

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

FACULTAD DE INGENIERIA

Departamento de Meteorología e Hidrología



ORGANIZACION METEOROLOGICA MUNDIAL

CENTRO REGIONAL DE FORMACION

Y ENSEÑANZA PROFESIONAL



II CURSO DE

AUXILIAR DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA



INTRODUCCION A LA
METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

Meteorología

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

Caracas, Noviembre de 1988

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

FACULTAD DE INGENIERIA

Departamento de Meteorología e Hidrología



ORGANIZACION METEOROLOGICA MUNDIAL

CENTRO REGIONAL DE FORMACION

Y ENSEÑANZA PROFESIONAL



II CURSO DE

AUXILIAR DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

INTRODUCCION A LA
METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

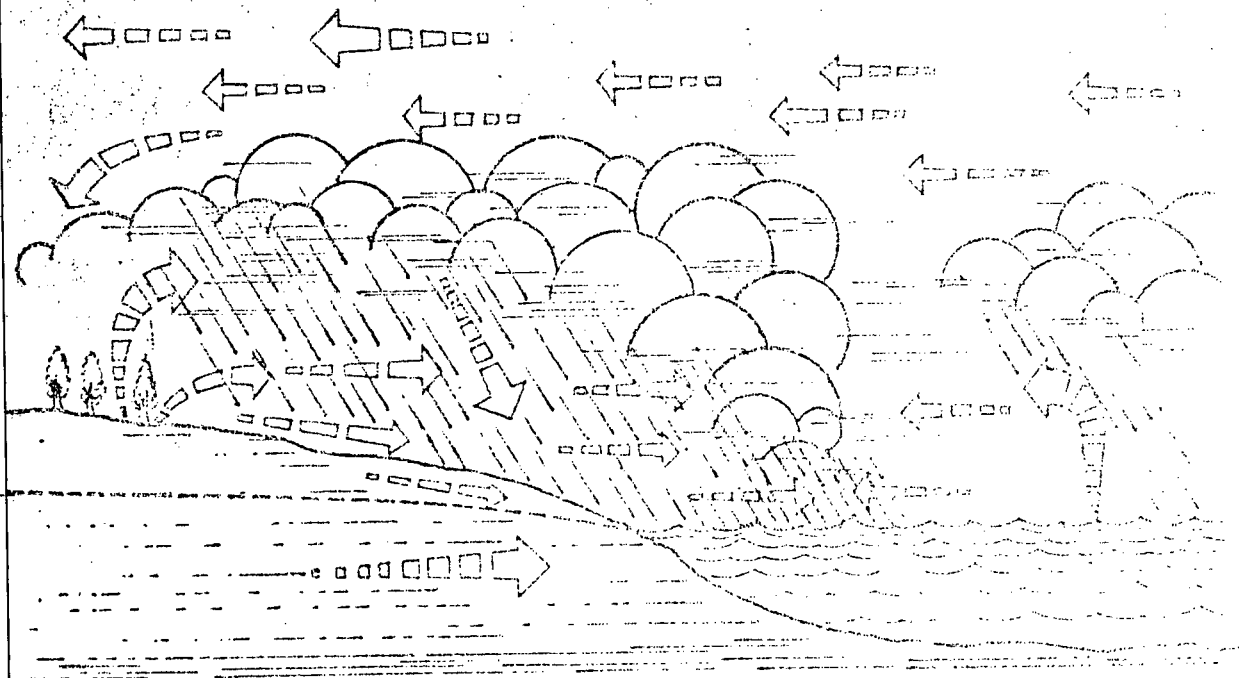
Hidrología

José L. Pérez Machado

Caracas, Noviembre de 1989

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERIA
DPTO. DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

FUNDAMENTOS DEL CICLO HIDROLOGICO



José Leandio Pérez Machado

INDICE
CAPITULO I

| | Pág. |
|---------------------------------------|------|
| Introducción | 1 |
| Definición de la Hidrología | 5 |
| División de la Hidrología | 7 |
| Breve Historia de la Hidrología | 9 |
| El Ciclo Hidrológico | 12 |
| Ciclo Geoquímico | 15 |
| Ciclo Energético | 15 |
| Composición de la Hidrósfera | 18 |

INTRODUCCION:

El agua es un componente esencial de la materia viva, tanto que las funciones vitales no se realizan en ausencia de ella. En el hombre, este líquido se encuentra en una proporción de hasta $\frac{2}{3}$ de su peso. Los embriones y los organismos jóvenes tienen más proporción de agua que los adultos y éstos más que los viejos. El agua es más abundante en los tejidos de gran vitalidad como el nervioso y el muscular. El agua se halla en diversas formas en la materia viva; ya sea más o menos libre en los líquidos orgánicos, como el plasma sanguíneo, por ejemplo; formando el medio de dispersión de los coloides o bien unida por combinación química o por adsorción a los compuestos orgánicos. La pérdida más o menos acentuada de agua determina una disminución en la intensidad con que se realizan los fenómenos vitales hasta tanto no se recupere el agua perdida, como sucede en la semilla que al constituirse como tal pierde agua, pero para germinar necesita absorberla, al tiempo que recupera sus actividades biológicas, muy intensas en ese período.

