

1.1 Generalidades

Los proyectos hidráulicos son de dos tipos: los proyectos que se refieren al uso del agua y los que se refieren a la defensa contra los daños que ocasiona el agua. Los proyectos típicos de uso del agua son los de abastecimiento de agua potable, los de irrigación y los de aprovechamiento hidroeléctrico; comprenden, además, los de navegación, recreación y otros. Los proyectos típicos de defensa son los de drenaje urbano, drenaje vial y drenaje agrícola; comprenden, además, los de encausamiento de ríos, los de defensa contra las inundaciones y otros.

En el Perú estamos bastante familiarizados con estos dos tipos de problemas que se presentan con el agua, los de utilización y los de defensa.

El estudio de nuestros recursos hidrológicos corre por cuenta del Estado, siendo su objetivo proporcionar a los ingenieros los elementos para el aprovechamiento y el control del recurso agua.

1.2 El Ciclo Hidrológico

Se denomina ciclo hidrológico el conjunto de cambios que experimenta el agua en la Naturaleza, tanto en su estado (sólido, líquido y gaseoso) como en su forma (agua superficial, agua subterránea, etc).

Es frecuente definir la Hidrología como la ciencia que se ocupa del estudio del ciclo hidrológico.

Han sido sugeridos numerosos esquemas del ciclo hidrológico, siendo la finalidad común la de proporcionar un gráfico sencillo que muestra las diferentes formas y estados en que se presenta el agua (fig. 1.1).

El ciclo hidrológico no es nada regular. Todo lo contrario. Una muestra de ello son los períodos de sequías y de inundaciones con los que estamos tan acostumbrados en el país. Prácticamente todos los años tenemos nosotros problemas de sequía en unos lugares y problemas de inundaciones en otros. El ciclo hidrológico es completamente irregular, y es precisamente contra estas irregularidades que lucha el hombre.

La Hidrología está ligada al estudio de fenómenos naturales, de manera que los métodos que emplea no pueden ser rígidos, quedando algunas decisiones al criterio del ingeniero. Pero es necesario hacer notar que esta falta de precisión previsible no ocurre únicamente en la Hidrología, sino que es común a toda la ingeniería, como común es la toma de precauciones. El empleo de la carga de fatiga y de la carga de trabajo en los materiales es el ejemplo típico en ingeniería.

La Hidrología, para el análisis de algunos fenómenos, hace uso de métodos estadísticos, como tendremos oportunidad de ver a lo largo del curso y de modo particular en los dos últimos capítulos.

