

II. PRECIPITACIÓN

Se entiende por precipitación la caída de partículas líquidas o sólidas de agua.

La precipitación es la fase del ciclo hidrológico que da origen a todas las corrientes superficiales y profundas, debido a lo cual su evaluación y el conocimiento de su distribución, tanto en el tiempo como en el espacio, son problemas básicos en hidrología.

1. Tipos de precipitación

En general, las nubes se forman por el enfriamiento del aire por debajo de su punto de saturación. Este enfriamiento puede tener lugar por varios procesos que conducen al ascenso adiabático con el consiguiente descenso de presión y descenso de temperatura. La intensidad y cantidad de precipitación dependerán del contenido de humedad del aire y de la velocidad vertical del mismo. De estos procesos se derivan los diferentes tipos de precipitación:

1. *Precipitación ciclónica.* Es la que está asociada al paso de una perturbación ciclónica.

Se presentan dos casos: frontal y no frontal.

La precipitación frontal puede ocurrir en cualquier depresión barométrica, resultando el ascenso debido a la convergencia de masas de aire que tienden a rellenar la zona de baja presión.

La precipitación frontal se asocia a un frente frío o a un frente cálido.

En los frentes fríos el aire cálido es desplazado violentamente hacia arriba por el aire frío, dando lugar a nubosidad de gran desarrollo vertical acompañada de chubascos que a veces son muy intensos, así como de tormentas y granizo. La precipitación del frente frío es generalmente de tipo tormentoso, extendiéndose poco hacia delante del frente (Figura II.1).

En los frentes cálidos el aire caliente asciende con relativa suavidad sobre la cuña fría, en general de escasa pendiente, dando lugar a una nubosidad más estratiforme que en el frente frío y, por lo tanto, a lluvias y lloviznas más continuas y prolongadas, pero de menor intensidad instantánea (Figura II.2).

2. *Precipitación convectiva.* Tiene su origen en la inestabilidad de una masa de aire más caliente que las circundantes. La masa de aire caliente asciende, se enfría, se condensa y se forma la nubosidad de tipo cumuliforme, origen de las precipitaciones en forma de chubascos o tormentas. El ascenso de la masa de aire se debe, generalmente, a un mayor calentamiento en superficie (Figura II.3).

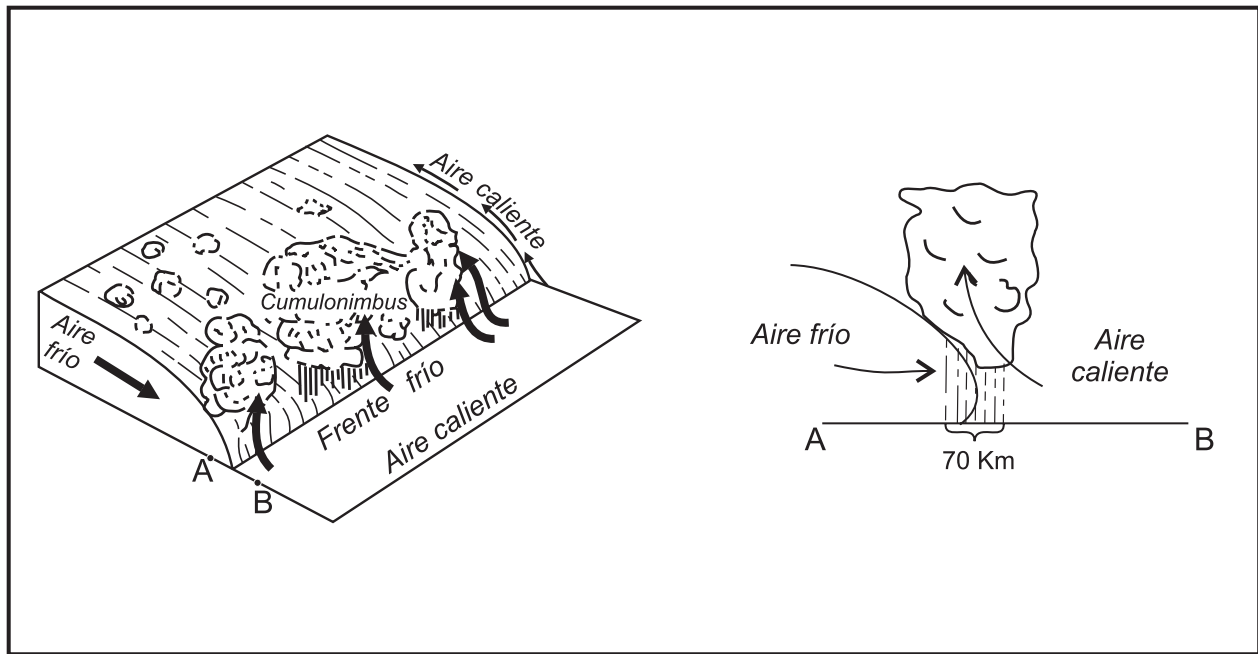


Figura II.1. Frente frío.

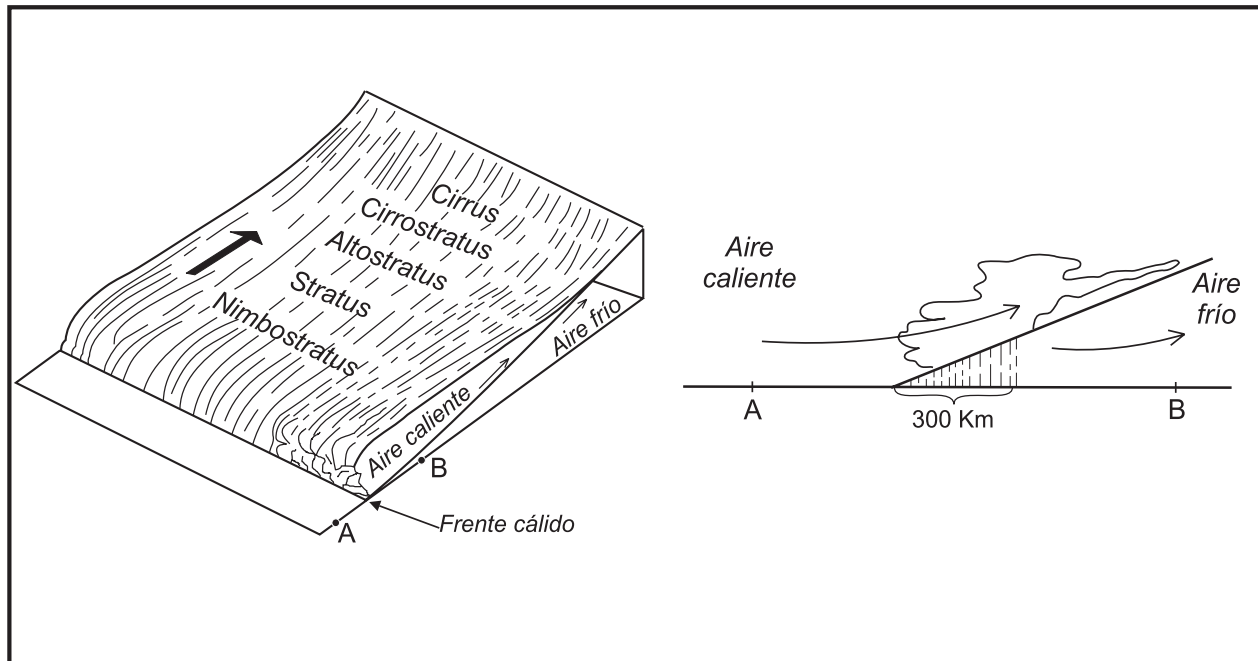


Figura II.2. Frente cálido.

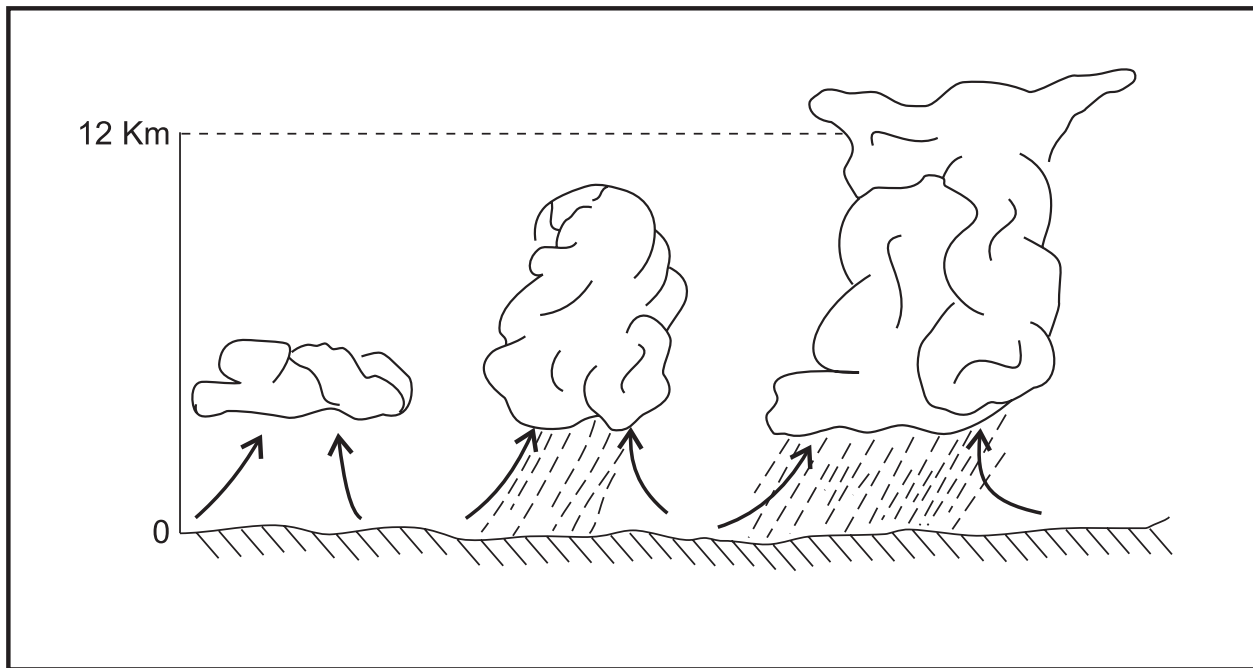


Figura II.3. Desarrollo de una precipitación de tipo convectivo.

3. *Precipitación orográfica.* Es aquella que tiene su origen en el ascenso de una masa de aire, forzado por una barrera montañosa (Figura II.4).