El agua cumple un papel importante en la fotosíntesis: proceso biológico que asegura la existencia del mundo orgánico. La fotosíntesis es la formación de carbohidratos en las plantas vivas a partir del agua y el bióxido de carbono, por la acción de la luz del sol sobre la clorofila, la materia colorante verde de las plantas. En este proceso, las plantas sintetizan el almidón, las proteínas y las grasas que sirven de alimento para los seres humanos y animales. El hidrógeno del agua se combina con el carbono absorbido del aire, para formar sustancias nutritivas. La atmósfera se enriquece con el oxígeno emitido por la vegetación terrestre y, en gran medida, por el fitoplankton marino. Si no fuera por la fotosíntesis, la respiración animal y vegetal y en especial la combustión del carbón, el petróleo y otros materiales combustibles anularían el contenido de oxígeno del aire y producirían un excedente de bióxido de carbono, con lo cual se imposibilitaría la vida orgánica. El contenido actual de bióxido de carbono del aire se ha duplicado en los últimos cincuenta años, y se espera que siga aumentando en el futuro. Por este motivo es imprescindible agotar todos los esfuerzos para aumentar el volumen de vegetación.

A nadie escapa que el agua es vital para la vida vegetal y animal. Los seres humanos beben una considerable cantidad, de uno a dos litros diarios se estima en Estados Unidos; los Soviéticos calculan unos tres litros, basados en las condiciones de las regiones áridas; Francia la fija en dos y medio a tres litros diarios por persona.

Sobre la base de esta última norma, se usa más o menos un metro cúbico de agua anual para satisfacer las necesidades fisiológicas de una persona. Al go así como unos cuatro kilómetros cúbicos para toda la población del mundo.

Se considera que entre 150 a 200 lts. diarios de agua son suficientes para las necesidades domésticas de una persona.

Los animales domésticos consumen una cantidad grande de agua. En base a un censo de 1963 y a lo que se calcula que consumen diariamente se estima en unos 22 kilómetros cúbicos de agua que se consumirían anualmente por algunos animales domésticos del mundo como se muestra en el cuadro N° 1.

C U A D R O N° 1

Consumo anual de agua por algunos animales domésticos del mundo:

| | Consumo diario (en lts.) | Cantidad de ganado (1963) x 10 ⁶ | Total en Km ³ |
|---------------------------|-----------------------------|--|-----------------------------|
| Vacas | 40 | 983 | 14,4 |
| Cerdos | 15 | 554 | 3,0 |
| Ovejas | 10 | 1.006 | 3,7 |
| Caballos, Mulas, Camellos | 40 | 64 | 0,9 |
| | | | <u>22,0</u> |

Se estima que la población ganadera aumentó en los últimos años y como ese cuadro no abarca a todos los animales domésticos, se puede establecer el consumo anual por este concepto entre 25 y 30 kilómetros cúbicos de agua sin contar el agua que beben los animales salvajes, los cuales no pueden ser mayor en cantidad al total correspondiente a los domésticos, y que por este concepto podemos estimar en, más o menos, unos 50 kilómetros cúbicos de agua por año. Es oportuno indicar que el agua consumida por los seres humanos y los animales a la larga volvería a incorporarse a la actividad hidrológica.

No es difícil abastecer a las personas y animales de agua potable y del agua para el uso doméstico. Por este concepto no habrá escasez de agua. La dificultad está en impedir la contaminación de los ríos y lagos por desechos animales y por las aguas residuales, municipales e industriales. El principal problema en el futuro uso del agua será su calidad.

Los vegetales consumen una determinada cantidad de agua que toman sobre todo del suelo; la absorben por sus raíces, que desarrollan a profundidades variables según la especie.

En el cuadro N° 2, se dan algunas cifras del consumo del agua por plantas en litros por metros cuadrados de superficie:

C U A D R O N° 2

| | |
|--------------------------|-----------------------------|
| Trigo | 366 a 760 lt/m ² |
| Cebada | 364 a 700 |
| Cítricos y algodón | 500 a 600 |
| Gramíneas | 548 a 972 |
| Caña de azúcar | 408 a 956 |
| Remolacha | 700 a 900 |
| Alfalfa | 823 a 914 |
| Papiro | 1.330 |
| Sauce, aliso, arce | 1.200 a 1.500 |

Se usan, en promedio, entre 12.000 y 14.000 metros cúbicos de agua para irrigar una hectárea de tierra. Un total de 2.500 kilómetros cúbicos de agua se toman anualmente de ríos y de almacenamientos subterráneos para la irrigación.

