

## **CAPITULO 2: PRECIPITACIÓN**

### **2.1 DEFINICIÓN**

Se conoce como precipitación a la cantidad de agua que cae a la superficie terrestre y proviene de la humedad atmosférica, ya sea en estado líquido (llovizna y lluvia) o en estado sólido (escarcha, nieve, granizo). La precipitación es uno de los procesos meteorológicos más importantes para la Hidrología, y junto a la evaporación constituyen la forma mediante la cual la atmósfera interactúa con el agua superficial en el ciclo hidrológico del agua.

La evaporación de la superficie del océano es la principal fuente de humedad para la precipitación, se puede decir que es el 90% de la precipitación que cae en el continente. Sin embargo, la mayor cantidad de precipitación no necesariamente cae sobre los océanos, ya que la circulación atmosférica transporta la humedad grandes distancias, como evidencia de ello se pueden observar algunas islas desérticas. La localización de una región con respecto a la circulación atmosférica, su latitud y distancia a una fuente de humedad son principalmente los responsables de su clima.

### **2.2 FORMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN**

La humedad siempre está presente en la atmósfera y la precipitación proviene de la humedad, pero la presencia de humedad no garantiza que exista precipitación. Para que se produzca la precipitación es indispensable la acción de algunos mecanismos que enfríen el aire lo suficiente como para llevarlo o acercarlo a la saturación.

A medida que el vapor de agua va ascendiendo, se va enfriando y el agua se condensa de un estado de vapor a un estado líquido, formando la niebla, las nubes o los cristales de hielo. Para que esta formación se lleve a cabo, generalmente se requiere la presencia de núcleos de condensación, alrededor de los cuales las moléculas del agua se

pueden unir. Existen diversas partículas que pueden actuar como núcleos de condensación, con tamaños que varían desde 0.1 (aerosoles) hasta 10  $\mu\text{m}$  de diámetro; entre estas partículas tenemos: algunos productos de la combustión como óxidos de nitrógeno y sulfuro, partículas de sal producto de la evaporación de la espuma marina y algunas partículas de polvo que flotan en el aire.

En las nubes pueden existir gotas de agua a temperaturas por debajo del punto de congelamiento hasta  $-40^{\circ}\text{C}$  y es sólo en presencia de tales gotas sobrecongeladas que el núcleo helado natural es activado.

Las gotas o cristales de hielo crecen rápidamente debido a la nucleación, pero el crecimiento después de esto es lento. Mientras que las partículas que constituyen las nubes tienden a asentarse, los elementos promedio pesan tan poco que sólo un leve movimiento hacia arriba del aire es necesario para soportarlo.

Constantemente hay gotas de agua que caen de las nubes, pero su velocidad de caída es tan pequeña, que no llegan a la tierra porque muchas veces vuelven a evaporarse antes de alcanzarla y ascienden de nuevo en forma de vapor. Al aumentar el vapor, o si la velocidad de caída supera los 3 m/s, las gotas de agua incrementan su peso, provocando lluvia (Figura 2.1); cuando este peso se hace mayor, aumenta la velocidad de caída con lo cual la lluvia se intensifica y puede transformarse en una tormenta.



**Figura 2.1** Esquema representativo del mecanismo de formación de precipitación

Los factores más importantes que conllevan a una precipitación significativa son: la colisión y la fusión de las partículas de la nube y de la precipitación. La colisión entre la nube y las partículas de la precipitación se presenta debido a diferencias en velocidades de caída como resultado de diferencias de tamaño (las partículas más pesadas caen más rápidamente que las partículas más pequeñas que son levantadas por las corrientes aéreas ascendentes y en algunos casos se evaporan). Las partículas que chocan se unen formando partículas más grandes, y el proceso se puede repetir varias veces, hasta cuando las gotas tienen el suficiente tamaño como para que puedan caer.

Las corrientes aéreas ascendentes más fuertes evitan que incluso las gotas de agua más grandes caigan y llevan todos los elementos de la precipitación a las porciones superiores de las nubes para producir una acumulación del agua líquida que excede en gran medida al de las partículas ordinarias de la nube. Eventualmente, el agua acumulada se precipita como resultado del debilitamiento de la corriente aérea ascendente o como sucede a menudo, por una corriente descendente, que se puede iniciar posiblemente por la masa del agua acumulada.

Cuando está precipitando repentinamente en una corriente descendente, las gotas de lluvia son de gran tamaño y el aguacero torrencial que resulta dura solamente algunos minutos. En una tempestad de truenos puede haber varios aguaceros, o explosiones, de un número de celdas, y la precipitación total pico puede duplicar el valor de precipitación alcanzado en una lluvia repentina.

En grandes cúmulos, donde no hay precipitación, la concentración máxima del agua líquida puede estar cerca de  $4 \text{ g/m}^3$ , pero el valor medio para la nube pudo ser solamente la mitad de este valor. Concentraciones mayores que ésta producen precipitaciones que alcanzan la tierra.

## **2.3 CLASIFICACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN**

### **2.3.1 De acuerdo a sus características físicas**

La precipitación puede adquirir diversas formas como producto de la condensación del vapor de agua atmosférico, formado en el aire libre o en la superficie de la tierra, y de las condiciones locales, siendo las más comunes las que se detallan a continuación:

#### **2.3.1.1 Llovizna**

En algunas regiones es más conocida como garúa, consiste en pequeñas gotas de agua líquida cuyo diámetro fluctúa entre 0.1 y 0.5 mm; debido a su pequeño tamaño tienen un asentamiento lento y en ocasiones parecen que flotarán en el aire. La llovizna usualmente cae de estratos bajos y rara vez excede de 1 mm/h.

#### **2.3.1.2 Lluvia**

Es la forma de precipitación más conocida. Consiste de gotas de agua líquida comúnmente mayores a los 5 mm de diámetro. En algunos países suelen clasificarla según su intensidad según su intensidad como ligera, moderada o fuerte (ver Tabla 2.1).