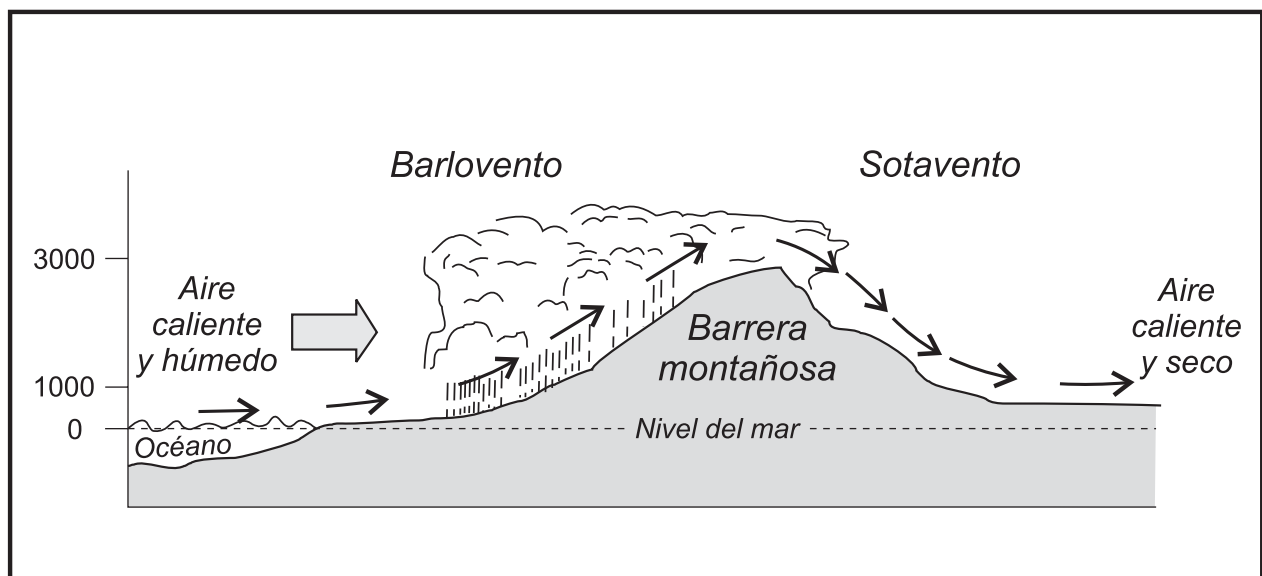


Figura II.4. Precipitación orográfica.

A veces, en caso de una masa de aire inestable, el efecto orográfico no supone más que el mecanismo de disparo de la inestabilidad convectiva.

La precipitación es mayor a barlovento, disminuyendo rápidamente a sotavento. En las cadenas montañosas importantes, el máximo de precipitación se produce antes de la divisoria o parteaguas. A veces, con menores altitudes, el máximo se produce pasada ésta, debido a que el aire continúa en ascenso.

2. Distribución zonal de la precipitación

Como se dijo, los factores de mayor importancia en la formación de la precipitación son el contenido de humedad y la velocidad vertical de la masa de aire.

Un mapa de precipitación deberá destacar las zonas en que existen corrientes ascendentes, compensadas con otras en que el movimiento predominante sea descendente.

Considerando el globo terrestre en su totalidad, se puede observar cómo estas zonas de ascenso y descenso se corresponden perfectamente.

Si se considera a la superficie terrestre perfectamente uniforme, o si sólo se considera el valor medio de la precipitación en zonas a distintas latitudes, se tienen, de acuerdo con la circulación general de la atmósfera, ocho zonas claramente diferenciadas, que pueden agruparse en las bandas o cinturones zonales siguientes:

Cinturón ecuatorial (I)

Está constituido por la zona intertropical de convergencia en la cual confluyen los vientos alisios de uno y otro hemisferios, dando lugar a un movimiento general convectivo vertical ascendente. Debido a su desplazamiento durante el año, en este cinturón se distinguen tres zonas:

Una central (1), con lluvia abundante en todas las estaciones del año, limitada por las máximas oscilaciones del frente intertropical.

Otras dos, contiguas a la anterior y simétricas (2), con lluvias apreciables en verano y sequía en invierno, y por último, las dos zonas exteriores (3) que reciben escasa lluvia en el verano y casi nula en el invierno.

Cinturones subtropicales (II)

Corresponden a la zona de los anticiclones subtropicales donde predominan los movimientos descendentes (subsistencia). Debido a ello, las precipitaciones son muy escasas durante todo el año (4).

Cinturones de latitudes medias (III)

En estas latitudes la precipitación es generalmente de origen frontal y algunas veces proviene de masas de aire inestable. Se distinguen tres zonas:

Las más próximas al cinturón subtropical (5), con escasas lluvias en invierno y casi nulas en verano. Otras (6) contiguas a las anteriores, con precipitaciones apreciables en invierno y sequía en verano (por el desplazamiento de las altas subtropicales), y las últimas (7) en latitudes mayores, con precipitación durante todo el año debido al frente polar.

Regiones polares (IV)

En ellas (8) la precipitación es escasa todo el año, debido a la falta de humedad del aire y al movimiento predominante de las masas de aire que es vertical descendente.

Estas zonas se representan en el esquema de Pettersen (Figura II.5) y se sintetizan en el Cuadro II.1.

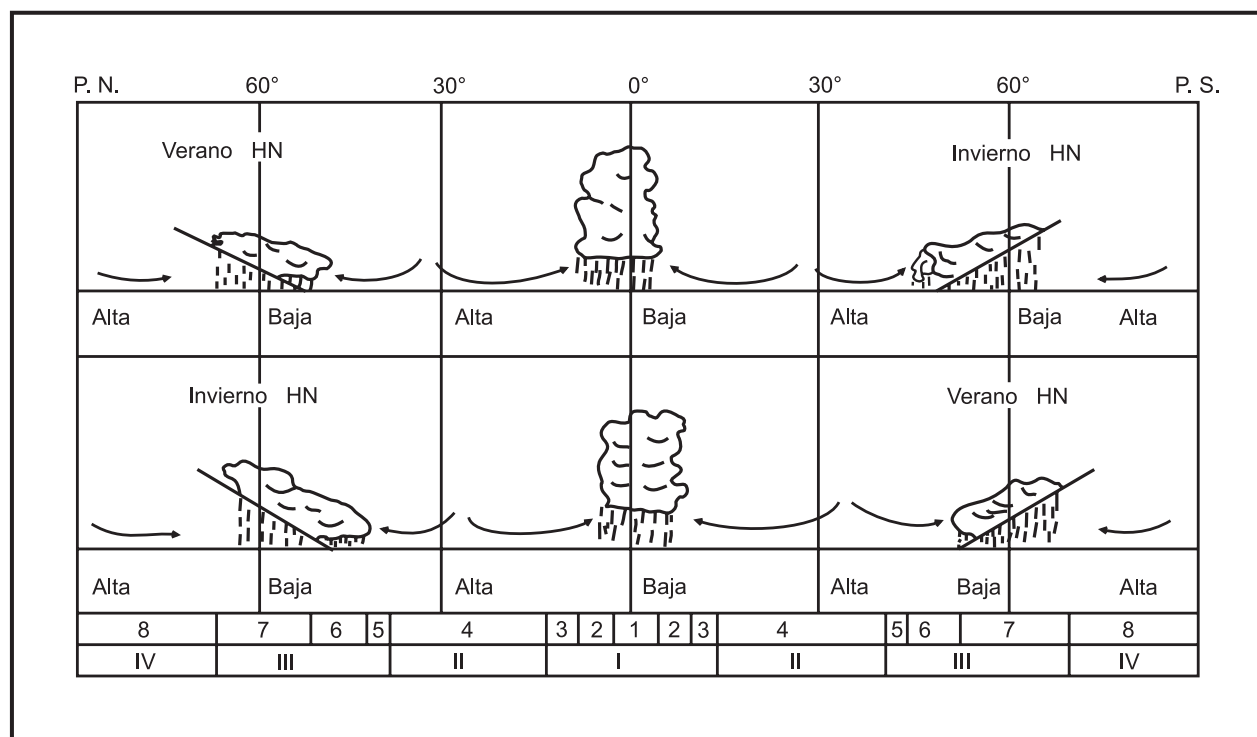
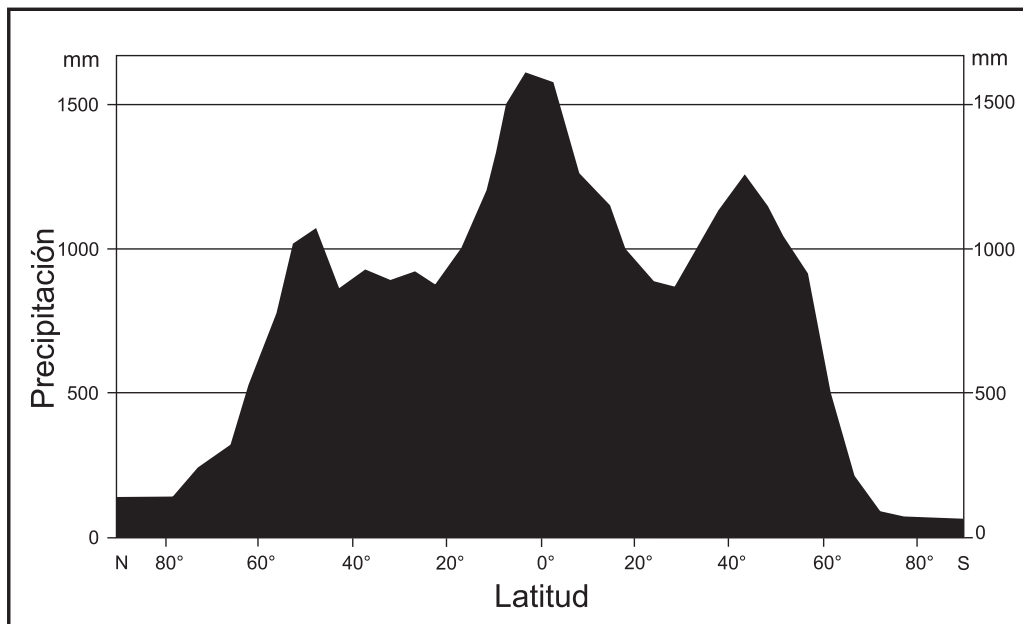


Figura II.5. Zonas de precipitación y cinturones zonales representados en el esquema de la circulación general de la atmósfera.

Como resumen se presenta en la siguiente gráfica (Figura II.6) la precipitación media que se observa a distintas latitudes (Brooks y Hunt, citados por Estienne y Godard, 1970).

Cuadro II.1. Regímenes de precipitación de acuerdo con la circulación general de la atmósfera

CINTURONES ZONALES	HEMISFERIO	ZONAS DE PRECIPITACIÓN
I CINTURÓN ECUATORIAL	NORTE	1. PRECIPITACIÓN TODO EL AÑO 2. PRECIPITACIÓN EN VERANO 3. POCA PRECIPITACIÓN EN VERANO
	SUR	1. PRECIPITACIÓN TODO EL AÑO 2. PRECIPITACIÓN EN VERANO 3. POCA PRECIPITACIÓN EN VERANO
II CINTURONES SUBTROPICALES	NORTE	4. SECO TODO EL AÑO
	SUR	4. SECO TODO EL AÑO
III CINTURONES DE LATITUDES MEDIAS	NORTE	5. POCA PRECIPITACIÓN EN INVIERNO 6. PRECIPITACIÓN EN INVIERNO 7. PRECIPITACIÓN TODO EL AÑO
	SUR	5. POCA PRECIPITACIÓN EN INVIERNO 6. PRECIPITACIÓN EN INVIERNO 7. PRECIPITACIÓN TODO EL AÑO
IV REGIONES POLARES	NORTE	8. PRECIPITACIÓN ESCASA TODO EL AÑO
	SUR	8. PRECIPITACIÓN ESCASA TODO EL AÑO

**Figura II.6. Distribución de la precipitación media de acuerdo con la latitud, según Brooks y Hunt.**

3. Intensidad de la precipitación

La intensidad de la precipitación suele medirse en milímetros por hora, es decir, precipitación por unidad de tiempo. Cuando se trata de precipitaciones muy intensas se pueden medir en milímetros por minuto.