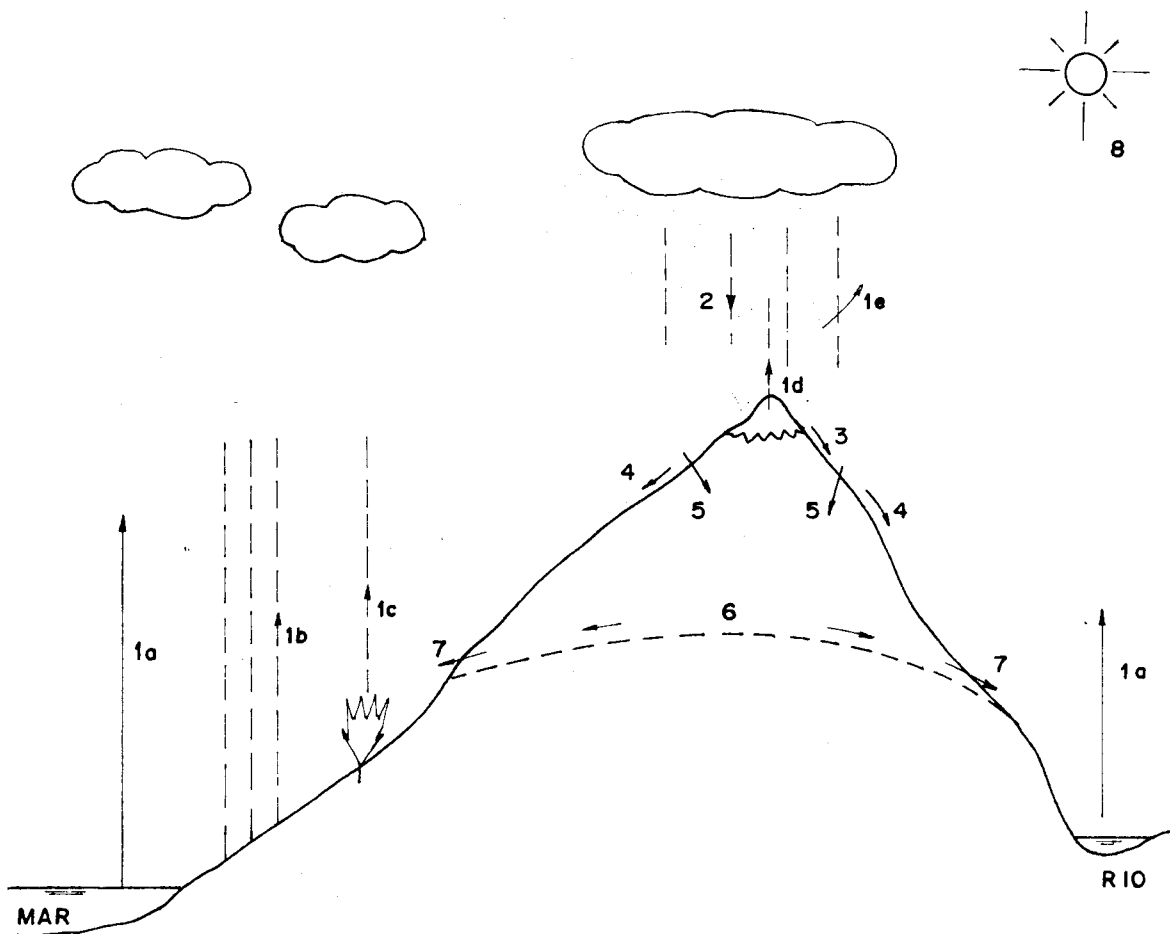


FIG. 1.1 ESQUEMA DEL CICLO HIDROLOGICO

- (1a) evaporación desde superficies de agua (mares, ríos, lagos, etc).
- (1b) evaporación desde superficies húmedas de suelo.
- (1c) evaporación desde las plantas (transpiración).
- (1d) evaporación desde la nieve.
- (1e) evaporación desde la precipitación misma.
- (2) precipitación, en forma de lluvia, nevada o granizada.
- (3) fusión.
- (4) escorrentía.
- (5) infiltración
- (6) capas de agua subterránea.
- (7) manantiales.
- (8) rayos solares.

Para la elaboración de proyectos, particularmente de proyectos hidráulicos, el ingeniero requiere de datos sobre precipitación, caudales, evaporación, horas de sol, temperatura, vientos, etc. Esta información básica la recopila en el país el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). La Hidrología enseña el manejo que se le da a esta información, no siempre completa y muchas veces ausente en el lugar mismo del proyecto.

Si bien en el SENAMHI se ha centralizado la atención de la gran mayoría de las estaciones instaladas en el territorio patrio, hay todavía algunas estaciones bajo control de otras instituciones. La relación siguiente puede ser útil para quienes buscan información hidrológica en el país (referencia 8).

- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).
- Oficina Nacional de Evaluación de los Recursos Naturales (ONERN).
- Instituto Geográfico Nacional (IGN)
- Archivo Técnico del Instituto Nacional de Ampliación de la Frontera Agrícola.
- Dirección General de Aguas, Suelos e Irrigaciones.
- Universidad Nacional Agraria.
- Direcciones Zonales y Agrarias del Ministerio de Agricultura.
- Ministerio de Energía y Minas.
- Laboratorio Nacional de Hidráulica.
- Oficina de Catastro Rural.
- Instituciones afines.

1.3 La Atmósfera

El interés de su estudio en Hidrología radica en que en ella tiene lugar parte del ciclo hidrológico. Se define como aquella capa de aire que rodea a la tierra y donde se realiza parte del ciclo hidrológico.

La atmósfera resulta comportándose como un gran reservorio de vapor de agua, un sistema amplio de transporte de agua y un gran colector de calor.

Composición.- La atmósfera está compuesta de aire seco y vapor de agua. La composición del aire seco es la siguiente, con los porcentajes en volumen:

nitrógeno	78 %
oxígeno	21
argón	0.94
otros gases	0.06

Estos porcentajes medios son más o menos fijos hasta una altura de unos 20 Km.

División.- Desde el punto de vista de la variación de la temperatura la atmósfera se divide en capas. Las que se conocen de ordinario son tres:

- Tropósfera. Es la capa inferior de la atmósfera, comprendida desde el nivel del mar hasta unos 6 Km. en los polos y unos 17 Km. en el Ecuador. La temperatura disminuye a razón de 0.6 °C por cada 100 m de ascenso. Se caracteriza por ser la zona de las perturbaciones atmosféricas. En ella se forman las nubes, tienen lugar los vientos, las lluvias, etc.

- Estratosfera. Se extiende por encima de la troposfera hasta una altura de 30 a 40 Km. La temperatura permanece sensiblemente constante en todo su espesor.