**Tabla 2.1** Clasificación de la lluvia según su intensidad.

Intensidad	(mm/h)	Observaciones
Ligera	< 2.5	Las gotas se pueden identificar fácilmente unas de otras. Cuando existe una superficie expuesta seca, ésta tarda más de dos minutos en mojarse completamente.
Moderada	2.5-7.5	No se pueden identificar gotas individuales, se forman charcos con gran rapidez. Las salpicaduras de la precipitación se observan hasta cierta altura del suelo.
Fuerte	> 7.5	La visibilidad es escasa y las gotas que salpican sobre la superficie se levantan varios centímetros.

### 2.3.1.3 Escarcha

Es un depósito blanco opaco de gránulos de hielo más o menos separados por el aire atrapado y formada por una rápida congelación efectuada sobre gotas de agua sobrecongeladas en objetos expuestos (Figura 2.2), por lo que generalmente muestran la dirección predominante del viento. Su gravedad específica puede ser tan baja como 0.2 ó 0.3.

### 2.3.1.4 Nieve

Está compuesta de cristales de hielo, de forma hexagonal ramificada (Figura 2.3), y a menudo aglomerada en copos de nieve, los cuales pueden alcanzar varios centímetros de diámetro. Aparece cuando las masas de aire cargadas de vapor de agua se encuentran con otras cuya temperatura es inferior a 0°C. La densidad relativa de la nieve recién caída varía sustancialmente, pero en promedio se asume como 0.1.



**Figura 2.2** Escarcha sobre un poste de madera



**Figura 2.3** Cristales de nieve

### 2.3.1.5 Granizo

Es la precipitación en forma de bolas de hielo, producida por nubes convectivas. El granizo se forma a partir de partículas de hielo que, en sus desplazamientos por la nube, van "atrapando" gotas de agua. Las gotas se depositan alrededor de la partícula de hielo y

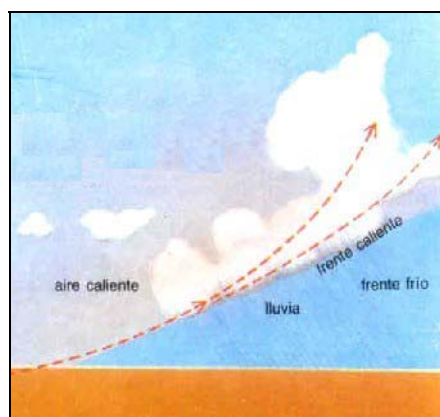
se congelan formando capas, como una cebolla. Los granizos pueden ser esferoidales, cónicos o irregulares en forma, y su tamaño varía desde 5 hasta 125 mm de diámetro, pudiendo llegar a destrozar cosechas.

### 2.3.2 De acuerdo al mecanismo de formación

La precipitación puede clasificarse teniendo en cuenta el factor principalmente responsable, ya que lo más frecuente es que sea generada por varios factores, del elevamiento de la masa de aire que la genera. Con base en ello se pueden distinguir tres tipos de precipitación, a saber:

#### 2.3.2.1 Precipitación Ciclónica

Resulta del levantamiento del aire que converge en un área de baja presión o ciclón. Cuando se encuentran dos masas de aire, una caliente y una fría, en lugar de mezclarse, aparece una superficie de discontinuidad definida entre ellas, llamada frente (ver Figura 2.4). El aire frío al ser más pesado, se extiende debajo del aire caliente por lo que el aire caliente se eleva y su vapor de agua se puede condensar y producir precipitación. Si el aire caliente avanza hacia el aire frío, el borde es un frente caliente, el cual tiene una pendiente baja entre 1/100 y 1/300, y el aire caliente fluye hacia arriba lentamente y por encima del aire frío. Las áreas de lluvia asociadas con estos frentes pueden ser muy grandes y la precipitación es generalmente ligera a moderada y casi continua hasta el paso del frente. Si el aire frío avanza hacia el aire caliente, el borde de la masa de aire frío es un frente frío el cual tiene una pendiente casi vertical, con lo cual el aire caliente es forzado hacia arriba más rápidamente que en el frente caliente.

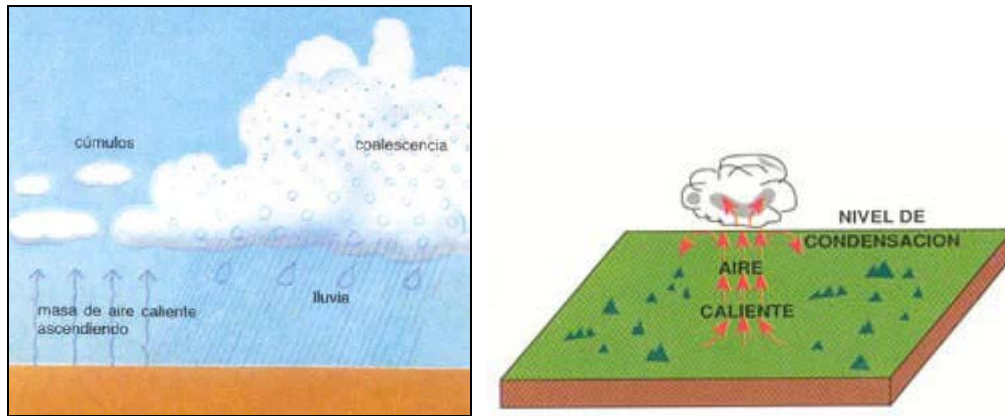


**Figura 2.4.** Precipitación Ciclónica

#### 2.3.2.2 Precipitación Convectiva

Es el tipo de precipitación que predomina en la zona de costa del departamento de Piura por acción de los anticiclones norte y sur del atlántico. Se presenta cuando una masa de aire cálido tiende a elevarse, por ser menos pesado que el aire de la atmósfera circundante. La diferencia en temperatura puede ser resultado de un calentamiento diferencial en la superficie (Figura 2.5), enfriamiento diferencial en la parte superior de una capa de aire, o por la elevación mecánica cuando el aire se fuerza a pasar sobre una masa de un aire más denso (ciclones), o sobre una barrera montañosa. A medida que la masa se eleva, el aire se enfría pues cae su punto de precipitación. Esto genera la condensación de parte del vapor de agua dentro de la masa de aire, formando nubes. Estas

