su estado físico y diámetro de las gotas, los hidrometeoros se clasifican en:

- Llovizna: precipitación líquida cuyas gotas no superan los 0,5 mm de diámetro. Proviene de nubes bajas estratificadas. Puede ser un buen aporte de agua al suelo, por su característica de no erosionarlo, producir un buen mojado y poder alcanzar cantidades significativas.
- Lluvia: precipitación líquida formada por gotas de 0,5 a 3 mm de diámetro. Se produce por nubes de desarrollo vertical con temperatura en la base superior a 0 °C.
- Chaparrón o chubasco: precipitación compuesta por gotas de mayor tamaño, que se da en forma intensa y discontinua, con escasa extensión horizontal. Poseen poca duración, pero mucha intensidad.
- Nieve: el agua se solidifica formando cristales hexagonales que se agrupan en copos.
- Aguanieve: es una variedad de nieve, compuesta por una mezcla de nieve y lluvia, que se produce cuando la temperatura en el ambiente no es suficiente para favorecer la precipitación en forma de nieve.
- Granizo: se forma en nubes que se encuentran en gran parte de su espesor con temperatura inferior a 0 °C, y en las que las gotas de agua son arrastradas hacia arriba por corrientes de aire, congelándose rápidamente formando piedras de hielo. Cuando alcanzan un diámetro de 5 a 50 mm, pueden vencer la corriente ascendente y precipitan. Ocurre en forma ocasional y con una distribución muy irregular.
- Rocío: condensación directa sobre la superficie, cuando la temperatura es superior a 0 °C.
- Escarcha: condensación directa sobre la superficie, cuando la temperatura es inferior a 0 °C.

## Procesos involucrados en la precipitación

Para que se produzca precipitación es necesario que exista ascenso de una masa de aire, enfriamiento, condensación y crecimiento de las gotas. El ascenso del aire puede ser provocado por distintas causas, que determinan la clasificación de las precipitaciones según su origen. Las causas de ascenso del aire pueden ser:

Ascenso convectivo: el calentamiento de aire en superficie provoca expansión y ascenso de la masa de aire, que al ascender se expande, se enfría adiabáticamente, condensa y puede producir precipitaciones que se caracterizan por ser aisladas, intensas y de corta duración (chaparrones) (Figura 5). Este tipo de precipitación tiene cierta importancia en la zona central de la Argentina (Córdoba, La Pampa), particularmente en verano.

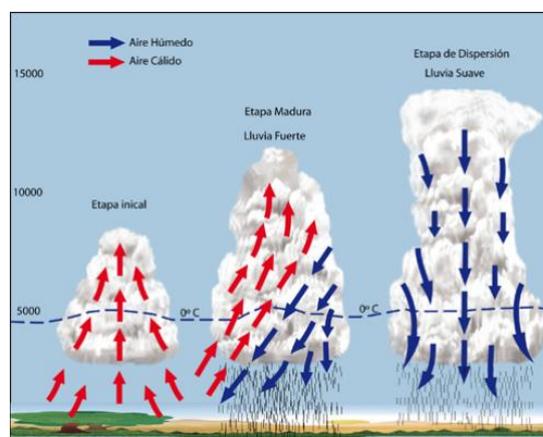


Figura 5. Precipitación convectiva

Fuente de la imagen:

<https://www.iagua.es/respuestas/que-consiste-precipitacion-atmosferica>

Ascenso orográfico: al encontrar una cadena montañosa, la masa de aire se eleva, se enfría, condensa y precipita, dando origen a la precipitación orográfica (Figura 6). La escala e intensidad de la precipitación orográfica está estrechamente relacionada con la altura y la extensión horizontal de la barrera del relieve y las características de aire que llega a ella. Este tipo de precipitaciones se presentan en las áreas montañosas de Tucumán, Salta, Jujuy.