Los valores más altos de precipitación registrados en el mundo han superado los 1 000 mm en un día, y se ubicaron en Baguío, Filipinas, con 1 168 mm y en Teherrapundji, India, con 1 036 mm en 24 horas consecutivas. Estos casos corresponden a un ciclón tropical y a una lluvia monzónica, respectivamente.

Si se analizan todos los aguaceros que ha habido en un período suficientemente largo, resulta que los de mayor intensidad son los más breves, las mayores intensidades sólo se dan durante un período de tiempo muy corto, a medida que el tiempo va siendo mayor, la intensidad media del aguacero va disminuyendo (Figura II.7).

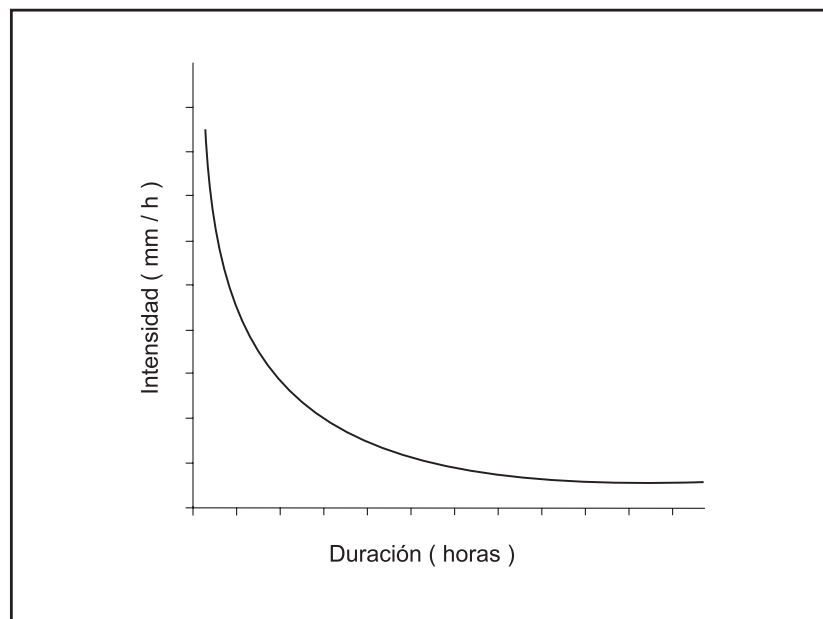


Figura II.7. Curva de intensidad de la lluvia de un aguacero.

Acerca de la variación de la intensidad en las precipitaciones en el curso del día, se comprueba que en las precipitaciones debidas a efectos convectivos propios de primavera, representativas de situaciones de inestabilidad, juega un papel importante la hora del día. En las regiones continentales interiores la hora en que se da el máximo de precipitación coincide casi siempre con el máximo de temperatura, si bien con algún retraso; en cambio, en las zonas costeras las precipitaciones más intensas son generalmente en la noche.

4. Medida de la precipitación

Las técnicas de valoración y medida de la precipitación del agua se agrupan bajo el nombre de pluviometría. El objeto de éstas es obtener datos de gran valor en el balance de intercambio del agua entre la Tierra y la atmósfera.

Para efectuar la pluviometría es necesario recordar:

1. La forma en que llega la precipitación a la superficie terrestre.

A) Precipitación propiamente dicha

a) el agua cae sobre la superficie terrestre en forma líquida (lluvia, llovizna, chubasco);

b) en forma sólida amorfa (granizo);

c) en forma sólida cristalizada (nieve);

d) en formas intermedias (nieve granulada, aguanieve, etc.).

B) Precipitación oculta

a) llega por condensación (rocío);

b) llega por sublimación (escarcha).

Y también conviene precisar que, en sentido inverso, el agua de la precipitación se evapora en la misma masa de aire atravesada por la lluvia, lo cual dará diferentes valores al medir simultáneamente precipitaciones a distintos niveles sobre una misma vertical, aunque lo que importa en realidad es la precipitación que llega a la superficie.

2. Las unidades en que se mide la precipitación.

A) La precipitación se mide por la altura en milímetros que alcanzaría sobre una superficie plana y horizontal donde no se perdiera por infiltración o evaporación, y tal altura se da en milímetros. Un milímetro de precipitación equivale a un litro de agua por metro cuadrado.

B) Las precipitaciones de nieve se miden:

a) Por la altura que alcanzaría la nieve sobre una superficie plana y horizontal donde no se fundiera, se evaporara ni se infiltrara.

Sobre superficies inclinadas esta medida se realiza siempre que se tome la altura sobre una vertical desde el suelo y no el grosor de la capa de nieve (Figura II.8).

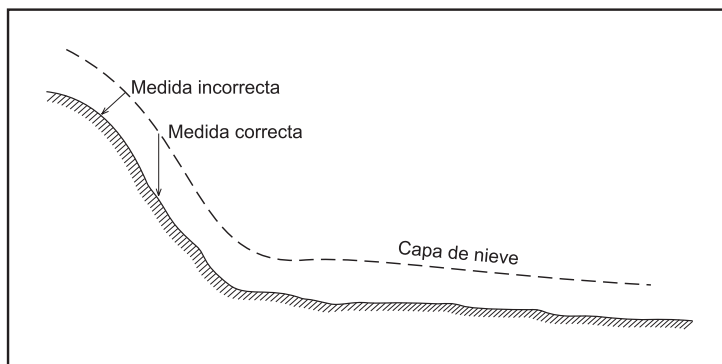


Figura II.8. Medida de la altura de la nieve en una superficie inclinada.

b) Por la altura que alcanza el agua resultante de la fusión de la nieve sobre una superficie plana y horizontal donde no se evapora ni se infiltra. Esta altura es aproximadamente 1/10 de la medida en estado sólido, aunque tal estimación puede ser errónea por distintas causas, como la compresión de los estratos inferiores en grandes nevadas, heladas intermedias, presencia de nieve granulada, aguanieve, etcétera.

3. Las dificultades de las medidas de precipitación.

Estas dificultades se basan en los siguientes hechos que conviene resaltar:

A) Las superficies receptoras de los aparatos que miden la precipitación son muy pequeñas en relación con aquéllas para las que se hace la estimación.

Por ejemplo, en el caso de un pluviómetro Hellman, por cada 50 km² aproximadamente, caso muy frecuente en las redes pluviométricas, la superficie de la boca del pluviómetro es 200 cm² y la relación es:

$$200 / (50 \times 10^6 \times 10^4) = 2 / 5000 \times 10^6 = 1 / 2500 \times 10^6.$$

Como se advierte, la superficie receptora es 2 500 millones de veces más pequeña que aquélla para la que se hace la estimación. Aun así, se observa bastante homogeneidad en los datos correspondientes a terrenos llanos o de relieve muy suave, especialmente con lluvias de tipo frontal. Sin embargo esto no ocurre en los terrenos montañosos o de relieve accidentado.

B) Las lecturas de la precipitación a distintas alturas de una misma ladera son muy divergentes. En distintas laderas de una misma cuenca lo son más aún por la diversidad del efecto orográfico sobre las precipitaciones, pues en igualdad de condiciones de altitud, las precipitaciones son mucho más cuantiosas en las laderas de barlovento que en las de sotavento (Figura II.4). Prescindiendo de este efecto y teniendo únicamente en cuenta el de la altitud, la precipitación recogida aumenta con ella notablemente, hasta el punto de que estimar con un pluviómetro cada 50 km² la lluvia caída en un terreno accidentado, tiene casi tanto error relativo como determinar el agua que contendría un lago cuyo fondo tuviera un relieve inverso al del terreno, haciendo sólo un sondeo de profundidad por cada 50 km².

Los métodos de obtención de acopio de lluvias en una zona, de totalización de lluvias en una cuenca, etc., en las regiones de relieve complicado, son interpolaciones aceptables únicamente si existe suficiente densidad de pluviómetros, si están bien instalados y son bien leídos, y aun así, quien utilice esos datos, por ejemplo para el trazado de isoyetas, debe ser un experto que, además de conocer con cierto detalle el relieve de la región, considere los tipos de precipitación registrados, los efectos orográficos sobre cada uno, las características de los vientos, etc., a fin de que la estimación que resulte tenga garantías de veracidad.

4. Las comparaciones entre lecturas de diversos pluviómetros.

Las comparaciones efectuadas entre diversos pluviómetros indican que las diferencias en las lecturas llegan hasta el 10% sobre las sumas anuales.

A) Para dos pluviómetros del mismo tipo los totales diarios de precipitación difieren en mayor porcentaje mientras menor es su cantidad, pueden variar del 15 al 25% cuando son inferiores a 1 mm, del 3 al 4% para totales entre 1 y 5 mm y del 1 al 2% para totales del orden de 20 mm. En todo caso, la cantidad de agua recogida suele resultar menor que la que debería de recoger. Por la propia construcción de los pluviómetros, no se capta siempre toda el agua que pasa a través de lo que se llama superficie de recepción, bien por salpicadura en la boca y en el embudo cuando éste no es profundo y es demasiado plano, o bien por el excesivo mojado y la consecuente evaporación en las paredes, independientemente de los efectos dinámicos debidos al viento, defectos de instalación, etcétera.

B) Sin que se puedan establecer cifras o porcentajes más o menos exactos, las medidas de los pluviómetros son siempre ligeramente erróneas por defecto, y el error aumenta con la velocidad del viento.

El efecto del viento es tan notable que para eliminarlo, o por lo menos para atenuarlo, se han hecho intentos orientados en dos sentidos:

1º Conseguir un dispositivo que permita mantener la superficie receptora siempre normal, es decir, perpendicular a la dirección de caída de las gotas de lluvia.

2º Un medidor que indique tanto la inclinación media con la que cae la lluvia, como la cantidad que corresponde a una superficie receptora horizontal.

5. Aparatos de medida y registro

Para la medida y registro de las precipitaciones se emplea un material de observación básico muy sencillo, pero de cierta diversidad y dificultad en cuanto a instalación, normas de empleo e interpretación de sus medidas.