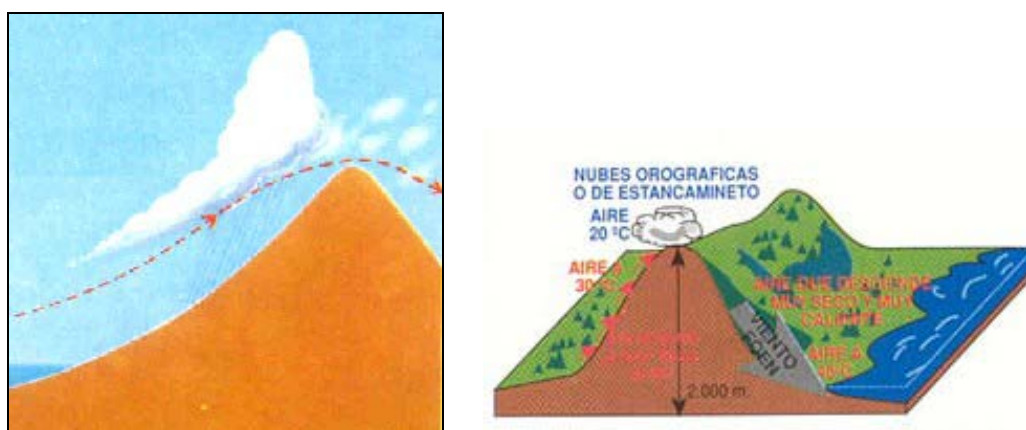
nubes descargan lluvia con incremento en el calor latente a través del proceso de precipitación. Un claro ejemplo de este tipo de precipitación son las tormentas eléctricas al atardecer que se desarrollan en días calurosos de aire húmedo, precipitación desde el interior de encumbradas nubes en forma de yunque. La precipitación convectiva es puntual y su intensidad puede variar entre aquellas que corresponden a lloviznas y aguaceros.



**Figura 2.5.** Precipitación Convectiva

### 2.3.2.3 Precipitación Orográfica

Resulta del choque entre las corrientes oceánicas de aire que cruzan sobre la tierra y las barreras montañosas (Figura 2.6), generando la elevación mecánica del aire, el cual posteriormente se enfría bajo la temperatura de saturación y vierte humedad, este tipo de precipitación suele ser la que se presentan en la zona montañosa del departamento de Piura, por ejemplo. En terrenos rugosos la influencia orográfica es marcada, tanto que los patrones de precipitación de tormentas tienden a asemejarse al de la precipitación media anual. La mayoría de las lluvias orográficas son depositadas sobre las pendientes a barlovento.



**Figura 2.6.** Precipitación orográfica.

En la naturaleza los efectos de estos diversos tipos de enfriamiento del aire se correlacionan con bastante frecuencia entre sí, y la precipitación resultante no puede ser identificada estrictamente como perteneciente a alguno de estos tipos de precipitación, sino más bien como una interacción entre ellos.

## 2.4 PLUVIOMETRÍA

Para fines prácticos, lo que interesa es determinar la cantidad de precipitación que llega a la superficie terrestre, para lo cual se mide con una regla graduada en milímetros, la altura que alcanzaría en el suelo la lámina de agua si no se filtrara o escurriera. En América Latina la precipitación es medida en milímetros y décimas, mientras que en los Estados Unidos la precipitación es medida en pulgadas y centésimas.

En el Perú, la precipitación es registrada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), mediante su red de estaciones meteorológicas distribuidas en todo el territorio peruano. Adicionalmente, para la zona norte del país se han instalado algunas estaciones meteorológicas en las cuencas de los ríos Piura y Chira controladas por el Sistema de Alerta Temprana (SIAT).

Piura tiene un clima seco en la zona costera y templado en la zona montañosa, por lo que la lluvia es la principal forma de precipitación que se presenta en el departamento, pero en otras partes del mundo la precipitación puede ser casi completamente nieve o en zonas más áridas, rocío.

### 2.4.1 Instrumentos de medición

Se han desarrollado gran variedad de instrumentos para obtener información de la precipitación. La información obtenida puede ser de diversa índole; se puede mencionar: la distribución del tamaño de las gotas de lluvia, el tiempo de inicio y de término de la precipitación, y la cantidad e intensidad de la precipitación, siendo esta última la que más interesa para la determinación de las tormentas de diseño. Existen básicamente dos tipos de medidores que registran la cantidad e intensidad de la lluvia, siendo ellos:

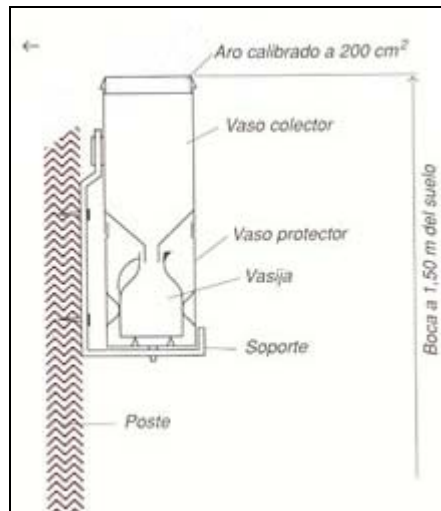
#### 2.4.1.1 Medidores sin registro o pluviómetros

Cualquier recipiente abierto de lados verticales, como los de la Figura 2.7, es apropiado para medir la lluvia, pero debido a la variación del viento y el efecto de salpicadura las medidas no son comparables a menos que los recipientes sean del mismo tamaño, forma y exposición similar. Por lo que hay patrones preestablecidos para los medidores estándar y para su instalación y operación.