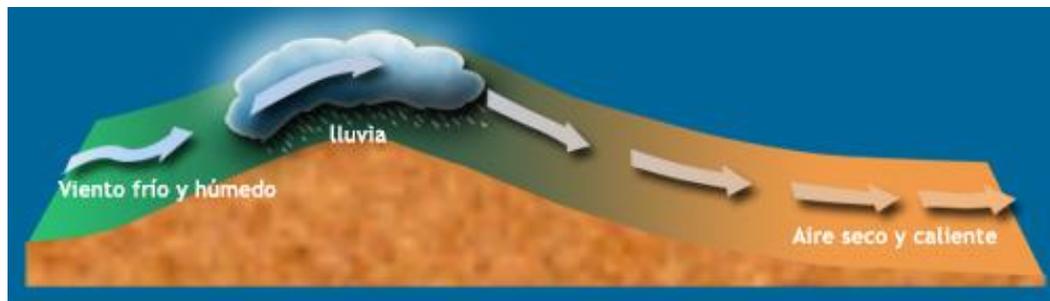


Figura 6. Esquema de precipitación orográfica

Fuente de la imagen: <http://cienciasvirtual.com/apuntesbach/ctma2bach/atmosfera/meteorologia.htm>

Ascenso por convergencia: se producen en una zona de baja presión hacia la que converge aire procedente de zonas de alta presión (Figura 7). En la Argentina se dan en el Noroeste.

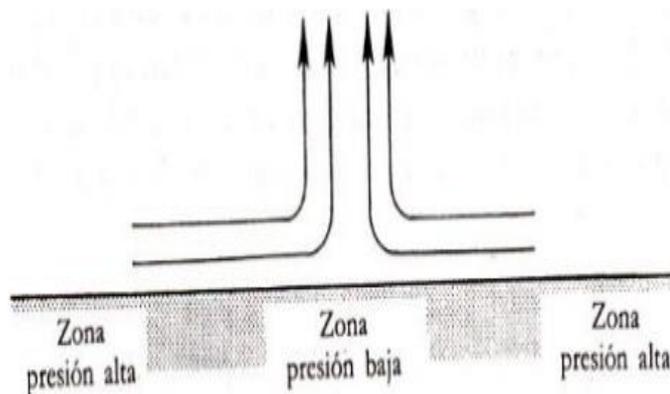


Figura 7. Ascenso por convergencia

Ascenso frontal: encuentro de dos masas de aire con distinta temperatura y humedad, en donde el aire más cálido (menos denso) se eleva, con el consecuente enfriamiento y condensación (Figura 8). Puede producir precipitaciones de distinta duración e intensidad dependiendo de las características de las masas de aire. Estas precipitaciones frontales son el tipo predominante en la Argentina.

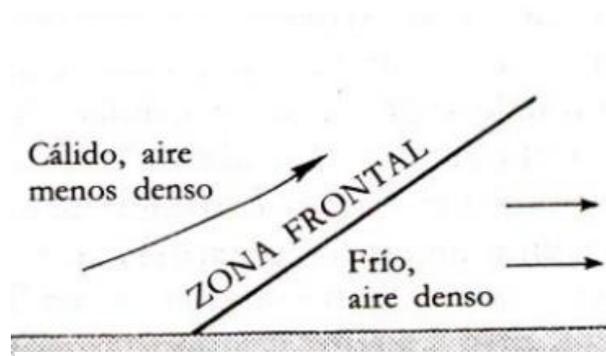


Figura 8. Ascenso frontal

Fuente de las imágenes: Salcedo Hurtado, E. 2011.  
<https://es.slideshare.net/dianagesama/temperatura-y-circulacin-2>

## Medición de la precipitación

La **cantidad de precipitación** se expresa por la altura de la lámina de agua formada sobre un suelo completamente horizontal e impermeable, suponiendo que no se produce evaporación, infiltración ni escurrimiento. La altura se expresa en mm: 1 mm de precipitación equivale a 1 litro de agua por m<sup>2</sup> y es igual a 10 m<sup>3</sup> por ha (10.000 litros por ha).

También es importante la **intensidad**: relación entre la cantidad y el tiempo de precipitación. Se expresa generalmente en mm/hora.

Para la medición de la cantidad de precipitación se utiliza el pluviómetro y el pluviógrafo (Figura 9), siendo este último el que permite también la determinación de la intensidad.