1. Aparatos

A. Para medir cantidades de precipitación:

- a) Pluviómetros
- b) Nivómetros
- c) Totalizadores

B. Para registrar distribuciones de lluvia en el tiempo:

- d) Pluviógrafos

C. Para medir la precipitación a distancia:

e) Radar meteorológico

Descripción de los aparatos:

a) Pluviómetros

a) Pluviómetros ordinarios. El aparato que tradicionalmente sirve para medir la precipitación propiamente dicha es el pluviómetro. Este aparato tiene cerca de tres centurias de antigüedad y a pesar de lo rudimentario que es, aún no ha sido reemplazado y es de esperar que utilice todavía por largo tiempo. En esencia, consiste en un cilindro recto, de sección conocida, con un borde agudo horizontal (boca) y un dispositivo para recoger el agua (colector). Entre éstos por lo general existe un embudo (Figura II.9). A continuación se describen las partes que lo conforman:

Boca. Generalmente su borde está hecho de material resistente a la intemperie. Suele consistir en un anillo biselado y cortante, de latón o bronce, por ser materiales suficientemente rígidos, como para que la superficie receptora se mantenga constante e inalterable a la intemperie para que no se deforme o corra; su finalidad es evitar salpicaduras y que la gota que cae en el borde quede partida, yendo dentro sólo la parte interceptada por la boca.

Colector. Tiene una cámara de aire alrededor para evitar que se caliente el agua recogida y disminuir la evaporación. Debe tener poco contacto con el aire exterior.

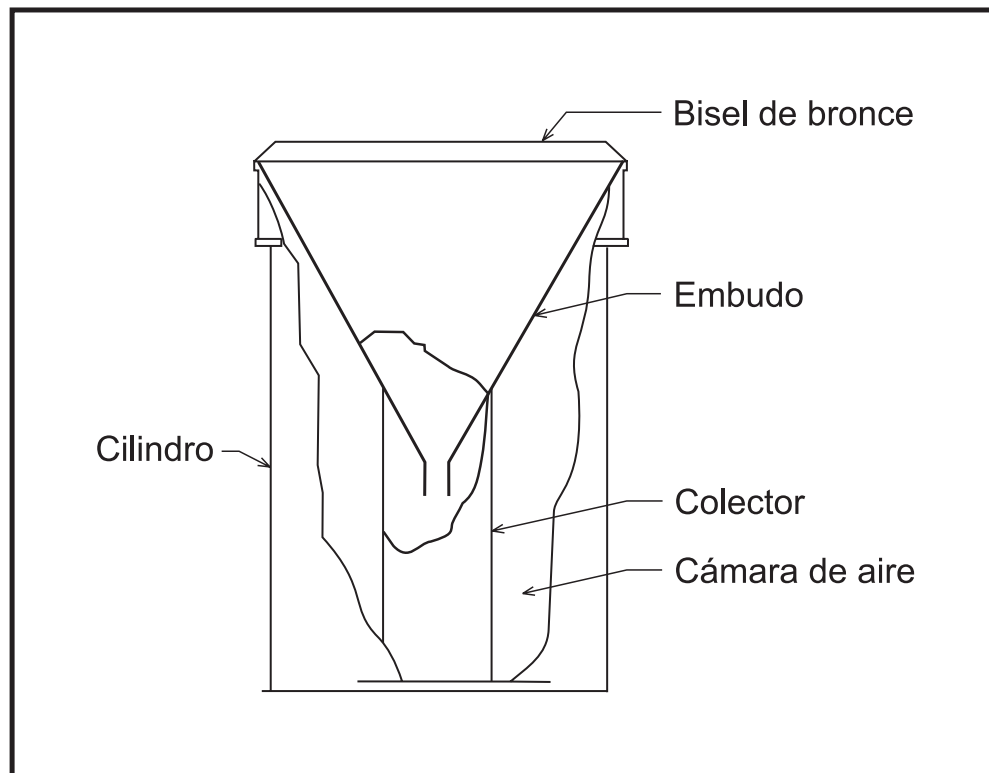


Figura II.9. Pluviómetro ordinario.

Embudo. En los pluviómetros que lo tienen sirve para canalizar el agua hacia el colector y simultáneamente lo tapa, evitando que la lluvia colectada se evapore.

Entre el anillo biselado de la boca y el embudo queda un cilindro de paredes verticales cuya altura puede llegar a ser igual al diámetro de la boca, aunque en muchos modelos es menor. Este cilindro puede considerarse que forma parte del embudo, inclusive algunas veces se identifica al anillo de la boca, como borde del embudo. La sección del anillo debe ser tal que su pared interior sea vertical y la exterior en pendiente no exagerada hacia afuera.

Probeta. En muchos modelos de pluviómetros se hace la lectura de la precipitación vertiendo el agua recogida por el colector en un recipiente o tubo graduado llamado probeta, y leyendo directamente sobre ella las unidades de altura de precipitación por el nivel que alcanza el agua. El fundamento de la graduación es sencillo, si la altura del agua precipitada es y , la sección de la probeta s , la superficie de la boca del pluviómetro S y la altura que el agua alcanza en la probeta l , se tiene:

$$Sy = sl \quad \text{por lo tanto} \quad l = Sy/s$$

El tubo de la probeta se gradúa fácilmente en unidades (u) de precipitación, espaciando en él las marcas en una longitud (L):

$$L = S/s \times u.$$

Existen muy diversos tipos de pluviómetros: norteamericano, español, alemán, francés, belga, inglés, canadiense, etc. En principio, todos éstos son un mismo pluviómetro, lo que varía es la altura de la boca del aparato sobre el suelo, la situación del colector sobre tierra o bajo tierra, la forma de hacer la lectura, etcétera.

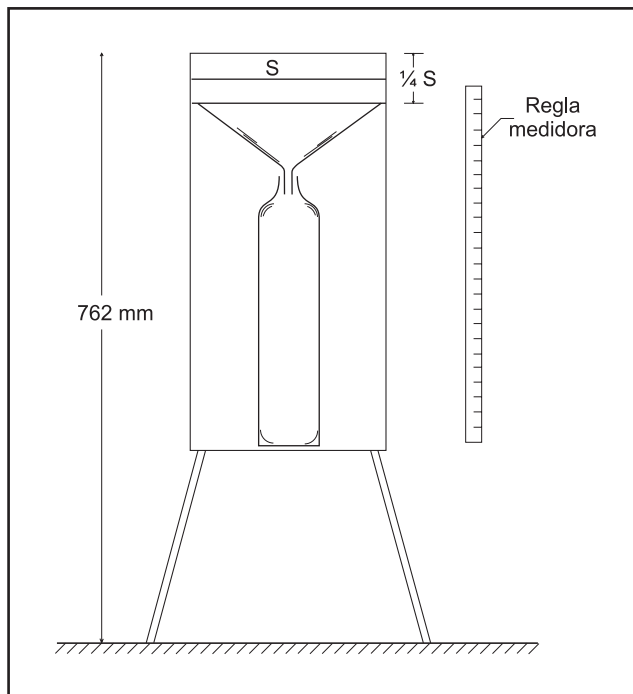
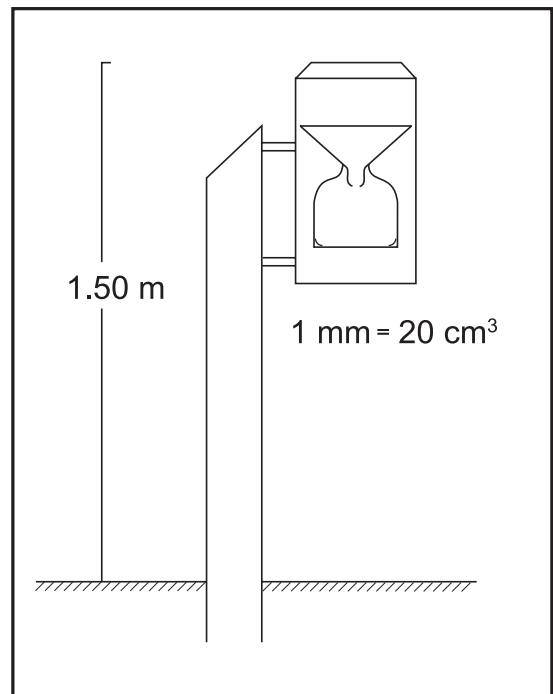
Tipo norteamericano. Es un pluviómetro común y corriente. La altura de la boca sobre el suelo es de 762 mm. La medición se hace con una regla fina de acero que se introduce por la boca del pluviómetro, en el depósito colector, el cual a su vez tiene una sección que es 1/10 de la sección de la boca del colector o superficie receptora. El embudo se encuentra a 1/4 de diámetro de la boca (Figura II.10). El colector tiene su base prácticamente al nivel del suelo del pluviómetro. Cuando se desborda el colector, si la cantidad de precipitación es superior a su capacidad, el agua desbordada queda en la armadura del pluviómetro. Se mide vertiéndola en el colector y tomando en éste la altura con la regla. La armadura está montada sobre un trípode de hierro.

Tipo español y alemán (Hellmann). La superficie receptora es de 200 cm², de manera que a 1 mm de lluvia corresponden 20 cm³ de agua recogida:

$$200 \text{ cm}^2 \times 1 \text{ mm}$$

$$200 \text{ cm}^2 \times .1 \text{ cm} = 20 \text{ cm}^3$$

Las características más importantes respecto a su instalación son: que la boca del pluviómetro se encuentra a 1.50 m del suelo, que va sujeto por un soporte lateral a un poste cuyo extremo superior está cortado en bisel y que es fácilmente desmontable del soporte para hacer la lectura (Figura II.11).

**Figura II.10. Pluviómetro tipo norteamericano.****Figura II.11. Pluviómetro tipo Hellmann.**

b. *Pluviómetros tropicales*. Son aparatos análogos a los anteriores pero con el depósito colector bastante mayor para poder medir lluvias hasta de 500 mm. Por ejemplo, en un modelo *Hellmann* el depósito debe tener una capacidad de $500 \text{ mm} \times 200 \text{ cm}^2 = 10\,000 \text{ cm}^3 = 10 \text{ dm}^3 = 10 \text{ litros}$.

b) Nivómetros

Con los nivómetros se mide la nieve precipitada. Son necesarios cuando la cantidad de nieve es considerable y su fusión es más difícil. Son los mismos pluviómetros anteriores con algunas modificaciones. La más común es la supresión del embudo para aumentar su capacidad, y la colocación en el interior de dos tabiques verticales que se cortan normalmente a lo largo del eje del cilindro, esto evita que los remolinos del viento saquen la nieve recogida. Para facilitar la fusión de la nieve dentro del cilindro se pone cloruro de calcio anhidrido, también se puede fundir añadiendo agua caliente. En ambos casos se descuenta de la cantidad de agua medida la substancia utilizada para fundir la nieve.

Otra técnica para medir la altura de la nieve consiste en emplear un cilindro hueco que se introduce verticalmente en ésta y después se cierra por debajo, sacándolo y fundiendo la nieve recogida. También se puede introducir verticalmente en la nieve una regla graduada y dividir entre diez la altura nevada, dando así los milímetros de agua equivalente. Para ambos procedimientos hay que escoger un lugar donde no se hayan producido acumulaciones o merma, ya sea por el viento o por deslizamiento.