El medidor estándar de la U.S. National Weather Service tiene un colector de 20.3 cm de diámetro. La lluvia pasa del colector hacia el interior de un tubo de medición cilíndrico dentro de un envase de demasías. El tubo de medición tiene un área de sección transversal igual a un décimo de la del colector, es decir que 0.1 mm de precipitación llenarán el tubo una altura de 1 mm. Con una vara de medición graduada, la lluvia puede ser medida con precisión de hasta 0,1 mm. Este tipo de medidores se emplea generalmente para la medición de la precipitación diaria, para ello un observador toma la lectura en la vara de medición a determinada hora todos los días.

Otro tipo de medidores sin registro son los medidores de almacenamiento, los cuales se emplean para medir la precipitación en todo un período de tiempo, por ejemplo un mes o una estación, por lo que deben estar dotados de un mayor volumen de

almacenamiento. Estos son ubicados en lugares remotos y de difícil acceso, en donde la toma de lecturas diarias es una labor muy complicada.



**Figura 2.7** Pluviómetro.

#### 2.4.1.2 Medidores con registro o pluviógrafos

Son instrumentos que registran la precipitación automáticamente y de manera continua en intervalos de tiempo de hasta una semana. Estos medidores son más costosos y más propensos a error, pero pueden ser la única forma posible para ciertos sitios remotos y de difícil acceso. Estos medidores tienen la gran ventaja que indican la intensidad de la precipitación, la cual es un factor de importancia en muchos problemas.

Tres tipos de medidores con registro son comúnmente empleados, el medidor de cubeta basculante, el de balanza y el medidor de flotador.

En el primero de ellos el agua es capturada por un colector que es seguido por un embudo, el cual conduce el agua hacia el interior de una cubeta de dos compartimientos. 0,1 mm de lluvia harán que la cubeta pierda el balance, por lo cual ésta se inclinará vaciando el contenido hacia el interior de un recipiente y moviendo el segundo compartimiento hacia el lugar debajo del embudo. Cuando el balde está inclinado acciona un circuito eléctrico y el aparato de registro mide la intensidad de la lluvia.

Los medidores de balanza, pesan la lluvia que cae dentro de un balde, sobre la plataforma de un resorte o control balanceado. El incremento del peso del balde y su contenido es registrado en una gráfica.

El medidor de flotador, posee un compartimiento donde se aloja un flotador que sube verticalmente a medida que va acumulando lluvia. Este medidor está dotado de un sifón que cada cierto tiempo desaloja el agua almacenada. Estos pluviógrafos trabajan porque tienen un papel de tambor (Figura 2.8), que rota por el accionar de una máquina de reloj, sobre el cual un lapicero registra en uno y otro sentido el movimiento basculante, la variación del pesaje, o los cambios en el flotador.





**Figura 2.8.** Pluviógrafo

En los años ochenta se estuvo investigando lo referente al efecto de la exposición de los medidores de lluvia y se llegó a la conclusión que resultados más precisos serán obtenidos a partir de medidores de lluvia con su borde al nivel del suelo, que con uno colocado a una determinada altura sobre el terreno. Para ello es necesario una instalación especial al nivel del suelo, haciendo una fosa para alojar el medidor y cubriéndolo con una malla anti-salpicaduras. Por lo tanto los medidores a nivel del suelo tienen una más costosa instalación y mantenimiento, razón por la cual se ha dejado de lado su empleo.

#### **2.4.2 Redes de medición**

Cuando se desea instalar un red de estaciones para medir la precipitación, la pregunta que frecuentemente surge es la concerniente al número y tipo de medidores de lluvia que son necesarios para asegurar una evaluación más precisa de la precipitación caída. En respuesta a ello cabría señalar que para determinar la densidad de la red de trabajo, hay que tener en cuenta lo siguiente:

- El uso que se pretenda dar a los datos, ya que una red relativamente espaciada de estaciones podría ser suficiente para estudios de tormentas genéricas grandes o para la determinación de promedios anuales sobre grandes áreas planas, mientras que una red muy densa es requerida para determinar patrones de precipitación en las tormentas.
- El tipo de precipitaciones de la zona, afecta la densidad de la red ya que si las precipitaciones que se producen son de origen frontal, la red puede ser menos densa con respecto a las del tipo convectivo, que por lo general son más puntuales.
- Los efectos orográficos, que generan mayores distorsiones en la precipitación que las que se pueden presentar en zonas planas, y por tanto necesitan de una red mucho más densa para su correcta evaluación.

La probabilidad de que el centro de una tormenta sea registrado por un medidor varía con la densidad de la red de estaciones. Una red de trabajo deberá ser planeada para producir una imagen representativa de la distribución de la precipitación sobre el área. Por otro lado, existen consideraciones importantes relacionadas con el costo de la instalación y el mantenimiento de la red y la accesibilidad para el observador del sitio donde se encuentre ubicado el medidor.

Las siguientes densidades mínimas de las redes para medir precipitaciones han sido recomendadas por la Organización Meteorológica Mundial para propósitos hidrometeorológicos generales:

- Para regiones planas en zonas templadas, mediterráneas y tropicales, 600 a 900 Km<sup>2</sup> por estación.
- Para regiones montañosas en zonas templadas, mediterráneas y tropicales, 100 a 250 Km<sup>2</sup> por estación.
- Para pequeñas islas montañosas con precipitación irregular, 25 Km<sup>2</sup> por estación.
- Para zonas áridas y polares, 1 500 a 10 000 Km<sup>2</sup> por estación.

### **2.4.3 Precisión en su estimación**

La información sobre la diferencia entre la precipitación captada y la realmente caída es de interés climatológico, y la exactitud en su medición y evaluación es determinante para el análisis de las tormentas que se presentan en una zona específica.