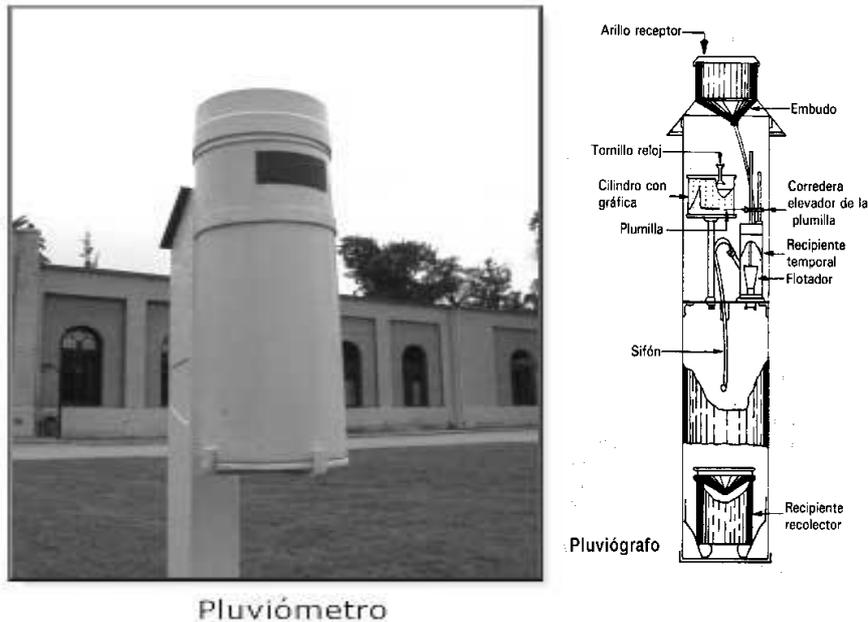


Figura 9. Pluviómetro y pluviógrafo

## Factores que inciden sobre la precipitación

- Latitud: en general, la precipitación es mayor en latitudes menores. En el ecuador la precipitación es más abundante que en zonas templadas y que en las regiones polares.
- Dirección de los vientos: el contenido de humedad de los vientos depende de su origen, determinando la cantidad de lluvias que presenta una región. Cuando los vientos soplan de la tierra hacia el mar, la condensación es escasa, por lo que también lo es la precipitación.
- Distancia al mar: cerca de la costa, la llegada de aire caliente y húmedo es más común que hacia el interior de los continentes. Así, la cantidad de lluvia normal anual disminuye desde la costa hacia el interior de los continentes.
- Relieve del suelo: la presencia de cadenas montañosas obliga a las masas de aire a ascender provocando la ocurrencia de precipitaciones orográficas.

## Aspectos climáticos de la precipitación - Valores climáticos comunes

Este elemento climático es un fenómeno discontinuo, el valor promedio de la precipitación no es un valor continuo. El comportamiento de la precipitación está caracterizado por la gran variabilidad que presenta tanto en los valores anuales como mensuales.

- Precipitación diaria: precipitación mayor a 0,1 mm acumulada entre las 8 horas de un día y las 8 horas del día siguiente.
- Precipitación mensual: es la correspondiente a la suma de todas las precipitaciones diarias del mes.

- Precipitación anual: es la precipitación total acumulada desde las 8 horas del 1° de enero de un año hasta las 8 horas del 1° de enero del año siguiente, es igual a la suma de los valores de precipitación mensual de los 12 meses del año.
- Precipitación media mensual: promedio de una serie no inferior a 30 años de precipitaciones mensuales.
- Precipitación media anual: promedio de una serie larga de años de precipitaciones anuales.
- Frecuencia media de días de lluvia: número medio mensual de días en que ocurrieron lluvias cuya cantidad fue mayor o igual a 0,1 mm.
- Frecuencia media de días con granizo: número medio mensual de días en que precipitó granizo cuya cantidad fue mayor o igual a 0,1 mm.
- Frecuencia media de días con nevadas: número medio mensual de días en que ocurrieron nevadas cuya cantidad fue mayor o igual a 0,1 mm. Se mide con nivómetro, a la nieve acumulada en el instrumento se la derrite y se hace la lectura con el pluviómetro. Ejemplo: 1 cm de nieve = 1 mm en precipitación.