Un método particularmente útil en las montañas inaccesibles para conocer las reservas de nieve que hay antes de iniciarse su fusión, consiste en colocar barras graduadas fijas en el suelo en sitios horizontales

convenientemente protegidos del viento. Estas barras son bastante altas y con marcas que semejan peldaños de escalera de caracol que se pueden fotografiar desde un avión para conocer así el espesor de la nieve. Cuando se han hecho medidas en diversos lugares se saca la media aritmética. El hecho de que haya dos o más capas de nieve superpuestas y el que ésta se hiele dificulta las mediciones.

Existen nivómetros radiactivos, basados en el amortiguamiento que experimenta la intensidad de la radiación de un foco emisor al atravesar un cierto espesor de substancia, en este caso nieve, amortiguamiento que es proporcional a dicho espesor. El foco emisor suele estar constituido por una pequeña cantidad de material radiactivo encerrado en una cápsula de plomo de gruesas paredes con una abertura en su porción superior. Dicha cápsula queda alojada en el suelo y sobre su vertical, en el eje del haz de radiación, a suficiente distancia va un contador *Geiger-Miller* que registra la intensidad de radiación que llega hasta él, y puede emitir a su vez este registro.

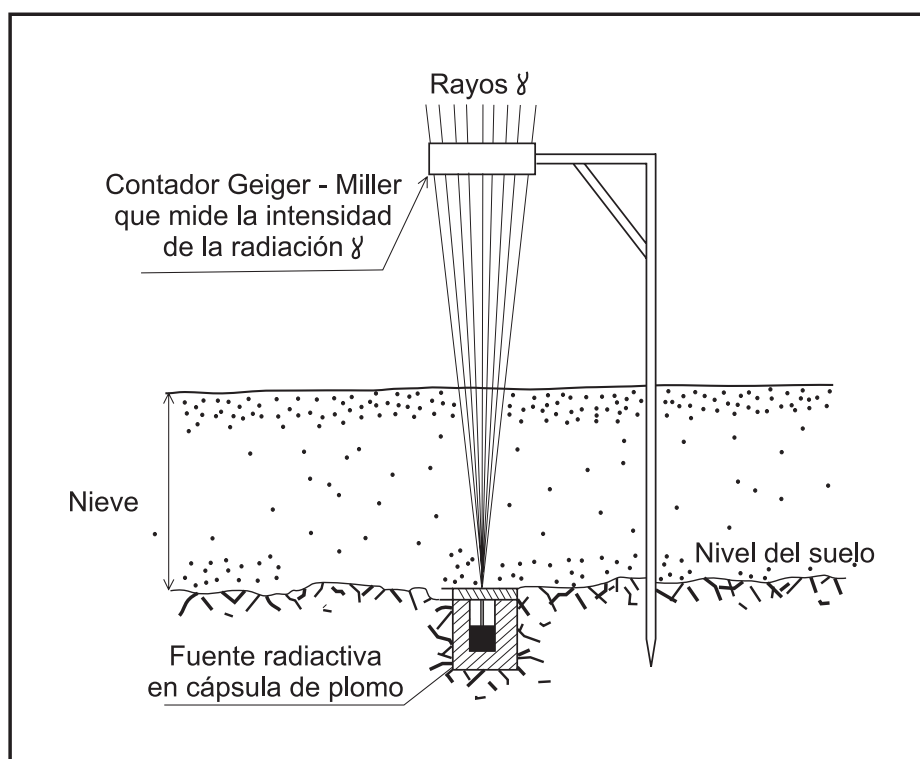


Figura II.12. Nivómetro radiactivo.

c) Totalizadores

Tienen por objeto obtener en una sola medida la precipitación total caída en un cierto punto durante un largo período (un año hidrológico, un verano, un período de lluvias, etc.); existen diversos modelos que comúnmente coinciden en sus detalles generales de construcción y funcionamiento.

Se instalan en lugares que sólo pueden visitarse con escasa frecuencia, normalmente una vez al año. Uno de los variados tipos de totalizadores consta de un depósito de zinc de aproximadamente 150 litros de capacidad con boca de 200 cm² de sección, para recoger precipitaciones hasta de 7 500 mm. La boca está provista de un aro de latón de borde cortante. En el fondo lleva un tapón de rosca o un grifo. El depósito va metido en otro de chapa galvanizada que cumple las siguientes misiones: a) soportar el depósito interior, b) el espacio entre ambos actúa como cámara de aire, evitando el enfriamiento o calentamiento exagerado del interior, y c) sirve a éste de protección. El fondo del depósito exterior se cierra con un tapón de rosca similar al del depósito interior o con una tapa que se puede fijar con un candado. El peso del totalizador descansa sobre unas barras que van enterradas en el suelo. La boca se sitúa a 2.50 m sobre el suelo. En el interior se coloca aceite líquido de vaselina o parafina que al flotar sobre el agua evita la evaporación, y cloruro de calcio anhidrido para fundir la nieve (Figura II.13). El aceite se puede recuperar por decantación y el cloruro de calcio por evaporación del agua.

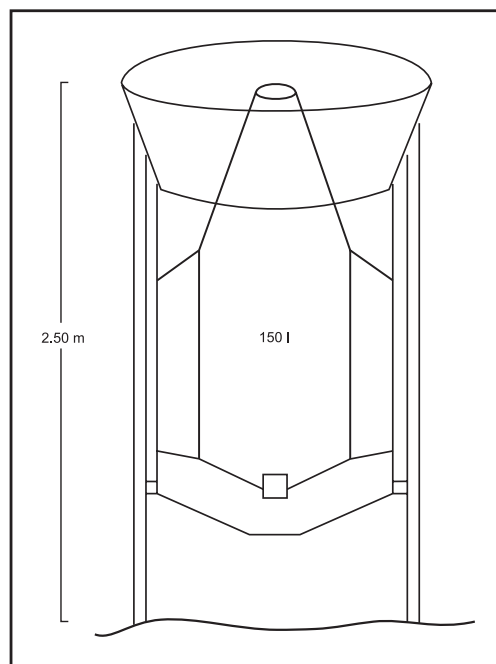


Figura II.13. Totalizador de montaña.

d) Pluviógrafos

Son los instrumentos destinados a medir la distribución de la lluvia en el tiempo en un determinado lugar. Con ellos se conoce la cantidad de lluvia a través del tiempo y también su intensidad.

Hay cinco clases o tipos fundamentales:

- a) de flotador sin sifón automático,
- b) de flotador con sifón automático,
- c) de balanza,
- d) de oscilación,

e) combinación de balanza y oscilación.

Ejemplo de cada tipo:

a) Pluviógrafo de flotador sin sifón automático

El flotador tiene un vástago vertical provisto de salientes a intervalos iguales. En ellos se apoya un brazo que sujeta la plumilla y está unido a un eje horizontal por el otro extremo; este brazo lleva un dispositivo tal, que cuando la plumilla llega a la parte superior de la banda cae al de abajo. El depósito se vacía con un sifón que se carga dándole un impulso al flotador o añadiendo agua para cebarlo (Figura II.14). Tiene como ventajas la sencillez y la falta de error acumulativo. Su inconveniente, como el de todos los pluviógrafos de flotador, es que éste puede ser dañado por las heladas.

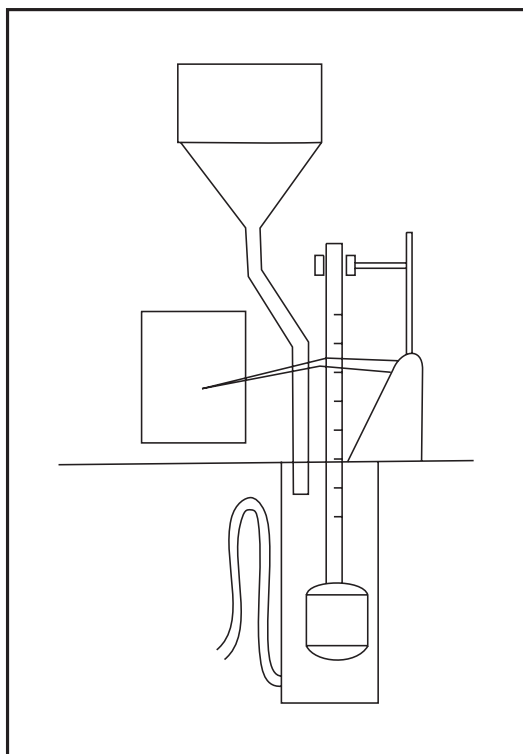


Figura II.14. Pluviógrafo sin sifón automático.

b) Pluviógrafo de flotador con sifón automático

El sifón automático se ceba por sí mismo cuando la plumilla ha alcanzado su máxima altura, y al mismo tiempo ésta vuelve al cero.

En el tipo de pluviógrafo *Hellman* la lluvia caída escurre a un receptor que, una vez lleno, se vacía automáticamente por un sifón acodado. Los cambios de altura del agua en dicho receptor son registrados por

una plumilla fijada a un vástago unido al flotador, cuyo movimiento, perfectamente vertical, está asegurado por unos carriles. El tambor da la revolución completa en una semana. La boca de este tipo de aparato, como la del pluviómetro, está situada a 1.50 m del suelo.

Para ajustar el cero, o lo que es lo mismo, regular el momento en que se vacía el receptor, puede variarse la altura del codo del sifón mediante un dispositivo. El sifón de este aparato tiene el inconveniente de que su descarga no es súbita, sino que se inicia con un goteo preliminar que evidentemente origina un error en el registro. En otros tipos de pluviógrafos esto se evita mediante otros modelos de sifones (Figura II.15).

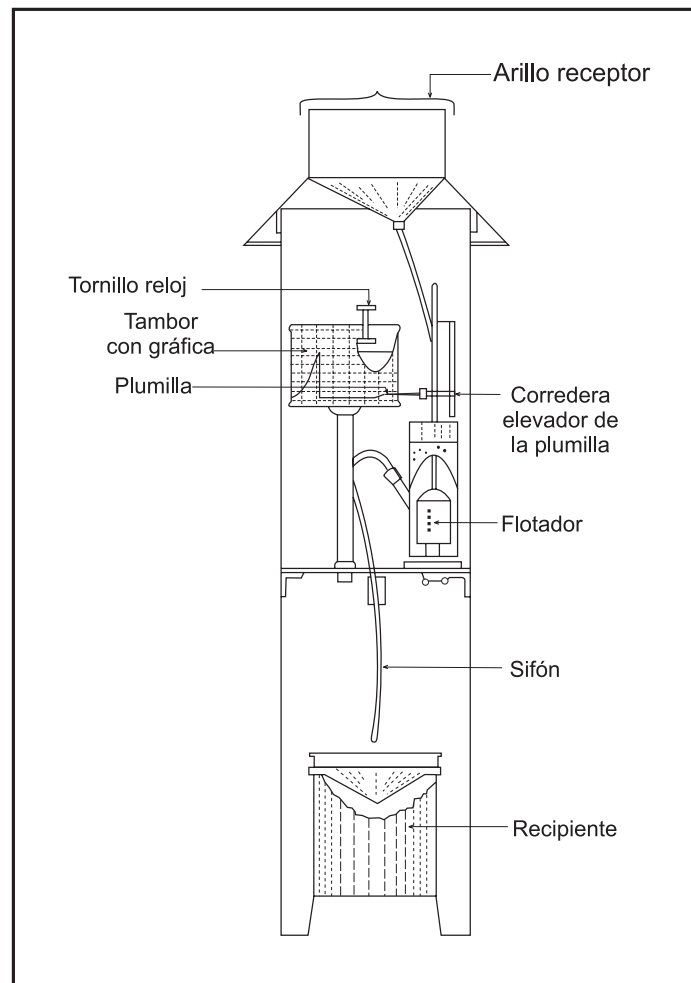


Figura II.15. Pluviógrafo de flotador con sifón automático tipo *Hellmann*.