La medición de la precipitación se ve afectada por dos tipos de errores, cuya evaluación es de mucha importancia para la obtención de valores representativos de la zona de estudio. Dichos errores se pueden subdividir en dos grupos, a saber:

#### **2.4.3.1 Error en la medida puntual**

El efecto de los vientos modifica la trayectoria de caída de las gotas de lluvia, haciendo que los valores registrados en los instrumentos de medición sean relativamente menores, por esto la precipitación medida puntualmente con pluviómetros es menor que la que realmente cae.

Para la estimación del error en la medición de la precipitación puntual se debe tener en cuenta que:

- No en todos los sitios se toman valores cien por ciento representativos.
- No se deben tomar mediciones si tenemos dudas con respecto a la precisión.
- El conjunto de la precipitación es extremadamente grande en comparación con la muestra obtenida en el instrumento.

El error en la medida puntual vendría a ser la suma de:

- Errores debido a la combinación de factores meteorológicos e instrumentales como: evaporación o condensación en el pluviómetro durante el periodo comprendido entre el fin de la lluvia y su medida.
- Error netamente instrumental.

- Errores cometidos en la lectura del instrumento o corrección por accidentes imprevistos.

#### **2.4.3.2 Error en la evaluación espacial**

Los errores de muestreo, en términos de la altura, se incrementan con el aumento del área media de precipitación y decrecen con el aumento en la densidad de la red, la duración de la precipitación y el tamaño del área. Por tanto, una red cualquiera tendería a producir menores errores promedio para precipitaciones mensuales que para tormentas.

Por otro lado como las lluvias de verano tienen una gran variación espacial, los errores promedio tienden a ser mayores que para las de invierno.

La base para la evaluación de la precipitación caída en una zona son las medidas puntuales registradas en los distintos instrumentos que conforman la red de trabajo.

### **2.5 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL**

La precipitación no es uniforme pues varía en el espacio y el tiempo de acuerdo con el patrón general de circulación atmosférica y con factores locales propios de cada región. En términos generales, se puede decir que las mayores precipitaciones ocurren cerca del Ecuador y tienden a disminuir cuando aumenta la latitud.

Uno de estos factores locales pueden ser las barreras orográficas que a menudo ejercen más influencia en el clima de una región que lo que la cercanía a una fuente de humedad hace. Estos factores climáticos y geográficos determinan la cantidad de humedad atmosférica sobre una región, la frecuencia y clase de tormentas producidas sobre ella y así su precipitación.

Un caso especial para analizar es el fenómeno de El Niño, que afecta vastas áreas continentales de Asia, Oceanía, Europa y América, y particularmente la costa Norte del Perú, incluyendo los departamentos de Piura y Tumbes, y la costa ecuatoriana. Dicha anomalía es producto de causas esencialmente meteorológicas como lo es el debilitamiento del Anticiclón del Pacífico Sur, lo que conlleva a que las aguas cálidas del norte fluyan hacia el sur en el área normalmente ocupada por el agua fría, y el desplazamiento hacia el sur de la Zona de Convergencia Intertropical, formada por los vientos alisios del sudeste y los que soplan del noreste; si a todo ello le sumamos la actividad convectiva tendremos las condiciones apropiadas para que se presenten lluvias torrenciales en todas las zonas directamente involucradas.

En el Perú las intensidades de la precipitación tienden a ser mayores en la sierra norte (partes altas de Piura), selva norte y Amazonía, y van decreciendo al llegar a la costa en condiciones normales, sin El Niño.

En cuanto a la variación con respecto al tiempo podemos mencionar que, aunque en ocasiones algunos de los registros pluviométricos lleven a pensar que existe un aumento o disminución en la tendencia de los patrones de la precipitación, lo cierto es que ella tiende a volver a la media, ya que periodos extraordinariamente húmedos tienden a balancearse con periodos de sequía. Por otro lado, a lo largo del año suelen existir periodos

estacionales en los cuales la precipitación es mayor; para el caso de Piura se puede observar que la precipitación tiende a presentarse en los meses de verano.

La variación de la precipitación dentro de una tormenta, es grande y depende de varios factores como son: la magnitud, la duración y el tipo de tormenta, por lo que no se puede aplicar un solo patrón para todos los casos.

## **2.6 PRECIPITACIÓN PROMEDIO SOBRE UN ÁREA**

Para evaluar la cantidad promedio de precipitación sobre un área en un intervalo de tiempo determinado es necesario basarse en los valores puntuales registrados en cada medidor que conforma la red. Pero como la contribución de cada instrumento al total de la tormenta es desconocida, han surgido varios métodos que intentan darnos una aproximación de la distribución de la precipitación dentro del área en consideración, entre estos métodos tenemos:

### **2.6.1 Método de la media aritmética**

Es una forma sencilla para determinar la lluvia promedio sobre un área. Consiste en hallar la media aritmética de las cantidades conocidas para todos los puntos en el área (Figura 2.9). Este método proporciona buenos resultados, si la distribución de tales puntos sobre el área es uniforme y la variación en las cantidades individuales de los medidores no es muy grande.