La superficie que separa la troposfera de la estratosfera es la tropopausa. Marca el límite de la atmósfera meteorológica.

- La Ionosfera. Se ubica encima de la estratosfera y se desvanece gradualmente en el espacio. La temperatura aumenta con la altura.

1.4 La Temperatura

La temperatura es un factor importante del ciclo hidrológico pues interviene en todas sus etapas. Desde el punto de vista práctico, la temperatura interviene como parámetro en las fórmulas para calcular la evaporación y en las fórmulas para calcular las necesidades de agua de riego de las plantas. Como prácticamente en todas partes hay registros de temperatura, su empleo está plenamente justificado.

Gradiente vertical de temperatura. La temperatura disminuye en la troposfera, en una cantidad que varía según las condiciones locales, pero que en promedio es de alrededor de $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ por cada 100 m. de ascenso. Esto es lo que constituye el gradiente vertical de temperatura.

Inversión de temperatura. Se llama así al fenómeno que se presenta bajo ciertas condiciones locales y que consiste en lo siguiente. En las primeras horas del día, la tierra se encuentra a baja temperatura debido a que en la noche ha perdido gran cantidad de calor; en ausencia de vientos y con el cielo despejado, las capas inferiores de la troposfera son más frías que las inmediatas superiores; como consecuencia la temperatura sube con la altura, en un espesor de algunos centenares de metros.

Esta inversión de temperatura tiende a ser destruida por la mezcla que producen los vientos fuertes próximos al suelo, y desde luego el calentamiento que sigue a la salida del sol termina por restablecer el gradiente normal de temperatura.

Medición de la temperatura del aire. Las estaciones meteorológicas disponen de un termómetro de máxima, un termómetro de mínima y algunas veces de un termógrafo. Estos aparatos están situados a 1.50 m. del suelo, en una cubierta de madera provista de persianas que permiten la libre circulación del aire, pero que protegen los termómetros de la radiación solar directa.

Por convención, la temperatura media diaria se calcula tomando la media aritmética de las temperaturas máxima y mínima, leídas en los termómetros de máxima y de mínima, respectivamente.

La temperatura media mensual o anual es la media aritmética de las temperaturas medias diarias en el período considerado. De la misma manera se calculan las temperaturas medias de las máximas y de las mínimas.

1.5 La Radiación Solar

La radiación solar es la fuente de energía del ciclo hidrológico. No corresponde hacer aquí un estudio detallado de este factor hidrológico, pero tampoco se puede soslayar su enorme importancia. La radiación solar debe ser considerado como el factor más importante del ciclo hidrológico. Produce variaciones de calor que se traducen en una mayor o menor evaporación.

La tendencia actual en Hidrología es que la radiación solar vaya sustituyendo a la temperatura como parámetro en el cálculo de la evaporación y de la transpiración.

Radiación directa y difusa

La intensidad de la energía radiante en los confines de la atmósfera es de unos 2 cal gr/cm²/min. Durante su recorrido a través de la atmósfera terrestre, la radiación se debilita por dispersión, en las moléculas de aire seco, y por absorción, por el agua, el polvo y los gases. El resto de radiación solar que llega a la Tierra constituye la radiación directa.

Radiación difusa, es la que proviene de la radiación solar previamente dispersa en la atmósfera. Puede, a veces, exceder en intensidad a la radiación directa.

Cuando ambas radiaciones inciden sobre los objetos, una parte se refleja nuevamente al aire donde a su vez vuelve a reflejar. El problema real no es tan sencillo, pero una descripción como la hecha puede ser suficiente con fines de ilustración.

Radiómetros

Los instrumentos que miden la intensidad de energía radiante reciben el nombre genérico de radiómetros, de los cuales hay varias versiones.

En vista de la importancia que tiene la radiación solar se podría pensar que existe una amplia red de radiómetros en el país, pero esto no es así. Las razones principales son el elevado costo de equipos y la exigencia de personal especializado para su servicio.

Heliógrafo

El heliógrafo es un instrumento sencillo que mide el número de horas de insolación en cada día. Consiste de una esfera maciza de cristal y un papel sensible que va siendo quemado mientras el sol brilla. El número de horas de sol es un parámetro que interviene en el cálculo de la evaporación.

1.6 La Humedad Atmosférica

La humedad atmosférica expresa el contenido de vapor de agua de la atmósfera, vapor de agua que proviene de la evaporación que tiene lugar en los espejos de agua, en los suelos húmedos o a través de las plantas.

La humedad atmosférica interesa a la Hidrología por dos motivos: por ser el origen de las aguas que caen por precipitación y porque determina en cierto modo la velocidad con que tiene lugar la evaporación.