La agricultura de irrigación es la más grande de todos los consumidores de agua. Muchas veces se usa más agua de irrigación de la que necesitan las plantas. En esos casos el nivel freático asciende y las plantas perecen en suelos anegados con un descenso del rendimiento de las cosechas. El exceso de agua lleva a la salinización del suelo y a una disminución de su fertilidad, por eso la irrigación debe ser dirigida por expertos para evitar consu-

mos innecesarios de agua. La producción de cosechas es uno de los mejores usos a que pueden aplicarse los recursos hídricos.

Las estaciones térmicas e hidroeléctricas del mundo producen unos 3 billones 300.000 millones de kilovatios-hora de electricidad por año, de los cuales las segundas representan unos 700.000 millones. Para el año 2.000, -- las estaciones de energía hidroeléctrica tendrían una capacidad entre 1.100 a 1.200 millones de kilovatios-hora. En la actualidad se explota menos del 3 por ciento del potencial hidroeléctrico del mundo. La mayoría de los grandes depósitos de agua no se explotan para objetivos múltiples. Muchos de los depósitos se utilizan para producir energía hidroeléctrica en detrimento de la pesca, la agricultura, etc. cuando debieran usarse primeramente para la provisión pública de agua, la agricultura de irrigación, la pesquería, la recreación y la regulación de crecientes.

La industria y el comercio hacen gran consumo de agua, no siempre fácil de calcular; como ejemplo se dan los siguientes datos:

La industria azucarera consume 100 metros cúbicos de agua por cada tonelada de azúcar que se fabrica.

Las papeleras consumen 250 metros cúbicos de agua por tonelada de papel.

Las fábricas siderúrgicas consumen 150 metros cúbicos por cada tonelada de acero, etc.

La calidad del agua de los ríos, lagos y depósitos va disminuyendo -- progresivamente, ya que se vuelcan en ellos los desechos municipales e industriales. Si el agua se contamina es de poca utilidad, por abundante que sea.

Un metro cúbico de aguas servidas no tratadas contaminan entre 40 y 60 metros cúbicos de aguas puras naturales, pues la capacidad de autopurificación de un río es incapaz de hacer frente a esa situación, y si se sigue bombeando aguas servidas en los ríos se estará limitando el futuro de la humanidad, pues, los ríos contaminados llevarán su contaminación a los mares, por lo que se impone un tratamiento de los residuos como método auxiliar y reducir al mínimo la descarga de aguas servidas en ríos, lagos y depósitos. Lo más eficaz sería usar las aguas servidas municipales para la irrigación, pues esa

agua de desecho contienen una gran proporción de fertilizantes orgánicos y el suelo es el mejor agente para volver inofensivas las aguas servidas municipales. Los aspectos higiénicos, agronómicos, técnicos y económicos del empleo de aguas servidas municipales para irrigación han sido puestos a prueba en la Unión Soviética y otros países. Las fábricas industriales, incluidas las centrales de energía térmica, deben construir instalaciones de reincorporación al ciclo.

Quando una región tiene suficientes recursos hídricos, será fácil satisfacer las necesidades de su población y de todas las ramas de la economía. Pero si el agua es escasa habrá que establecer prioridades, de lo contrario se invertirán los recursos en necesidades no esenciales y dejar insatisfecho importantes requerimientos.

Las prioridades naturales y económicas pueden cambiar pero es lógico que deben basarse en el siguiente esquema:

- 1) Agua potable
- 2) Necesidades domésticas
- 3) Industria de la alimentación
- 4) Agricultura
- 5) Ganadería
- 6) Cría de peces
- 7) Fábricas industriales y centrales de calefacción y energía
- 8) Estaciones hidroeléctricas
- 9) Navegación
- 10) Recreación

Definición de la Hidrología.-

Son muchas las definiciones que hay sobre la Hidrología y que en el fondo se relacionan.

En 1959, el Comité de Hidrología del Consejo Federal para la Ciencia y la Tecnología de E.E.U.U., recomendó la siguiente definición:

La Hidrología es la ciencia que trata del agua en la tierra, su ocurrencia, circulación y distribución, sus propiedades físicas y químicas, su

reacción con el medio ambiente incluyendo sus relaciones con los seres vivientes.

Es aceptable la definición resumida de Hidrología como la ciencia que estudia las diferentes fases del ciclo hidrológico y para ello se relaciona -- con otras ciencias.

La Hidrología debe contar con los datos necesarios para el estudio de obras que garanticen el mejor aprovechamiento de las aguas para el desarrollo integral de la vida.