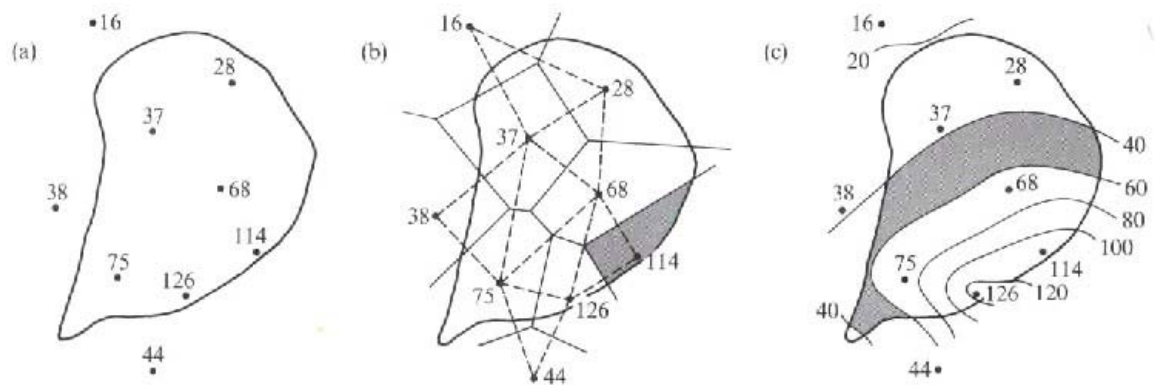
### **2.6.2 Método de Thiessen**

Se emplea cuando la distribución de los pluviómetros no es uniforme dentro del área en consideración. Para su cálculo se define la zona de influencia de cada estación mediante el trazo de líneas entre estaciones cercanas, éstas líneas se bisecan con perpendiculares y se asume que toda el área encerrada dentro de los límites formados por la intersección de estas perpendiculares en torno a la estación ha tenido una precipitación de la misma cantidad que la de la estación (Figura 2.9). A veces es necesario hacer una pequeña variación a esta técnica para corregir posibles efectos orográficos, y en lugar de trazar perpendiculares al punto medio de la distancia entre las estaciones se dibujan líneas que unen las estaciones desde los puntos de altitud media.

Calculando el área encerrada por cada estación y relacionándola con el área total, se sacan pesos relativos para cada pluviómetro y posteriormente el valor de la precipitación promedio se obtiene a partir de un promedio ponderado.

### **2.6.3 Método de las isoyetas**

Las isoyetas son contornos de igual altura de precipitación (ver Figura 2.9), que se calculan a partir de interpolación entre pluviómetros adyacentes. Las áreas entre isoyetas sucesivas son medidas y se multiplica por el promedio de precipitación entre la isoyetas adyacentes, el promedio total para el área es entonces la sumatoria de éste producto entre el área total considerada. Este método tiene la ventaja que las isoyetas pueden ser trazadas para tener en cuenta efectos locales, y por ello es posiblemente el que mejor nos aproxima a la verdadera precipitación promedio del área.



**Figura 2.9.** Diferentes métodos de estimar la precipitación promedio sobre un área:

- (a) Método de la media aritmética.
- (b) Método de los polígonos de Thiessen.
- (c) Método de las isoyetas.

## 2.7 ANÁLISIS DE TORMENTAS

Se entiende por tormenta al conjunto de lluvias que obedecen a una misma perturbación meteorológica y de características bien definidas. De acuerdo a esta definición una tormenta puede durar desde unos pocos minutos hasta varias horas y aún días; pueden abarcar extensiones de terrenos muy variables, desde pequeñas zonas hasta vastas regiones.

El análisis de las tormentas está íntimamente relacionado con los cálculos o estudios previos al diseño de obras de ingeniería. En efecto, las dimensiones de estas obras dependen principalmente que las tormentas tengan y de la frecuencia con que ellas se presenten en el lugar para el que se está diseñando la obra. Quiere decir entonces, que debemos conocer su intensidad por unidad de tiempo y el tiempo de duración que determina las dimensiones de la obra, y la frecuencia con que se presenta determinada tormenta, bien definida en sus características de intensidad y duración, que a su vez determina el coeficiente de seguridad que se da a la obra o la vida útil.

### 2.7.1 Elementos fundamentales

#### 2.7.1.1 Intensidad

Es la cantidad de agua caída por unidad de tiempo. Lo que interesa particularmente de cada tormenta es la intensidad máxima que se haya presentado. Es decir, la altura máxima de agua caída por unidad de tiempo. De acuerdo a esto la intensidad se expresa de la siguiente manera:

$$i_m = P/t$$

donde :

- $i_m$  = Intensidad máxima en mm/h;
- $t$  = Tiempo en horas;
- $P$  = Precipitación en altura de agua en mm.

### 2.7.1.2 Duración

Es el tiempo que transcurre entre el comienzo y el fin de la tormenta, tomado en minutos u horas, dentro del total que dura la tormenta. Tiene mucha importancia en la determinación de las intensidades máximas.

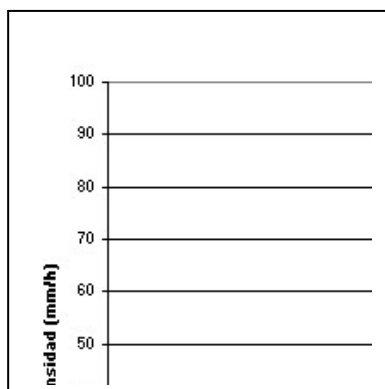
Estos parámetros: intensidad y la duración se obtienen de un pluviograma o banda pluviográfica.

### 2.7.1.3 Frecuencia

Es el número de veces que se repite una tormenta de características de intensidad y duración definidas en un período de tiempo más o menos largo, tomado generalmente en años.

## 2.7.2 Hietogramas

La intensidad de la precipitación varía en cada instante durante el curso de una misma tormenta de acuerdo a las características de ésta. Cuando se hace el análisis de tormentas es indispensable determinar estas variaciones porque de ellas dependen muchas condiciones que hay que fijar para las obras de ingeniería. Esto se consigue mediante el hietograma o histograma de precipitación, que es un gráfico de forma escalonada que representa la variación de la intensidad (en mm/h) de la tormenta en el transcurso de la misma (en minutos u horas). Mediante este hietograma es muy sencillo determinar a qué hora la precipitación adquirió su máxima intensidad y cuál fue el valor de ésta.



**Figura 2.10.** Hietograma de precipitación

## 2.8 TORMENTAS DE DISEÑO

Se define una tormenta de diseño como un patrón de precipitación para ser usado en el diseño de un sistema hidrológico. Generalmente se emplean como dato de entrada en el análisis de modelos de lluvia – escorrentía para estimar hidrogramas de avenidas en cuencas.