Como se indicó anteriormente, el inconveniente común de los pluviógrafos de flotador es que las heladas bloquean al flotador al solidificarse el agua del receptor. En los pluviógrafos *Lambrecht*, análogos a los que se citaron, este inconveniente está resuelto con una lámpara de infrarrojo instalada en el interior de la armadura donde se aloja el sistema de registro. Dicha lámpara se enciende por un termostato cuando la temperatura exterior se aproxima a los 0° C y lo apaga cuando ésta vuelve a subir.

c) Pluviógrafo de balanza

Es el más indicado en los países muy fríos, porque no resulta dañado por las heladas y, además, sirve de nivógrafo. El colector va colocado sobre el plato de un mecanismo tipo pesacartas que acciona la plumilla inscriptora. Un inconveniente son las vibraciones debidas al viento, que influyen en el registro; éstas se evitan con amortiguadores de aceite. Va provisto de dos dispositivos, lo cual permite la rápida substitución del colector cuando el que está colocado en el aparato se ha llenado (Figura II.16).

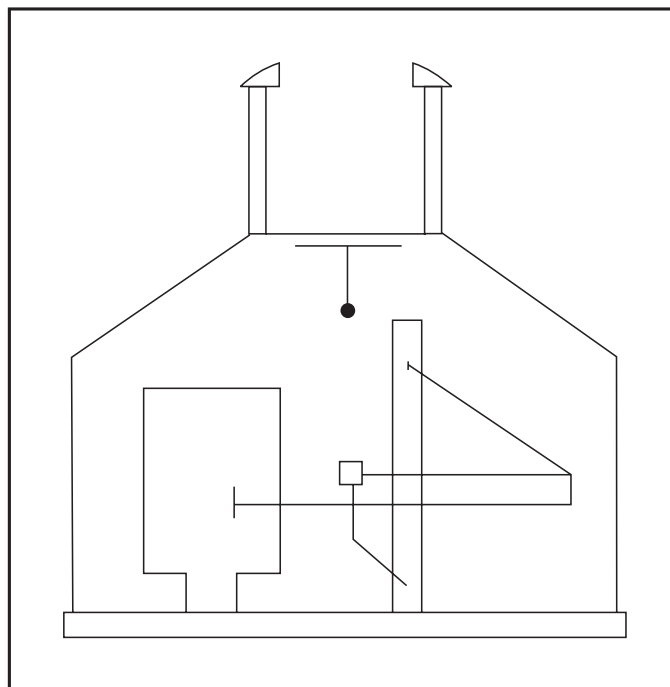


Figura II.16. Pluviógrafo de balanza.

d) Pluviógrafo de oscilación

En ellos el agua recogida por la boca cae en un depósito gemelo de otro, llamados canalones y montados ambos sobre un eje capaz de bascular alrededor de otro horizontal. Cada vez que los canalones oscilan se genera un movimiento en el engranaje que se transmite hasta la plumilla, la cual registra en la gráfica la altura de agua precipitada (Figura II.17). En otros pluviógrafos con el mismo principio, cuando uno de los canalones está lleno, el desplazamiento del centro de gravedad del sistema móvil le obliga a girar hasta tocar un contacto eléctrico, quedando entonces el otro canalón bajo la boca, repitiendo así la operación alternativamente. El registro puede hacerse en gráfica o a distancia, eléctricamente, este último también puede considerarse continuo, puesto que el volumen de los dos depósitos es del orden de 5 cm^3 (un cuarto de mm de lluvia). El tiempo que transcurre para efectuar el cambio de un canalón a otro es de aproximadamente 0.2 segundos, suficiente para generar un error en la medición, que aumenta con la intensidad de la lluvia. El error es de poca importancia para lluvias de intensidad inferior a 50 mm por hora, dándose muy pocas veces intensidades superiores.

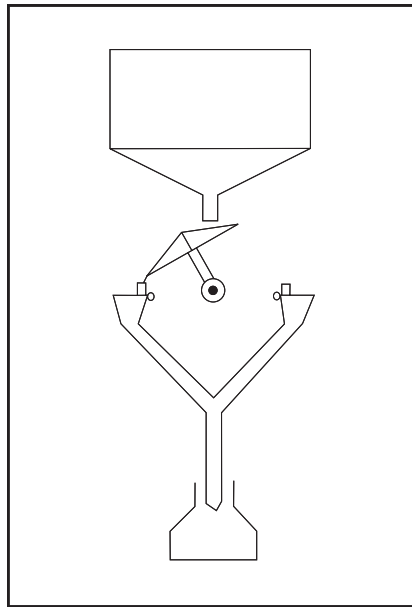


Figura II.17. Pluviógrafo de oscilación.

e) Combinación del pluviógrafo de balanza y el de oscilación

El pluviógrafo *Nilsson* tiene un depósito con cuatro compartimientos a los que impide girar un tope que sostiene a cada uno de ellos. El sistema total está equilibrado por un peso y se mueve hacia abajo cuando la lluvia cae en uno de los compartimientos, elevando el peso y accionando la plumilla inscriptora. Cuando han caído 3 mm de lluvia, el tope suelta el depósito giratorio vaciando el agua y quedando el compartimiento siguiente en disposición de recoger el agua (Figura II.18).

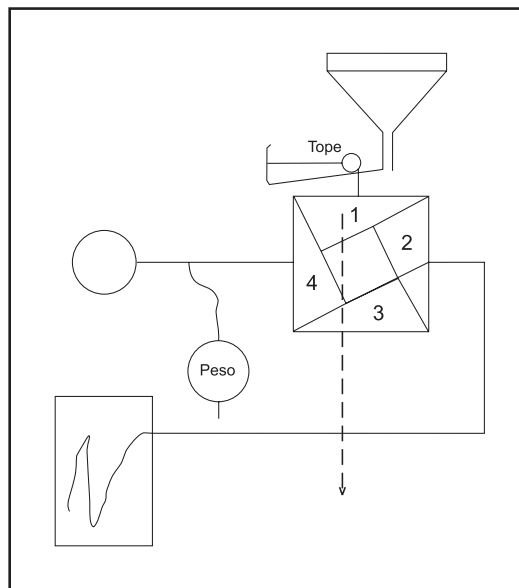


Figura II.18. Pluviógrafo combinación de balanza y de oscilación tipo *Nilsson*.

e) Radar meteorológico

Las medidas de la precipitación mediante el radar se abocan a la altura y a la intensidad de la precipitación.

Por lo que respecta a la altura de la precipitación, se toman fotografías que proyectan el área del temporal que la produce; en éstas aparecen zonas luminosas de mayor o menor intensidad, de acuerdo con la variación de las intensidades del eco que se correlacionan con las precipitaciones acumuladas, de conformidad con las informaciones recibidas de las estaciones sinópticas. Con esta información se pueden trazar rápidamente las isoyetas.

En lo referente a la intensidad de la precipitación, en las pantallas del radar meteorológico el eco de las gotas de lluvia es distinto del producido por otros obstáculos y gotitas de las nubes, por lo que éste puede ser interpretado como intensidad de la lluvia.

Los datos generados por el radar son de gran utilidad para el manejo de situaciones ocasionadas por fuertes precipitaciones. Por otro lado, representa un medio para efectuar medidas de precipitación en zonas inaccesibles.

2. Material de protección en los aparatos de medida y registro, para eliminar y/o reducir errores de medición en los pluviómetros y pluviógrafos y algunas condiciones de instalación de los aparatos

El hecho de que el pluviómetro sea uno de los aparatos más elementales empleados en hidrometeorología es, hasta cierto punto, una ventaja, porque no se necesita personal especializado para atender el gran número de estaciones pluviométricas que componen una red meteorológica. Sin embargo, para las mediciones de precipitación, hay que considerar que además de los errores propios del aparato, como *a)* el agua necesaria para empapar el embudo; *b)* el agua que queda adherida al colector; *c)* el agua que se pierde por el vaciado del colector a la probeta; *d)* la pérdida de agua por evaporación, y *e)* las salpicaduras; existen otros como los debidos a que la lluvia no cae en forma vertical, sino que es fácilmente desviada por el viento, dejando de ser perpendicular a la boca y los causados por los edificios y obstáculos próximos al aparato, que dan lugar a la llamada “sombra pluviométrica”.

Por otra parte, el pluviómetro origina torbellinos, debido a lo cual, él mismo perturba el campo a medir.

Para evitar estas situaciones se han ideado protecciones y se han establecido normas o condiciones para la instalación de los aparatos. Las protecciones pueden ser de tres tipos: 1. Fosa, 2. Vallado o postes y 3. Protectores adosados.

1. La fosa es excelente para la lluvia, pero no para la nieve porque ésta llena las fosas y el viento produce remolinos que pueden alterar la cantidad de nieve en el interior del aparato (Figura II.19).

2. El vallado o postes se utilizan principalmente para los nivómetros; un ejemplo es el tipo *Adler*, que es un cerco formado por tablillas unidas con un aro fijo en la parte superior y una cadena en la inferior, de forma que el viento la mueve y evita la acumulación de nieve (Figura II.20).

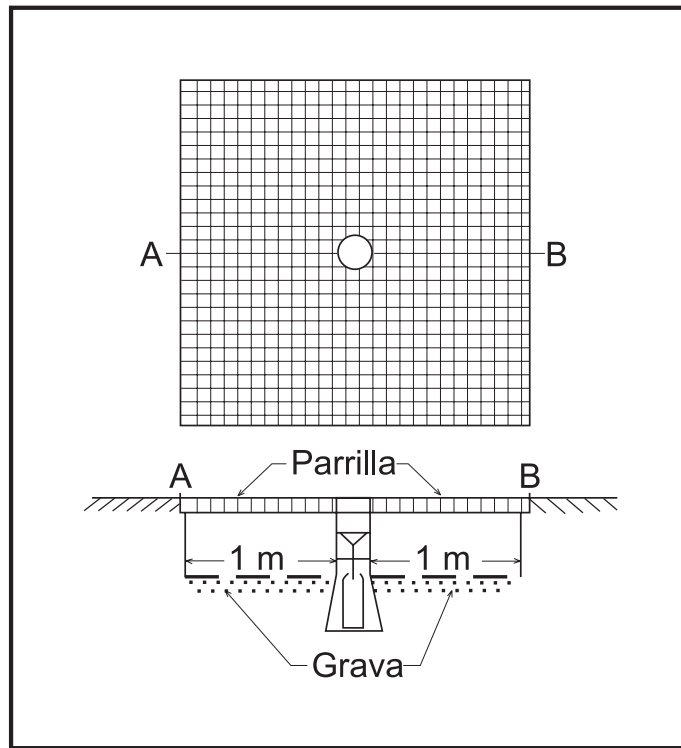


Figura II.19. Pluviómetro protegido por una fosa y una parrilla.