Los estudios de Hidrología son necesarios en los proyectos de ingeniería relacionados con el aprovechamiento de aguas, por esto están íntimamente relacionados con el diseño y operación de obras hidráulicas.

Para que se note la diferencia con la Hidráulica se dan los siguientes ejemplos:

El diseño de una alcantarilla para ciertos valores de medición del -- agua, se expresa en forma hidráulica, pero la determinación de las dimensiones de la alcantarilla para condiciones extremas depende de un estudio hidrológico para obtener esas mediciones.

La determinación de la forma, cresta y características de la pantalla de un embalse es un problema hidráulico, pero la obtención de los datos del agua a almacenar hasta el sitio considerado es el producto del estudio hidrológico.

El tamaño y diámetro de la rejilla de un pozo de captación de aguas subterráneas y el diseño de la bomba es un asunto hidráulico. El rendimiento a largo plazo del pozo y la localización apropiada de la bomba se fundamentan en la Hidrología. Y si la extracción debe ser alta durante mucho tiempo, habría que hacer un estudio entre la recarga, capacidad de almacenamiento y la cantidad de agua a explotar y el estudio pasa a ser hidrológico.

No puede haber un proyecto hidroeléctrico sin un estudio hidrológico en el cual se contemplen los aportes de agua del río.

Se requiere de un estudio hidrológico para cualquier proyecto de abastecimiento de agua potable para uso urbano.

Con los estudios hidrológicos se predicen las crecientes máximas para que sean amortizadas por los embalses, o la ocurrencia de una cierta precipitación de una magnitud determinada con fines de drenaje, o en qué medida afecta a los niveles de un río cuando se quiere canalizarlo para proteger los terrenos adyacentes de los peligros de inundaciones, o hacer obras de drenaje para saneamientos de terrenos con fines de riego y el aprovechamiento de la navegación fluvial. Todos estos problemas entrañan estudios hidrológicos, ya que se requiere conocer los caudales máximos y mínimos.

El conocimiento de la Hidrología no sólo beneficia a la Hidráulica sino que es útil también en otros campos, por ejemplo, en el proyecto de un puente, ya que si se construye sin el conocimiento de la corriente sobre la cual se sitúa, ésta pudiera poner en peligro su infraestructura.

Por todas estas razones, es que se incluye a la Hidrología como materia obligatoria en los planes de estudios del futuro egresado de la Escuela de Civil.

La Hidráulica es la rama de la mecánica aplicada que estudia las leyes que rigen el comportamiento de los fluidos líquidos o gaseosos tanto en reposo como en movimiento, de allí su gran afinidad con la Hidrología, pero ambas ciencias se diferencian una de otra. La Hidrología trata del agua, el cual es un fluido, en todas sus fases, su origen, distribución y propiedades.

Abundan los ejemplos que diferencian a ambas ciencias. La intención es señalar los muchos puntos de contacto que hay entre la Hidrología y la Hidráulica, por lo que se concluye que los profesionales de ambas ciencias deben trabajar armónicamente y cada cual dentro de las atribuciones que le indiquen sus competencias y señalan las leyes.

División de la Hidrología.-

Los elementos hidrológicos son variables en función del tiempo. El ciclo del agua se desarrolla en tres medios distintos: la atmósfera, la superficie del suelo y en el subsuelo. De este modo aparecen tres campos de estudio.

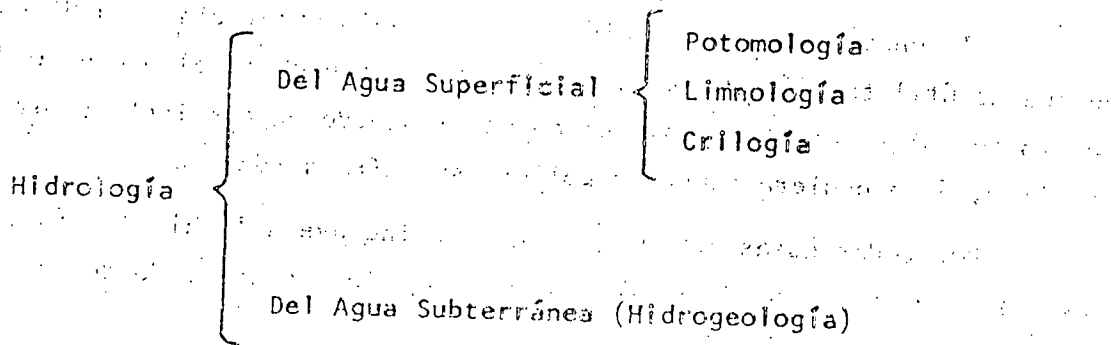
dios: las aguas atmosféricas, la Hidrología de superficie y las aguas subterráneas.