Tensión de vapor. En toda mezcla de gases cada gas ejerce una presión parcial independientemente de los otros gases; la atmósfera es una mezcla de gases; la presión parcial que ejerce el vapor de agua se llama tensión de vapor. Se puede escribir:

$$e_a = p - p'$$

e_a ... tensión de vapor
 p ... presión del aire húmedo
 p' ... presión del aire seco

Tensión de vapor de saturación. Un mismo volumen de aire puede contener cantidades variables de vapor de agua. Cuando un volumen de aire contiene la máxima cantidad de vapor de agua para una temperatura dada, se dice que el aire está saturado. Se llama tensión de vapor de saturación (e_s) a la tensión de vapor en un volumen de aire saturado.

Es decir que, a una temperatura t del aire corresponde un par de valores e_a , e_s . El primero es la tensión de vapor actual y el segundo es la tensión de vapor de saturación.

Los valores de la tensión de vapor de saturación dependen pues de la temperatura y vienen dados en tablas (ver tabla 1.1).

En Meteorología la unidad elemental de presión es la baria, que equivale a una dina por centímetro cuadrado. El milibar es igual a mil barias y el bar es igual a mil milibares.

1 bar = 1,000 milibares
 1 milibar = 1,000 barias
 1 baria = 1 dina / cm².

Condensación. Condensación es el proceso mediante el cual el vapor de agua pasa al estado líquido. Por enfriamiento, una masa de aire disminuye su capacidad para contener vapor de agua. Todo exceso de vapor de agua se condensa en pequeñas gotitas (neblinas y nubes).

Ejemplo 1.1

Encontrar a cuántos milibares equivale 1 mm. de Hg.

$$\begin{aligned} p_a &= 760 \text{ mm Hg} = 1.033 \text{ Kg/cm}^2 \\ 1 \text{ mm Hg} &= \frac{1.033}{760} \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} = \frac{1.033}{760} \times 9.81 \times 10^5 \frac{\text{dinas}}{\text{cm}^2} \\ &= 0.0133 \times 10^5 \frac{\text{dinas}}{\text{cm}^2} \text{ o barias} \\ &= 1.33 \text{ milibares.} \end{aligned}$$

TABLA 1.1 TENSION DE VAPOR DE SATURACION (e_s) EN
mm. DE MERCURIO

t	0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9
10	2.15									
9	2.32	2.30	2.29	2.27	2.26	2.24	2.22	2.21	2.19	2.17
8	2.51	2.49	2.47	2.45	2.43	2.41	2.40	2.38	2.36	2.34
7	2.71	2.69	2.67	2.65	2.63	2.61	2.59	2.57	2.55	2.53
6	2.93	2.91	2.89	2.86	2.84	2.82	2.80	2.77	2.75	2.73
5	3.16	3.14	3.11	3.09	3.06	3.04	3.01	2.99	2.97	2.95
4	3.41	3.39	3.37	3.34	3.32	3.29	3.27	3.24	3.22	3.18
3	3.67	3.64	3.62	3.59	3.57	3.54	3.52	3.49	3.46	3.44
2	3.97	3.94	3.91	3.88	3.85	3.82	3.79	3.76	3.73	3.70
1	4.26	4.23	4.20	4.17	4.14	4.11	4.08	4.05	4.03	4.00
0	4.58	4.55	4.52	4.49	4.46	4.43	4.40	4.36	4.33	4.29
0	4.58	4.62	4.65	4.69	4.71	4.75	4.78	4.82	4.86	4.89
1	4.92	4.96	5.00	5.03	5.07	5.11	5.14	5.18	5.21	5.25
2	5.29	5.33	5.37	5.40	5.44	5.48	5.53	5.57	5.60	5.64
3	5.68	5.72	5.76	5.80	5.84	5.89	5.93	5.97	6.01	6.06
4	6.10	6.14	6.18	6.23	6.27	6.31	6.36	6.40	6.45	6.49
5	6.54	6.58	6.63	6.68	6.72	6.77	6.82	6.86	6.91	6.96
6	7.01	7.06	7.11	7.16	7.20	7.25	7.31	7.36	7.41	7.46
7	7.51	7.56	7.61	7.67	7.72	7.77	7.82	7.88	7.93	7.98
8	8.04	8.10	8.15	8.21	8.26	8.32	8.37	8.43	8.48	8.54
9	8.61	8.67	8.73	8.78	8.84	8.90	8.96	9.02	9.08	9.14
10	9.20	9.26	9.33	9.39	9.46	9.52	9.58	9.65	9.71	9.77
11	9.84	9.90	9.97	10.03	10.10	10.17	10.24	10.31	10.38	10.45
12	10.52	10.58	10.66	10.72	10.79	10.86	10.93	11.00	11.08	11.15
13	11.23	11.30	11.38	11.46	11.53	11.60	11.68	11.76	11.83	11.91
14	11.98	12.06	12.14	12.22	12.30	12.38	12.46	12.54	12.62	12.70
15	12.78	12.86	12.95	13.03	13.11	13.20	13.28	13.37	13.45	13.54
16	13.63	13.71	13.80	13.90	13.99	14.08	14.17	14.26	14.35	14.44
17	14.53	14.62	14.71	14.80	14.90	14.99	15.09	15.17	15.27	15.38
18	15.46	15.56	15.66	15.76	15.86	15.96	16.06	16.16	16.26	16.36
19	16.46	16.57	16.68	16.79	16.90	17.00	17.10	17.21	17.32	17.43
20	17.53	17.64	17.75	17.86	17.97	18.08	18.20	18.31	18.43	18.54
21	18.65	18.77	18.88	19.00	19.11	19.23	19.35	19.46	19.58	19.70
22	19.82	19.94	20.06	20.19	20.31	20.43	20.58	20.69	20.80	20.93
23	21.05	21.19	21.32	21.45	21.58	21.71	21.84	21.97	22.10	22.23
24	22.27	22.50	22.63	22.76	22.91	23.05	23.19	23.31	23.45	23.60
25	23.75	23.90	24.03	24.20	24.35	24.49	24.64	24.79	24.94	25.08
26	25.31	25.45	25.60	25.74	25.89	26.03	26.18	26.32	26.46	26.60
27	26.74	26.90	27.05	27.21	27.37	27.53	27.69	27.85	28.00	28.16
28	28.32	28.49	28.66	28.83	29.00	29.17	29.34	29.51	29.68	29.85
29	30.03	30.20	30.38	30.56	30.74	30.92	31.10	31.28	31.46	31.64
30	31.82	32.00	32.19	32.38	32.57	32.76	32.95	33.14	33.33	33.52