Para una zona en particular, la selección de la tormenta de diseño, no es un trabajo sencillo, pues la intensidad de la lluvia no es constante, ni el tiempo, ni en el espacio. Es dentro de este contexto, donde el hidrólogo debe seleccionar una tormenta de diseño. Si a ello le sumamos la escasa disponibilidad de registros pluviográficos, como es habitual en el Perú, entenderemos la complejidad de esta etapa.

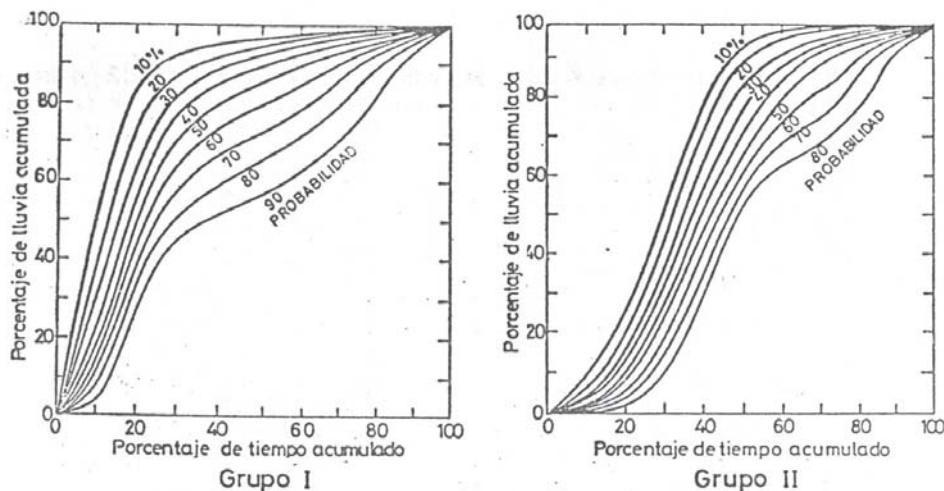
La variación en el tiempo de la lluvia caída durante una tormenta, tiene una gran influencia en la forma de la onda de crecida. Debido a ello, el hietograma de la tormenta debe ser considerado en la definición de una tormenta de diseño. Varios autores han estudiado las tormentas de diseño, entre ellos tenemos Huff, Varas y el SCS.

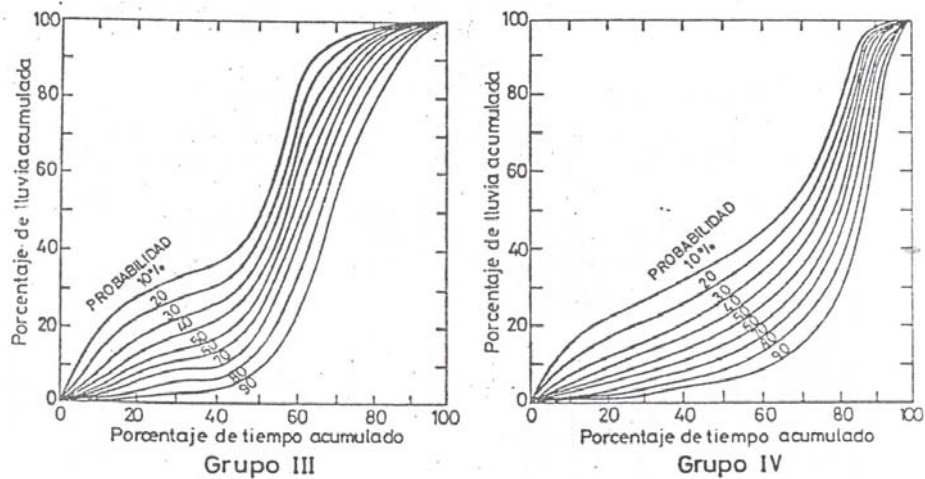
### 2.8.1 Modelo de Huff

Huff en 1967 estudió la distribución en el tiempo de 261 tormentas fuertes, ubicadas en un área de 400 millas cuadradas en el estado de Illinois, Estados Unidos. Clasificó las tormentas en cuatro grupos, dependiendo del intervalo de tiempo en que se presentó la mayor precipitación, ya sea en el primer, segundo, tercer o último cuarto de la duración total de la tormenta. Para cada grupo realizó un análisis de frecuencia de todas las tormentas registradas, con el fin de asociar a cada una de las curvas de distribución una probabilidad de ocurrencia.

Detectó la necesidad de clasificar las tormentas según el momento en que cae la mayor precipitación, ya que ésta normalmente se concentra en un lapso relativamente corto comparado con la duración total de la tormenta.

En la figura 2.11 se pueden observar los resultados del estudio de Huff y permiten distribuir una tormenta cuya duración y magnitud total se conoce, en intervalos de tiempo más cortos, teniendo al mismo tiempo, una idea de la probabilidad de ocurrencia de dicho hietograma.