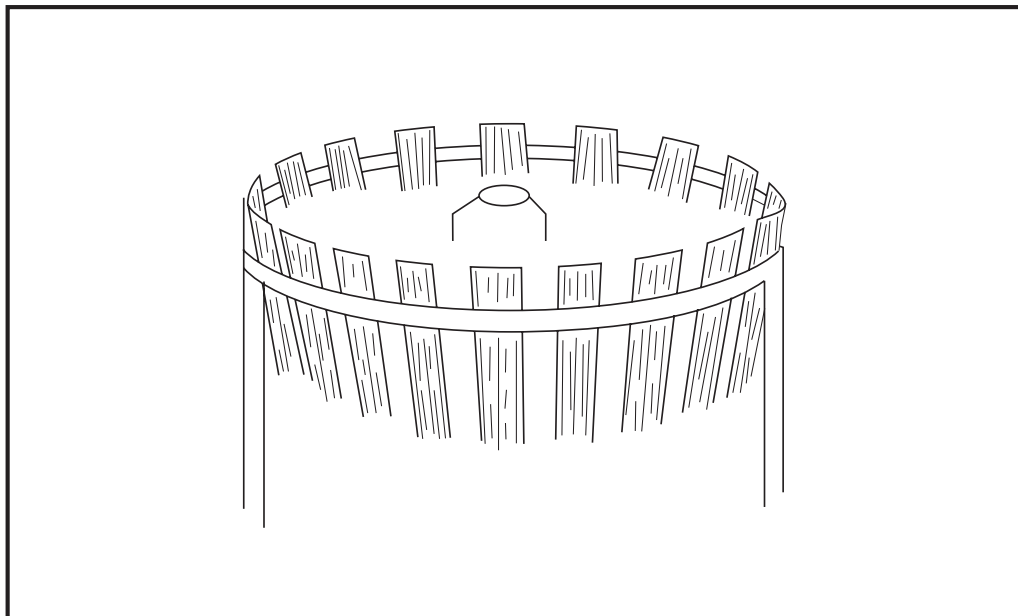


Figura II. 20. Protección de vallado o postes.

3. El método de mejores resultados es el de protectores adosados. Ejemplos de este tipo de protección son: uno consistente en dos conos de cobre, el inferior de ángulo 20° y el superior de 45° , provisto éste en su borde superior de una rejilla de tela metálica que evita las salpicaduras y otro que consiste en dejar espacio para la salida de la nieve en la parte inferior y sustituir el cono superior y la tela metálica horizontal por un cono muy chato, de gran ángulo, con lo que la protección resulta más efectiva (Figura II.21).

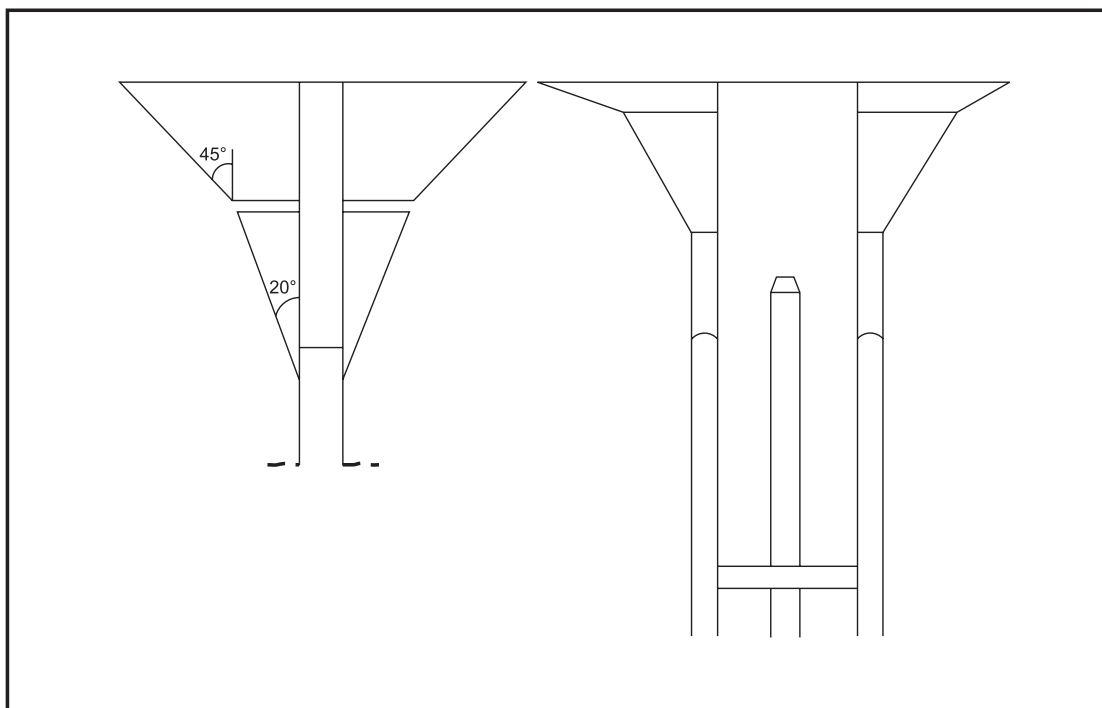


Figura II.21. Protectores adosados.

Entre algunas de las condiciones o normas de instalación establecidas por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), están:

1. Es conveniente la homogeneidad de modelos de pluviómetros para hacer comparables las medidas. La OMM ha establecido un modelo patrón llamado IRPG, el cual se deberá instalar en todas las estaciones meteorológicas a una distancia entre 5 y 15 m del pluviómetro que normalmente se emplee en la estación, y con la misma exposición de éste. Una instalación adecuada del pluviómetro patrón es la fosa o pozo pluviométrico, pues así se evita la mayoría de las desventajas de los pluviómetros elevados.
2. El error máximo tolerable en un pluviómetro ha de ser del 10%.
3. El exterior del pluviómetro debe ir pintado de blanco para evitar calentamiento que favorezca la evaporación, y el agua caída debe medirse cuanto antes por la misma razón.

4. Los aparatos deben instalarse en terreno lo más despejado de obstáculos y llano posible, donde la circulación del viento no sufra anomalías (acanalamiento, remolinos, etc.). Se establece como sombra pluviométrica el doble de la altura del obstáculo.
5. La densidad adecuada en la red pluviométrica debe ser de un aparato por unidad de superficie, que oscilará entre 25 y 250 km² según la topografía del terreno.

6. Rocío (precipitación oculta)

En las noches despejadas y sin viento, la tierra y las plantas adquieren, por radiación, temperaturas más bajas que el aire.

La diferencia es especialmente notable en las superficies de los cuerpos que son a la vez buenos radiadores y malos conductores de calor, como las hojas y los tallos de las plantas que pueden considerarse como cuerpos negros aislados del suelo, por lo cual a veces se ponen mucho más fríos que el aire y, por consiguiente, no es raro que alcancen el punto del rocío (temperatura a la que el vapor de agua del aire considerado se hace saturante).

El rocío tiende a acumularse en las superficies capaces de exhalar humedad, por eso antiguamente se creía que el rocío era agua transpirada por las plantas y objetos húmedos. Después se negó rotundamente que la humedad propia de los cuerpos pudiera influir en el rocío depositado sobre su superficie.

Actualmente se reconoce que en la producción del rocío tienen igual importancia el vapor de agua contenido en el aire y el exhalado del suelo, plantas y cuerpos húmedos, sólo así puede explicarse que colocando dos campanas de cristal invertidas, una sobre suelo húmedo y cubierta de césped y otra sobre una placa seca, se deposite a veces rocío en la primera y no en la segunda. Esto se debe a que durante la formación del rocío la tensión del vapor es mayor en las inmediaciones de los cuerpos impregnados de humedad que en el resto del aire, a causa de la evaporación que se produce a través de los poros de dichos cuerpos desde cavidades interiores de los mismos, poco afectados por el enfriamiento.

En términos generales, el rocío se define como una condensación por enfriamiento directo, que se produce cuando, a fuerza de bajar la temperatura sin que la tensión del vapor varíe, dicha tensión llega a ser saturante.

No es fácil hacer mediciones sistemáticas del régimen de rocío en los distintos lugares de la Tierra, pero se sabe que el rocío aumenta con los anticiclones y con todas aquellas causas que favorecen la radiación nocturna y que no se produce en noches de cielo cubierto y de viento fuerte. El rocío tiene su máximo al amanecer, en el momento en que se registra la temperatura mínima.

Los métodos para medir el agua depositada por el rocío son muy diversos y más o menos convencionales, ya que una estimación cuantitativa resulta siempre difícil. Entre los más empleados están los siguientes:

Método de Althong o procedimiento de Duvdevani. Éste ha sido de los más usados. Consiste en unas piezas de madera alargadas, revestidas de cierto barniz, que se colocan a determinadas alturas sobre el suelo. El observador debe comparar cada mañana el aspecto y tamaño del rocío depositado sobre la

cara superior, con una serie de modelos fotografiados, a cada uno de los cuales le corresponde una cantidad de agua determinada. El número de modelos fotografiados suele ser de 16. Este método, aunque poco preciso, es de algún valor práctico.

Método de A. Knapen. Lo ideó un ingeniero belga; consiste en unos pozos aéreos que son una especie de torres huecas, de paredes con orificios, por los cuales penetra el aire, el cual deposita su humedad en el interior frío y de superficie rugosa. Parece ser que los datos obtenidos por este método no son muy representativos del rocío que se deposita realmente sobre la superficie del suelo.

Método de las esponjas recogedoras. El procedimiento consiste en recoger con esponjas el agua depositada en una superficie determinada; pesándolas antes y después, la diferencia sería el peso del agua. Este método es poco confiable.

Método de la balanza. Sobre el platillo de una balanza se deposita tierra porosa determinando bien su peso, cuya medida se vuelve a hacer al día siguiente en la mañana; el aumento de peso es indudablemente debido al agua depositada por el rocío. Este método es útil en lugares donde se emplea el agua del rocío para cultivar.

Rociómetros y rociógrafos. De éstos los más confiables son los de balanza. La medida y el registro del rocío se lleva a cabo mediante el peso de las gotas de agua que se depositan en un platillo. De hecho son balanzas de gran sensibilidad y precisión, pero muy delicadas para su operación.

Solamente los métodos de las piezas de madera, de la balanza y los rociómetros y rociógrafos se pueden considerar válidos.

En México no se mide el rocío, debido a que en la mayoría de las estaciones meteorológicas no se cuenta con los aparatos requeridos. La información del fenómeno se limita al número de días con rocío por mes y por año.