Humedad absoluta y humedad relativa. Son dos formas de expresar la humedad atmosférica. Se denomina humedad absoluta a la masa de vapor de agua, medida en gramos, contenida en 1 m³ de aire.

$$ha \approx 216.7 \frac{e_a}{T} \dots (1.1)$$

ha ... humedad absoluta, en gr/m³
 e_a ... tensión de vapor, en milibares
 T ... temperatura absoluta en grados Kelvin (°C + 273)

Veamos brevemente cómo se obtiene (1.1).

La densidad del aire seco viene dada por la fórmula:

$$\rho_s = \frac{e_a}{RT}$$

ρ_s ... gr/cm³
 e_a ... milibares
 R ... constante del aire seco = 2.87 x 10³
 T ... °K

La gravedad específica del vapor de agua con respecto al aire seco es 0.622, luego:

$$\rho_a = 0.622 \frac{e_a}{RT}$$

Por definición de humedad absoluta:

$$ha = 10^6 \times \rho_a = 10^6 \times 0.622 \frac{e_a}{2.87 \times 10^3 T}$$

$$\approx 216.7 \frac{e_a}{T}$$

Veamos ahora, qué valores máximos puede alcanzar la humedad absoluta. Teniendo presente que 1 mm Hg = 1.33 milibares (ejemplo 1.1) se puede escribir:

$$ha \approx 288.2 \frac{e_a}{T}$$

expresión en la cual ahora e_a está en mm. de mercurio. Para una temperatura de unos 15°C, T = 288 °K. Luego:

$$ha \approx e_a$$

El valor máximo de e_a es la presión de saturación máxima, es decir unos 56 mm. de mercurio. Quiere decir que a puede alcanzar a lo más valores de ≈ 56 gr/m³, y por lo general sus valores son menores.

La humedad relativa es la relación entre la tensión de vapor actual y la tensión de vapor de saturación a la misma temperatura. Se expresa en porcentaje:

$$hr = \frac{e_a}{e_s} \times 100 \% \dots (1.2)$$

Lo más frecuente es que e_a sea medida. La medición de e_a se realiza mediante instrumentos simples llamados sicrómetros. Entonces la fórmula (1.2) sirve más bien para encontrar el valor de e_a .

La humedad relativa es el índice que mejor refleja la sensación de humedad que experimentan los seres vivos que se encuentran en una atmósfera húmeda.

Punto de rocío. Es la temperatura a la cual el vapor de agua de aire que se considera se hace saturante. Para obtenerlo, se usa simplemente la TABLA 1.1, buscando en ella la temperatura para la que es igual a la e_a dada. También es susceptible de ser medida mediante instrumentos sencillos llamados higrómetros de evaporación.