Algunos autores reconocen que la Hidrología se divide en dos grandes ramas:

Hidrología del Agua Superficial

Hidrología del Agua Subterránea

De acuerdo al estudio específico que se realice en la primera rama se consideran subdivisiones como se podría ver en el siguiente esquema:



La Potomología es la parte de la Hidrología que se refiere al estudio de las corrientes superficiales.

La Limnología se ocupa del estudio de los lagos.

La Criología estudia las masas de nieves e hielos.

La Hidrología del Agua Subterránea se define como la parte de la Hidrología que estudia la existencia, afloración, distribución y movimiento del agua a través de la superficie de la tierra. Esta rama se le llama Hidrogeología y difiere un poco de la Geohidrología que se dedica principalmente a la Geología.

Las aguas que están en los poros y fisuras de los suelos y rocas más superficiales de la corteza terrestre son las llamadas aguas subterráneas, y se dividen según la medida en que participen en el Ciclo Hidrológico en estancadas, cuya edad es la misma que la de la roca que las contienen y en temporales, que se forma en los períodos húmedos y desaparece en los secos.

Por estar íntimamente relacionada con la Hidrología hay que considerar a una nueva ciencia que es la Hidrometeorología la cual, es definida por la Organización Meteorológica Mundial como la ciencia que se ocupa del estudio de las fases atmosféricas y terrestres del ciclo hidrológico y, en especial, de las relaciones de influencia mutua que en ellas intervienen.

La Hidrometeorología es quien sigue los pasos de aquellos fenómenos que se solapan entre la Hidrología y la Meteorología, y la integran ambas ciencias.

En nuestro país se estudia la Hidrometeorología como carrera en la Universidad Central de Venezuela, adscrita al Departamento de Meteorología e Hidrología de la Escuela de Civil de la Facultad de Ingeniería, con un pensum sumamente amplio en cuya elaboración trabajaron expertos de la Organización Meteorológica Mundial, de la Unesco y profesionales egresados. Los títulos que otorga la Universidad en esta rama son los de Hidrometeorólogos con cuatro años de estudio y de Ingeniero Hidrometeorólogo con cinco años de estudios. Ambos títulos en las opciones de Hidrología, Meteorología y Agrometeorología.

Breve historia de la Hidrología.-

Desde tiempos muy remotos se han efectuado estudios del agua, tanto de sus propiedades físicas y químicas como de su comportamiento en la atmósfera y en la tierra. Escritores y filósofos griegos y romanos trataron de explicar el origen de las fuentes y del agua subterránea; y sus teorías van desde la fantasía hasta un acercamiento muy próximo a la realidad; se pensaba que el agua que afloraba en las fuentes no podía derivarse del agua de lluvia porque era insuficiente y la tierra demasiado compacta. Los progresos en el campo de la Hidrología suele asociarse con nombres determinados. Los filósofos griegos como Homero, Tales de Mileto, Platón y Aristóteles aseguraban teorías que hoy día nos parecen absurdas. Los filósofos romanos como Séneca y Plinio, seguían con las ideas de los griegos y contribuyeron muy poco para el desarrollo de esta materia. Sin embargo, el arquitecto romano Marco Vitruvius Polión explicó la teoría de infiltración como se le acepta hoy.

Siglo I de J.C.

El dominio del pensamiento griego persistió a través de la Edad Media (siglos V al XV D.C.) como un oráculo al que recurrían los pensadores.

Le siguió a la Edad Media el Renacimiento y en esta época comienza un cambio gradual de las especulaciones filosóficas de la Hidrología en las observaciones científicas y, aquí se destacan al alfarero y filósofo francés Bernard Palissy y el italiano Leonardo de Vinci.

La Teoría de infiltración de Palissy se ignoró. Leonardo se distinguió en todos los ramos del arte o de la ciencia y es de los primeros en atribuírsele la concepción del Ciclo Hidrológico actual.

Coetáneos a ellos tenemos al astrónomo alemán Juan Kepler y al filósofo y matemático francés René Descartes que seguían influenciados por las teorías de los griegos.

Cuando por primera vez las teorías estuvieron basadas en las observaciones y en los datos cuantitativos surgen los nombres de los científicos -- franceses Pierre Perrault (1608-1680) y Edmé Mariotte (1620-1684). Perrault era abogado y desempeñó cargos administrativos y financieros en el gobierno francés; publicó un libro sobre el origen de los manantiales dedicado al matemático, astrónomo y físico alemán Cristian Huygens.