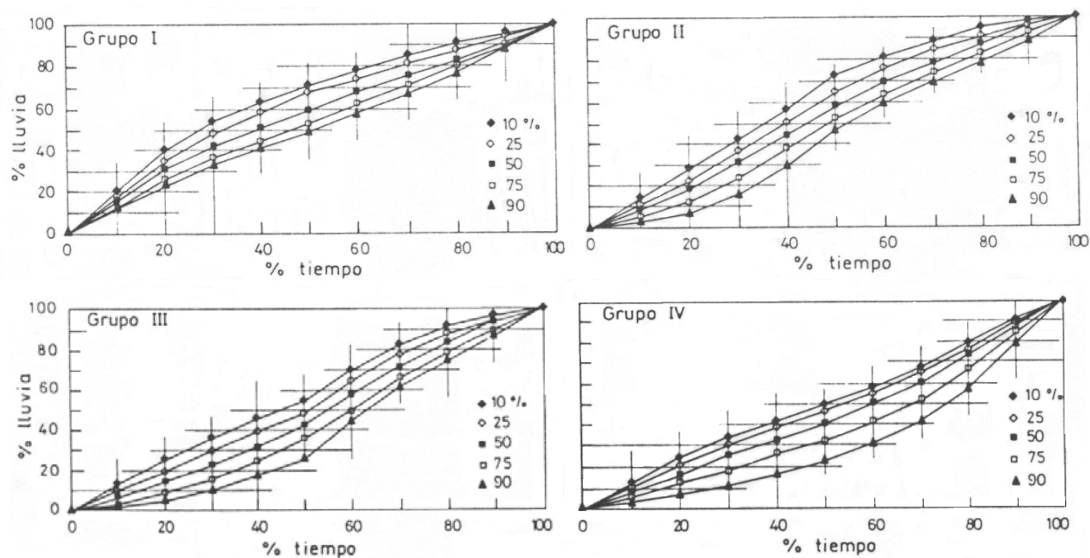




**Figura 2.11.** Distribuciones propuestas por Huff.

### 2.8.2 Modelo de Varas

Varas en 1985 estudió la distribución de 296 tormentas registradas en distintas estaciones pluviográficas en Chile. A diferencia de Huff, Varas trabajó con una muestra formada seleccionando dentro de cada tormenta los intervalos más lluviosos, para posteriormente clasificarlos en uno de cuatro grupos, similares a los definidos por Huff. Razón por la cual los perfiles obtenidos (Figura 2.12) presentan una menor variación a lo largo del tiempo.



**Figura 2.12.** Distribuciones propuestas por Varas para Chile.

Varas no encontró dependencia geográfica significativa para las curvas de distribución, de modo que las curvas promedio encontradas son aplicables a otros lugares en Chile.



### 2.8.3 Método del SCS

El U.S. Soil Conservation Service (USSCS) desarrolló hietogramas sintéticos empleando la información presentada por Hershfield en 1961 y Miller et al en 1973. Estos hietogramas son para precipitación de 24 horas y propone 4 distribuciones: Tipo I, IA, II, y III. Las distribuciones son propuestas en base al patrón de precipitación para 4 zonas de EE.UU., motivo por el cual es el método más usado en EEUU.

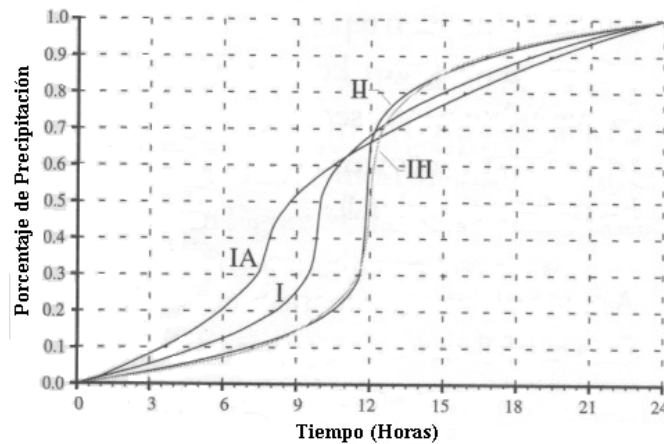


Figura 2.13. Hietogramas de lluvia de 24 horas del SCS.

## 2.9 RELACIONES INTENSIDAD - DURACIÓN - FRECUENCIA

Los valores de frecuencia, nos dan los elementos de juicio básicos para la realización de cálculos previos al diseño de obras de ingeniería. Por eso conviene representar estos valores en otras formas más manejables y de más fácil lectura, con el fin de poder interpolar valores que no se encuentren en la tabla.

Las familias de curvas de duración-intensidad-frecuencia nos permiten saber cual será el valor de la intensidad máxima para una zona determinada y para un tiempo de referencia que se presente con una frecuencia de cierto período de tiempo.

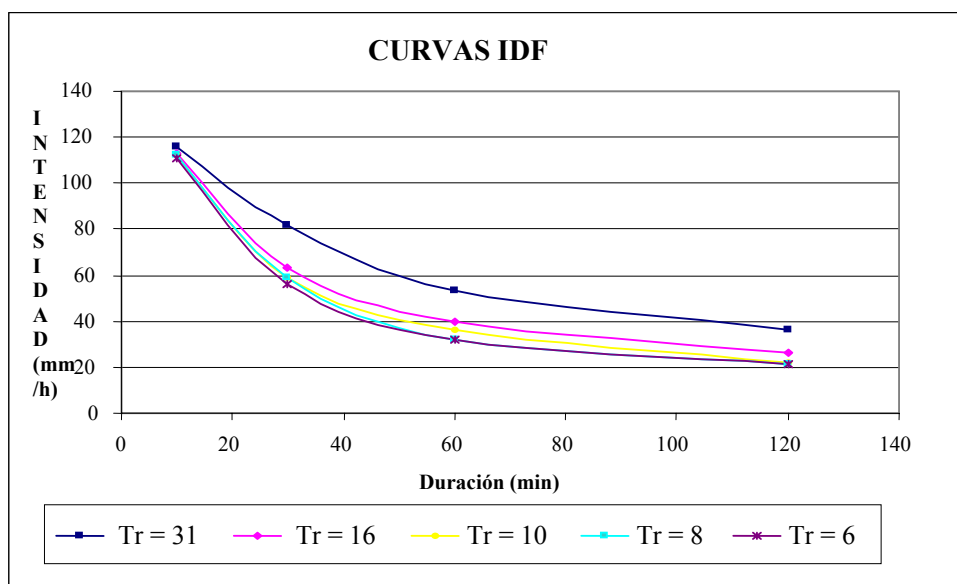


Figura 2.14. Curvas Intensidad, Duración y Frecuencia.

Una consideración importante a tener en cuenta, es que las curvas IDF se calculan con base en valores de lluvias ocurridos normalmente en distintas tormentas a lo largo del tiempo y no en un fenómeno meteorológico único, de tal manera que ellas representan una situación algo distinta a la que se quiere representar.