Cuando la temperatura desciende durante la noche, a una temperatura que corresponde a que el vapor de agua de la atmósfera resulte saturante, el vapor de agua se condensa en pequeñas gotitas sobre la superficie de las hojas formando el rocío.

1.7 Los Vientos

El viento no es otra cosa que el aire en movimiento. Es un factor importante del ciclo hidrológico porque influye en el transporte del calor y de la humedad y en el proceso de la evaporación.

El viento produce olas en los embalses, olas cuya altura es necesario calcular para determinar la altura de las presas.

El viento es muy susceptible a la influencia del relieve y de la vegetación, por lo que se tiende a estandarizar su medida a algunos metros sobre el suelo. Del viento interesa su velocidad (se mide con los anemómetros) y su dirección (se mide con las veletas). La "dirección del viento" es la dirección de donde sopla. La velocidad se expresa en m/sg, Km/h o en nudos (1 nudo = 0.514 m/sg = 1.85 Km/h).

A fin de tener una idea del orden de magnitud de la velocidad de los vientos, se reproduce la escala de Beaufort que consta de 13 grados:

Calma	0 - 1	Km/h
Ventolina	2 - 6	
Viento suave	7 - 12	
Viento leve	13 - 18	
Viento moderado	19 - 26	
Viento regular	27 - 35	
Viento fuerte	36 - 44	
Viento muy fuerte	45 - 54	
Temporal	55 - 65	
Temporal fuerte	66 - 77	
Temporal muy fuerte	78 - 90	
Tempestad	91 - 104	
Huracán	> 104	

Variación de los vientos. Durante el invierno existe la tendencia de los vientos de soplar desde las áreas interiores más frías hacia el océano que permanece a mayor temperatura. Durante el verano es al revés, los vientos tienden a soplar desde los cuerpos de agua que se mantienen a baja temperatura hacia la superficie caliente de las masas

continentales. De manera similar, debido a las diferencias de temperatura entre la masa continental y el agua, se producen brisas diurnas hacia la playa o el mar.

En zonas montañosas, especialmente en los riscos y en las cumbres, la velocidad del aire a 10 m. o más de la superficie es mayor que la velocidad del aire libre a la misma altura; esto se debe a la convergencia forzada del aire por las barreras orográficas. En los valles abrigados la velocidad del viento es baja. La dirección del viento está muy influenciada por la orientación de las barreras orográficas. Debido a una diferencia de presiones existen variaciones diarias en la dirección del viento en áreas montañosas: durante el día los vientos soplan del valle hacia las zonas montañosas y durante la noche es al revés.

Capa de fricción. La velocidad del viento se reduce y su dirección es desviada en las capas inferiores de la atmósfera debido a la fricción - producida por árboles, edificios y otros obstáculos, y tales efectos se vuelven insignificantes para alturas superiores a unos 600 m. Esta capa inferior se conoce como capa de fricción.

Los vientos superficiales tienen una velocidad promedio cercana al 40 % de la velocidad del aire que sopla en la capa inmediatamente superior a la capa de fricción. La velocidad en el mar es cercana al 70 %.

La variación de la velocidad del viento con la altura, en la capa de fricción, se expresa generalmente por una de dos relaciones generales por una ley logarítmica o por una ley exponencial. En la fórmula exponencial:

$$\frac{v}{v_0} = \left(\frac{z}{z_0} \right)^K \quad \dots\dots (1.3)$$

v es la velocidad promedio del viento a una altura z, v₀ es la velocidad promedio a una altura z₀ y K varía con la rugosidad de la superficie y la estabilidad atmosférica en un rango entre 0.1 y 0.6.

1.8 El Clima

La palabra "clima" deriva de una voz griega que significa inclinación, aludiendo seguramente a la inclinación del eje terrestre. Como se sabe las estaciones tienen lugar debido al movimiento de traslación de la Tierra alrededor del sol, con su eje de rotación inclinado con respecto al plano de traslación.

Son numerosas las definiciones que existen de clima, pero todas ellas aluden al estado medio de la atmósfera. Para la Organización Meteorológica Mundial, clima es el "conjunto fluctuante de condiciones atmosféricas caracterizado por los estados y la evolución del tiempo, en el curso de un período suficientemente largo en un dominio espacial determinado".

Los elementos que permiten distinguir un clima de otro son: la temperatura, la precipitación, la presión, el viento y la radiación solar. Los dos primeros son los principales.

Los factores que condicionan el clima son: la latitud, la altitud, y la continentalidad. La latitud determina la intensidad de radiación solar, la altitud determina la temperatura. La continentalidad se refiere a la

mayor o menor proximidad de un lugar a los mares. Muchas veces juegan papel importante en el condicionamiento del clima las corrientes marinas. Otros factores de importancia eventual son la orientación, los vientos dominantes, la naturaleza del terreno y la vegetación.