Perrault tomó la cuenca superior del río Sena hasta Aignay-Le-Duc, con un área de 121,5 kilómetros cuadrados y midió la precipitación que ocurrió en esa zona durante los años de 1668, 69 y 70 y obtuvo el valor promedio de 520 milímetros. Comprobó con sus observaciones que la precipitación en la cuenca era seis veces mayor que la descarga del río, demostrando así, lo incierto de la hipótesis que asumía que las lluvias son insuficiente para mantener el caudal de los ríos. Mariotte confirmó esta experiencia de la infiltración y sus publicaciones aparecieron en 1686, después de su muerte. Quedó demostrado que la lluvia era la fuente de abastecimiento de las corrientes superficiales.

Mariotte, afirmó una vez O. C. Meinzer, merece más que cualquier otro hombre la distinción de ser considerado como el fundador de la Hidrología del agua subterránea, quizás, más bien, de toda la ciencia hidrológica.

El astrónomo inglés Edmund Halley (1656-1742) hizo medidas sobre evaporación, demostrando que la evaporación del agua del mar es suficiente para explicar las fuentes y corrientes del mundo.

El francés Jules Dupuit, fue el primer científico que desarrolló una fórmula para el estudio del flujo del agua hacia el interior de un pozo. Su trabajo se publicó siete años después que el ingeniero hidráulico francés Henry Darcy (1803-1858) dio a conocer en 1856, su famosa Ley de Darcy. Darcy estudió el movimiento del agua en arenas y explica el flujo del agua subterránea en los aluviones y formaciones sedimentarias.

En 1870, el alemán Adolph Günter Thiem modificó la fórmula de Dupuit con el fin de hacerla aplicable en la obtención de los parámetros de un terreno acuífero mediante el bombeo de un pozo y la observación de los efectos producidos en otros pozos vecinos.

Durante el siglo XVIII se realizaron estudios experimentales de hidráulica con el piezómetro y el teorema de Bernoulli, el tubo Pitot, el medidor de corriente de Woltman y la fórmula de Chezy. Todos estos adelantos contribuyeron al desarrollo de los estudios hidrológicos sobre bases cuantitativas.

El austríaco Philip Forchheimer en 1886, aplicó por primera vez los métodos modernos de estimación de las características de un acuífero e introdujo el concepto de superficies equipotenciales y su relación con las líneas de flujo, y también fue el primero en aplicar la fórmula de Laplace y el método de las imágenes.

El geólogo norteamericano Meinzer, analizó, definió y unificó las diversas facetas de la hidrogeología. La mayor parte de su obra la realizó entre los años 1920 y 1940.

La Hidrología experimental se fortaleció en el siglo XIX con contribuciones significativas, muchas de ellas a la Hidrología del Agua Subterránea. En el campo de las aguas superficiales la hidrometría tuvo un gran avance incluyendo el desarrollo de muchas fórmulas e instrumentos de observación.

Uno de los progresos más notables en el estudio de las aguas subterráneas fue hecho por C. V. Theis en 1935, con su ecuación de no equilibrio

para el estudio del flujo del agua subterránea en régimen no permanente, donde introduce el factor tiempo y el coeficiente de almacenamiento; estaba basada en una analogía con la transmisión de calor.

En 1946, C. E. Jacob, obtuvo la ecuación de Theis partiendo de conceptos hidráulicos y le dio una utilización práctica para un gran número de condiciones límites.

Entre 1930 a 1950 se aplicaron análisis racionales a las bases empíricas para resolver problemas hidrológicos. En este período se establecieron numerosos laboratorios de Hidráulica e Hidrología en todo el mundo. Después de 1950, los adelantos técnicos se han usado en los problemas de la Hidrología, y han sido sometidos al análisis matemático.

La técnica de hoy se ha encarado a los fenómenos hidrológicos; con la ayuda de las computadoras se analizan infinidad de información para resolver complicadas ecuaciones matemática de la teoría hidrológica.

El Ciclo Hidrológico:

Las variaciones en las precipitaciones, en las aguas superficiales y subterráneas están asociadas a las oscilaciones parciales de un sistema complejo en el cual todas las aguas circundantes de la tierra se encuentran interrelacionadas.

Este sistema complejo se conoce como el Ciclo Hidrológico. Este ciclo encadena en un todo los eslabones de la Hidrósfera: los mares, lagos y ríos, el agua subterránea, la humedad del suelo y el vapor atmosférico. Es el conjunto de caminos a través de los cuales circula el agua. Es un proceso continuo, simultáneo e interminable que sigue el agua en los distintos estratos del sistema terrestre; así está presente en la capa gaseosa llamada atmósfera que envuelve a la tierra, en la parte sólida o Litósfera y en los cuerpos de agua que cubren gran parte de la superficie del globo terráqueo llamada Hidrósfera.

Por ocupar la Hidrósfera el 70% de la superficie terrestre se considera que ahí se inicia el ciclo, pues en los mares y océanos es mucho mayor la

evaporación que en otras partes del sistema terrestre; pero, por ser un ciclo se pudiera comenzar por cualesquiera de sus distintas fases.