### Precipitación en la Argentina

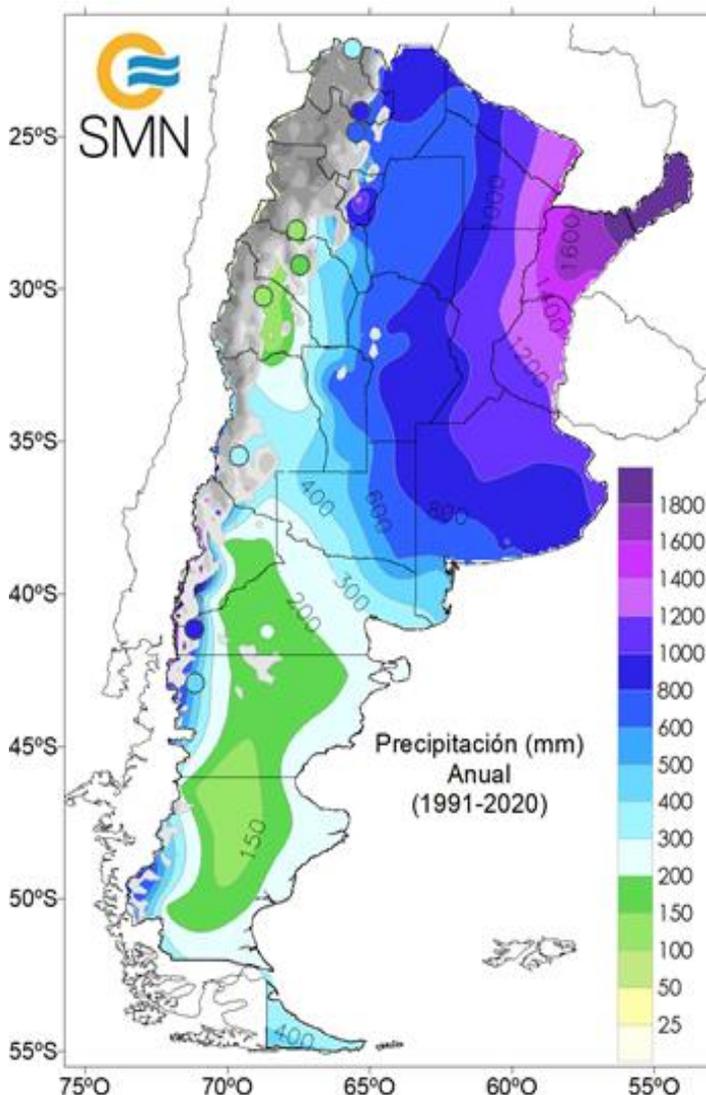


Figura 11. Precipitación anual (mm) para la Argentina. Período 1991-2000

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional:  
<https://www.smn.gov.ar/clima/atlasclimatico>

En la Argentina no existen zonas en las que la precipitación supere los 2000 mm anuales, observándose su disminución hacia el SO, desde 1700 a 2000 mm anuales (NE Misiones) hasta 250 – 300 mm en región de Cuyo. En la región patagónica se registran unos 200 mm anuales, a excepción de Bariloche, donde en invierno precipitan entre 1800 a 2000 mm. La región más seca se distribuye en San Juan, La Rioja, Catamarca y parte de Salta, con valores anuales de 100 mm. En la región de las Sierras Orientales de Tucumán, Salta y Jujuy aumentan los valores de precipitación por aumento de la altura, decreciendo nuevamente hacia el oeste (Figura 11).

La aptitud agrícola y ganadera de una región no solo depende de la cantidad anual de las precipitaciones sino también de la distribución de estas a lo largo de los 12 meses del año, lo que se define como su **régimen de precipitación**. Como criterio general, el régimen de precipitaciones se puede definir:

**Monzónico:** las precipitaciones del semestre cálido son iguales o mayores al 80% de la precipitación anual. Las precipitaciones se concentran en la estación cálida. (Jujuy, Salta, Tucumán).

**Mediterráneo:** cuando las precipitaciones del semestre frío son iguales o mayores al 60% de la precipitación anual. Las precipitaciones se concentran en la estación invernal (Región Cordillerana norte de la Patagonia).

**Isohigro:** cuando las precipitaciones se distribuyen más o menos uniformemente a lo largo del año (provincias de litoral y de las estepas pampeana y patagónica).