Clasificación de climas

El objeto de clasificar los climas radica en poder establecer comparaciones. Esto es muy importante en Hidrología, porque hace posible aplicar las mismas fórmulas en lugares de clima similar. Para el caso del Perú, es particularmente frecuente que la región del proyecto carezca de estaciones y que tenga, por eso, que usarse registro de otras regiones de clima similar. En climas similares, la temperatura y la precipitación son similares en magnitud, variación anual y distribución.

Puesto que el clima queda definido por una compleja combinación de elementos, y además viene definido por una no menos combinación de factores, es muy difícil intentar una clasificación única de los variadísimos tipos de clima que se presentan.

Recordemos que, en principio, se distinguen tres zonas en la superficie terrestre:

- zona tórrida, comprendida entre el Trópico de Cáncer ($23^{\circ}27'N$) y el Trópico de Capricornio ($23^{\circ}27'S$).
- zonas templadas, entre los trópicos y los círculos polares ($63^{\circ}33'$).
- zonas glaciales, entre los círculos polares y los polos.

A modo de ilustración, se ofrece la clasificación siguiente que toma en cuenta sólo la precipitación:

- a) Climas cálidos de clima intertropical
 1. Régimen ecuatorial. Lluve todo el año, presentando dos máximos al año.
 2. Régimen sub-ecuatorial. Presenta dos períodos secos al año.
 3. Régimen tropical. Presenta un solo período de lluvia.
- b) Climas templados
 1. Régimen de climas templados. Presenta lluvia todo el año, casi uniformemente repartida.
 2. Régimen mediterráneo. Presenta un período frío y otro caluroso y seco.
- c) Clima frío y polar. Corresponde a las altas latitudes.
- d) Régimen de zonas desérticas. Las zonas desérticas se encuentran repartidas en casi todas las latitudes y su presencia se explica generalmente por causas locales que determinan la ausencia de lluvias.

Los climas en el Perú

El Perú, por su posición geográfica, debió tener en toda su amplitud un clima cálido, extremadamente lluvioso. Sin embargo esta característica climática corresponde sólo a nuestra Amazonía. En el resto del país hay una gran diversidad de climas, cuyo origen está en :

- la Cordillera de los Andes
- la Corriente Marina de Humboldt
- El Anticiclón del Pacífico Sur

La Cordillera de los Andes deformó nuestro relieve, mostrando diversas regiones altitudinales cada una de clima diferente. Ha dividido también el Perú en dos flancos: el oriental, lluvioso y el occidental, casi árido. El vapor de agua que proviene de la Amazonía se condensa en la Selva Alta y no llega hasta las cumbres andinas.

La Corriente marina de Humboldt, o Corriente Peruana, ha modificado el panorama climático de la Costa, debido a que la frialdad de sus aguas ha bajado la temperatura atmosférica. Esta baja temperatura hace que el aire costero sea estable, es decir sin capacidad de ascender verticalmente, lo que determina la ausencia de lluvia; propicia además la condensación del vapor de agua a poca altura formando las neblinas y brumas. La ausencia de lluvias ha determinado la aridez de la Costa, en donde predomina el desierto y la ausencia de vegetación, salvo en las lomas y los valles.

En cuanto al Anticiclón del Pacífico Sur, se trata de una masa de aire frío y seco que al aproximarse a la Costa produce la condensación del vapor de agua del aire, formando densas nubes estratos entre los 300 m. y los 800 m. Este techo de nubes refleja al espacio gran parte de la radiación solar, disminuyendo la temperatura de toda la Costa.

La diversidad climática que se observa en nuestro país es motivada por los tres factores recién señalados y obliga a un tratamiento por separado de las tres regiones naturales en que se divide el territorio.

Región de la Costa.-

Abarca hasta los 500 m. s. n. m. Está conformada por desiertos, tablazos, lomas y valles. Los desiertos ocupan la porción más extensa, son de una aridez completa y se hallan interrumpidos por las pampas (relleno aluviónico sobre el cual se deslizan las arenas, pero que con agua de riego se convierten en terrenos fértiles). Los tablazos son de estructura rocosa cubierta de dunas, con uno que otro oasis. Las lomas rompen la aridez del desierto gracias a las neblinas y garúas. Los valles son las zonas verdes próximas a los ríos que descienden de los Andes.

Se puede decir que la Costa comprende lugares con un régimen de zona desértica (ausencia de lluvias) y lugares con régimen tropical. Cabe recordar sin embargo que en el Departamento de Tumbes y en parte del de Piura las precipitaciones en el período de lluvia son abundantes por influencia de la Corriente del Niño (caliente).