El ciclo hidrológico es activado por medio de la energía solar y por fuerzas planetarias. La radiación solar aporta la energía para evaporar el agua. La aceleración de gravedad de la tierra y la fuerza desviadora de la rotación de la tierra, llamada de Coriolis, juegan papel importante en el desplazamiento de las masas de aire. Los cambios gravitacionales del sol y de la luna influyen sobre el equilibrio que motoriza al Ciclo. Es notable la influencia de los destellos solares y la actividad periódica de las manchas del sol en el campo electromagnético de la tierra.

En el Ciclo Hidrológico intervienen procesos interrelacionados de evaporación, condensación, precipitación, intercepción, evapotranspiración, infiltración, percolación, afloramiento, almacenamiento y escurrimiento. Dentro del Ciclo Hidrológico el agua, si las condiciones lo permiten, puede recorrer caminos más breves, acortando el proceso dentro del conjunto global.

Se pueden considerar a los océanos como inmensos depósitos de donde procede la casi totalidad del agua que fluye, en sus distintos estados, por los caminos del Ciclo y a los cuales regresa.

El espacio entre las moléculas de los diversos gases que constituyen a la atmósfera, es susceptible de aumentar o disminuir de acuerdo a la temperatura y presión. La cantidad absorbible de vapor de agua por la Atmósfera está controlada por su grado de saturación de humedad en un determinado momento por el balance energético y la disponibilidad de agua libre que pueda evaporarse.

El vapor de agua que se encuentra en la Atmósfera proviene de la evaporación del agua líquida del mar, de los ríos o de la superficie de la vegetación. La evaporación puede producirse a cualquier temperatura, si el aire que está en contacto con una superficie de agua no está saturado. La evaporación del agua siempre requerirá del consumo de calor como calor latente, sin importar a qué temperatura se produzca. Por todo lo dicho, la evaporación depende del agua disponible y de la capacidad de la atmósfera para evaporar.

El agua que pasa a la Atmósfera como vapor de agua puede ascender a niveles altos, y si alcanza un punto llamado nivel de condensación formará nubes, las cuales, si las condiciones están creadas, originarán las precipitaciones hacia la Hidrósfera, a la Litósfera o a ambas. El agua que se precipita, a parte de ella, puede evaporarse de nuevo sin llegar a la superficie de la tierra, o puede ser interceptada, en parte por la vegetación o las construcciones, llenar las irregularidades del terreno, humedecerlo, infiltrarse, y llegar a niveles más profundos, o escurrir difusamente sobre la superficie de los suelos si la intensidad de la lluvia es mayor que la que pueda absorber.

El agua interceptada, absorbida por las plantas, y la que escurre superficialmente de acuerdo a la mayor pendiente, puede evaporarse de nuevo y volver a la Atmósfera.

El agua después de humedecer y saturar al suelo continuará descendiendo por la acción combinada de las fuerzas de gravedad y de la atracción molecular. Cuando la humedad del suelo es poca o ninguna y una gota de agua proveniente de las precipitaciones toca la superficie del terreno las fuerzas moleculares de éste la atraen y hacen que se absorba, y cuando la humedad de la superficie del terreno va incrementándose, pierde intensidad la atracción molecular y tiene lugar la infiltración por la atracción gravitacional y la permeabilidad del suelo es la que determina la velocidad de penetración del agua hasta que alcance, en su recorrido, un estrato impermeable sobre el cual el agua se almacena, formando lo que se llama un acuífero, el cual almacenará el agua subterránea. La fuerza de gravedad es la que produce la entrada de las aguas superficiales en el terreno, su movimiento descendente o percolación y su afloración a la superficie en forma de manantiales, fuentes o depósitos.

El agua que aflora y forma las corrientes superficiales y llega a los mares y océanos alimentará a la evaporación para cerrar y dar comienzo de nuevo al Ciclo Hidrológico.

Se han hecho diferentes diagramas para esquematizar el Ciclo Hidrológico, algunas son descriptivas, otras cualitativas, y las hay también cuantitativas como se podrá apreciar en las Figuras 1-1a, 1b, 1c; 1-2a y 2b, las cuales se complementan y se explican ellas mismas.

REPRESENTACION CUALITATIVA DEL CICLO HIDROLOGICO .