Desde el punto de vista agrometeorológico la medida del rocío es de gran importancia, ya que alimenta a las plantas, aunque a veces sus efectos son desastrosos, pues un rocío fuerte en determinadas condiciones, puede disminuir la cosecha al favorecer la producción de determinados hongos.

7. Cálculo de la precipitación media sobre un área

Para el cálculo de la precipitación media en una cuenca o un área, a partir de los datos de las estaciones meteorológicas (pluviométricas), pueden utilizarse varios procedimientos.

1. El primero y más simple es tomar como precipitación media la media aritmética de los valores observados en las distintas estaciones meteorológicas localizadas dentro de la cuenca. Esto sólo es aconsejable cuando la distribución de las estaciones en la cuenca sea bastante uniforme en las zonas bajas y convenientemente elegida en zonas de montaña. Estas dos condiciones normalmente no se dan en la mayoría de las cuencas de México, por lo que este procedimiento resulta poco aproximado (Figura II.22 y Cuadro II.2).

Para determinar la precipitación media de la cuenca con este método se aplica la expresión matemática siguiente:

$$P = \frac{\sum p_n}{n},$$

donde:

P precipitación media de la cuenca.

p_n precipitación media de cada estación meteorológica localizada dentro de la cuenca.

n número de estaciones meteorológicas localizadas dentro de la cuenca.

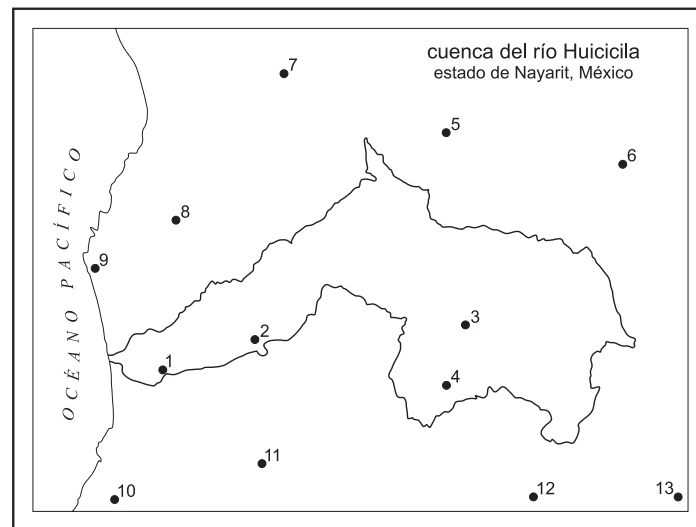


Figura II.22. Estaciones meteorológicas.

Cuadro II.2 Método de la media aritmética

ESTACIÓN	PRECIPITACIÓN (p) mm
1	1379.0
2	1768.5
3	1361.0
4	927.4
5	1309.0
6	1422.2
7	1520.9
8	1502.6
9	1342.1
10	1355.7
11	1731.7
12	1158.6
13	1446.3

$$\bar{P} = \frac{p_1 + p_2 + p_3 + p_4}{4} = \frac{\sum p_n}{n}$$

$$\bar{P} = \frac{1379.0 + 1768.5 + 1361.0 + 927.4}{4}$$

$$\bar{P} = \frac{5435.9}{4}$$

$$\bar{P} = 1358.98 \text{ mm}$$

2. Un segundo procedimiento es el de los polígonos de *Thiessen*. La red poligonal se traza formando los polígonos mediante las perpendiculares en el punto medio a los segmentos que unen cada dos estaciones. Se supone que cada estación es representativa del área del polígono que la encierra, de manera que la precipitación media de la superficie limitada por cada polígono es la que se registra en la estación meteorológica correspondiente (Figura II.23 y Cuadro II.3).

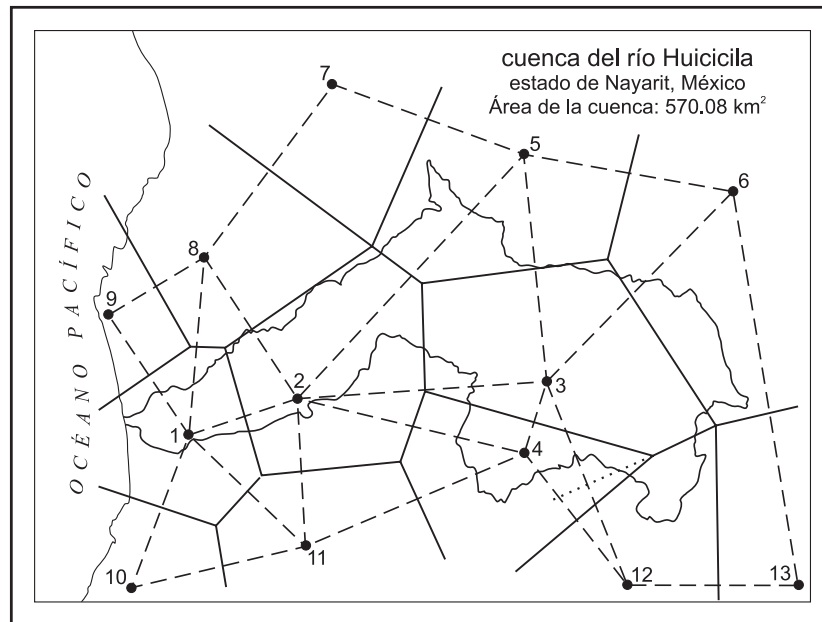


Figura II.23. Polígonos de *Thiessen*.

Cuadro II.3. Método de los polígonos de *Thiessen*

POLÍGONO	PRECIPITACIÓN MEDIA DE CADA POLÍGONO (p) mm	ÁREA DE CADA POLÍGONO (a) mm	VOLUMEN m³	PRECIPITACIÓN MEDIA DE LA CUENCA mm
1	2	3	4 = (2)(3)	5 = $\frac{\Sigma 4}{\Sigma 3}$
1	1379.0	39.46	54 415 340	$\bar{p} = \frac{p_1 a_1 + p_2 a_2 + p_3 a_3 + \dots + p_n a_n}{A}$ $\bar{p} = \frac{\Sigma p_n a_n}{A}$ $\bar{p} = \frac{792\,317\,302\,m^3}{570\,080\,000\,m^2}$ $\bar{p} = 1.38984\,m$ $\bar{p} = 1\,389.84\,mm$
2	1768.5	116.49	206 012 560	
3	1361.0	236.93	322 461 730	
4	927.4	63.95	59 307 230	
5	1309.0	48.94	64 062 460	
6	1422.2	43.81	62 306 582	
12	1158.6	20.50	23 751 300	
Suma (Σ)		570.08	792 317 302	1 389.84

Así, la precipitación media de la cuenca se obtiene sumando los productos de las precipitaciones de cada estación por el área del polígono correspondiente y dividiendo la suma entre el área total de la misma cuenca:

$$P = \frac{(p_1 a_1) + (p_2 a_2) + (p_3 a_3) \dots + (p_n a_n)}{A}$$

$$P = \frac{\sum p_n a_n}{A}$$

donde:

P precipitación media de la cuenca,

p precipitación media de cada polígono (corresponde a la precipitación media de la estación limitada por cada polígono),

a área correspondiente a cada polígono.

A Área total de la cuenca

Las áreas de los polígonos se calculan mediante el empleo de papel milimétrico, del planímetro o de sistemas de información geográfica.

3. Un tercer procedimiento es el método de las isoyetas, que es el más preciso. Consiste en trazar isolíneas de igual precipitación (isoyetas). La precipitación media de la cuenca se calcula sumando los productos de las áreas comprendidas entre cada dos isoyetas, por su correspondiente precipitación media, y dividiendo la suma entre el área total de la cuenca. Cuando las isoyetas discurren paralelas, la precipitación media del área comprendida entre cada dos es la semisuma de los valores de éstas (Figura II.24 y Cuadro II.4).

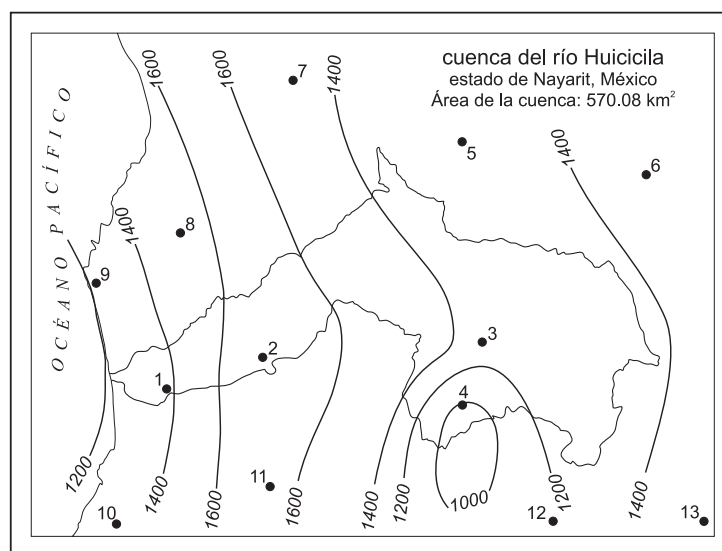


Figura II.24. Isoyetas.

Cuadro II.4. Método de las isoyetas.

ISOYETAS mm	PRECIPITACIÓN MEDIA ENTRE CADA DOS ISOYETAS (p) mm	ÁREA ENTRE CADA DOS ISOYETAS (a) Km ²	VOLUMEN m ³	PRECIPITACIÓN MEDIA DE LA CUENCA mm
1	2	3	4 = (2)(3)	5 = $\frac{\Sigma 4}{\Sigma 3}$
1200 - 1400	1300	22.50	29 500 000	
1400 - 1600	1500	31.43	47 145 000	
1600 - 1600	1600	76.30	122 080 000	
1600 - 1400	1500	108.43	162 645 000	
1400 - 1200	1300	286.14	371 982 000	
1200 - 1000	1100	35.10	38 610 000	
1000 - 800	900	10.18	9 162 000	
Suma (Σ)		570.08	780 870 000	1 369.76

$$\bar{p} = \frac{p_1 a_1 + p_2 a_2 + p_3 a_3 + \dots + p_n a_n}{A}$$

$$\bar{p} = \frac{\Sigma p_n a_n}{A}$$

$$\bar{p} = \frac{780\,870\,000\text{ m}^3}{570\,080\,000\text{ m}^2}$$

$$\bar{p} = 1.36976\text{ m}$$

$$\bar{p} = 1\,369.76\text{ mm}$$

Para determinar la precipitación media se emplea la siguiente expresión:

$$P = \frac{(p_1 a_1) + (p_2 a_2) + (p_3 a_3) \dots + (p_n a_n)}{A}$$

$$P = \frac{\Sigma p_n a_n}{A}$$

en donde:

P precipitación media de la cuenca,

p precipitación media correspondiente al área comprendida entre cada dos isoyetas,

a área comprendida entre cada dos isoyetas.

A Área total de la cuenca

El área comprendida entre cada dos isoyetas se calcula mediante el empleo de papel milimétrico, del planímetro o de sistemas de información geográfica.