Región de la Sierra.-

Presenta, en general, un clima de régimen tropical, es decir un solo período de lluvia al año. Pero la cosa no es tan simple. Según Javier Pulgar Vidal, se pueden distinguir hasta cinco zonas altitudinales.

Entre los 500 y los 2,500 m. s. n. m. se observan valles estrechos y profundos y empinados contrafuertes andinos con escasa vegetación. El clima es cálido aunque ligeramente húmedo y con escasas lluvias en verano. Su clima primaveral hace que sea una región eminentemente frutícola. Son frecuentes los huaycos.

La zona entre los 2,500 y los 3,500 m. s. n. m. está conformada por los valles interandinos y los flancos de suave pendiente. Su clima es templado con lluvias periódicas de Diciembre a Marzo. Es la zona más poblada de la Sierra; ella alberga las ciudades andinas más importantes: Cajamarca, Huaráz, Huancayo, Arequipa, Cuzco, etc.

La zona entre los 3,500 y los 4,100 m.s.n.m. presenta un relieve rocoso y escarpado, y un clima templado-frío. Es la región del trigo, la ceba da, la quinua y la papa.

La zona entre los 4,100 y los 4,800 m.s.n.m. tiene gran parte de su relieve formado por las mesetas andinas, en las que se localizan numerosos lagos y lagunas. Su clima es frío. Las precipitaciones son sólidas (nieve y granizo). Su vegetación típica es el ichu. Se le conoce como puna en el centro y sur, y como jalca en el norte.

La quinta zona, la Cordillera, es la región más alta del país. Su territorio, de aspecto rocoso, se cubre de nieve y glaciares. El clima es muy frío. Las precipitaciones son sólidas. La actividad principal es la minería.

Región de la Selva.-

Es la región más lluviosa del país. Presenta un régimen ecuatorial con dos períodos de máxima precipitación al año: Febrero y Noviembre. Es importante todavía distinguir dos regiones selváticas: selva alta y selva baja.

La región de la selva alta se extiende entre los 500 y los 1,500 o 2,000 m.s.n.m. en la vertiente oriental de los Andes. Su relieve es bastante quebrado. Está cubierta de densa vegetación. Su clima es cálido. Es la zona más lluviosa del país. Los ríos avanzan estrepitosamente dificultando la navegación. Sus suelos no son inundables. Es la región selvática mejor aprovechada en la agricultura: café, té, coca y frutas. Destacan los valles de Jaén, Bagua, Tingo María, Chanchamayo, Qui llabamba y Tambopata.

La región de la selva baja es la vasta llanura por debajo de los 500 m.s.n.m. Su relieve es horizontal y cubierto de una densa vegetación - de selva virgen. Su clima es cálido y húmedo. Las inundaciones son frecuentes. Los ríos avanzan describiendo numerosas curvas o meandros y cambian constantemente de cauce; son las únicas vías de comunicación. Las dos ciudades principales son Iquitos y Pucallpa, a orillas de los ríos Amazonas y Ucayali, respectivamente.

DESARROLLO HISTORICO DE LA HIDROLOGIA

(tomado de la referencia 2)

En general, el desarrollo histórico de la hidrología puede describirse a través de una serie de períodos. Puesto que estos períodos pueden traslaparse, su división en el tiempo no debe considerarse exacta.

A. PERIODO DE ESPECULACION (→ 1,400)

Desde los tiempos primitivos hasta los alrededores del año 1400 D.C., el concepto del ciclo hidrológico fue especulado por muchos filósofos, incluyendo a Homero (\approx 1,000 A.C.), Thales, Platón y Aristóteles en Grecia; Lucrecio, Céneca y Plinio en Roma. Mientras que la mayoría de estos conceptos filosóficos fueron erróneos, Marco Vitruvius, quien vivió por el tiempo de Cristo, concibió una teoría que es ahora generalmente aceptada, puesto que él postuló que el agua subterránea es en su mayor parte derivada de la lluvia y la nieve por infiltración desde la superficie del suelo. Así, la teoría de Vitruvius puede ser considerada como el inicio de los conceptos modernos del ciclo hidrológico.

Durante este período, sin embargo, el hombre puede haber aprendido mucho de hidrología práctica a través de la construcción de grandes obras hidráulicas conocidas en la historia, tales como los antiguos pozos árabes, las obras persas, los proyectos de irrigación de Egipto y Mesopotamia, los acueductos romanos, los proyectos de suministro de agua y drenaje en la India y los sistemas de irrigación de la China.

sigue en la página 42