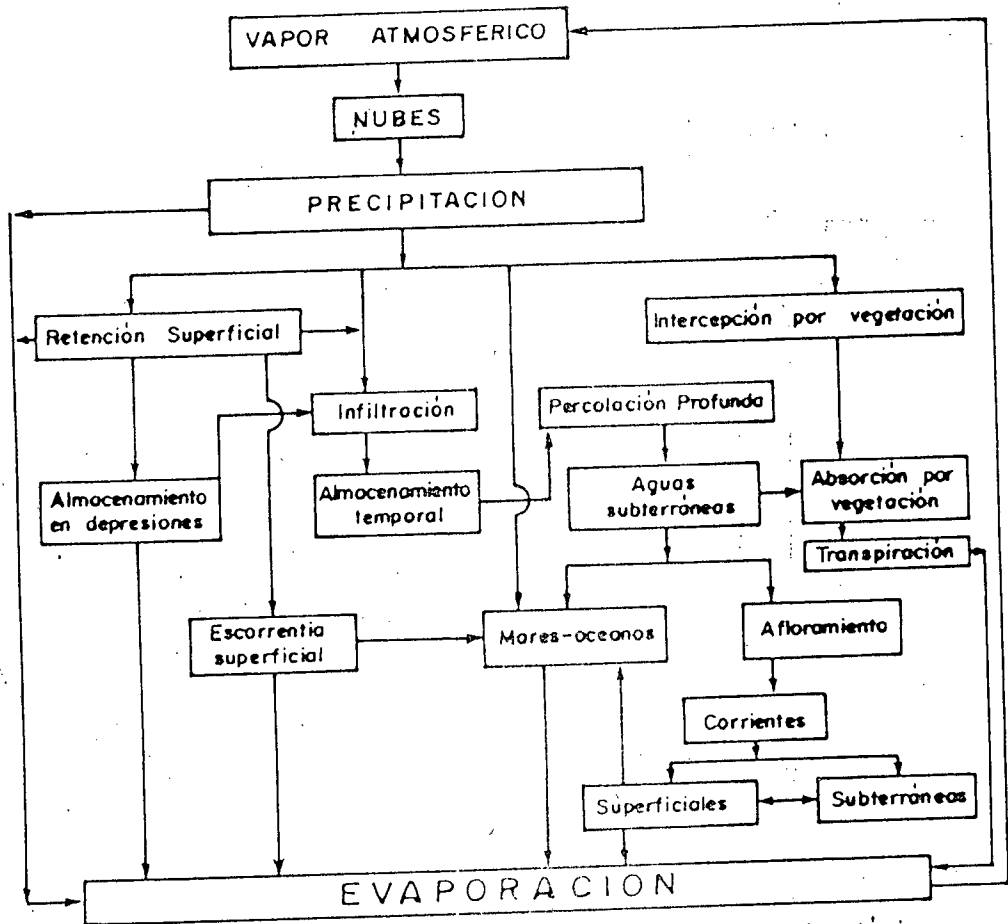


Figura I-1a .. Representación cualitativa del ciclo hidrológico .

PROCESO DE INTERCEPCION.

DIAGRAMA DE FLUJO

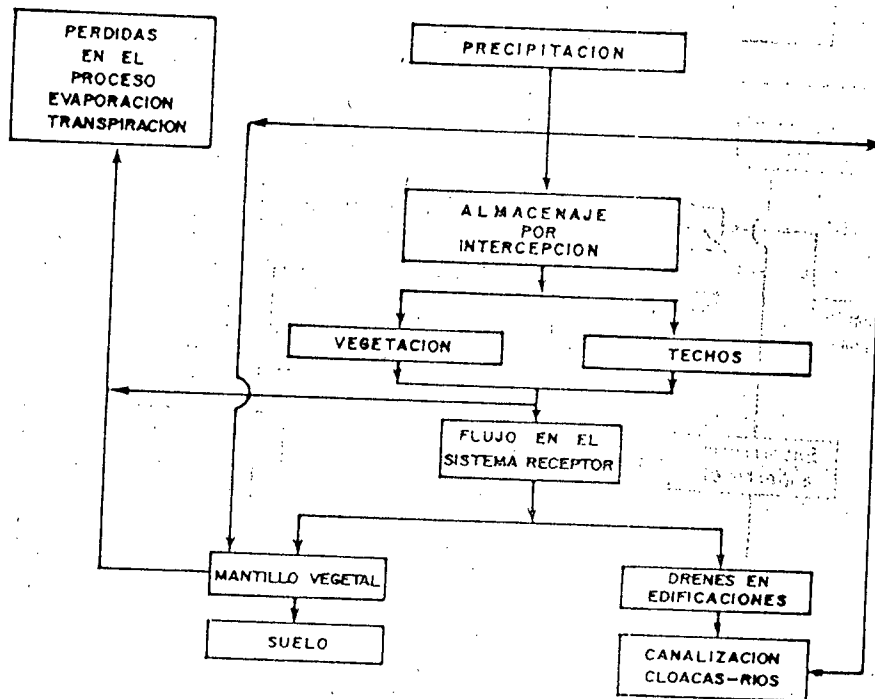
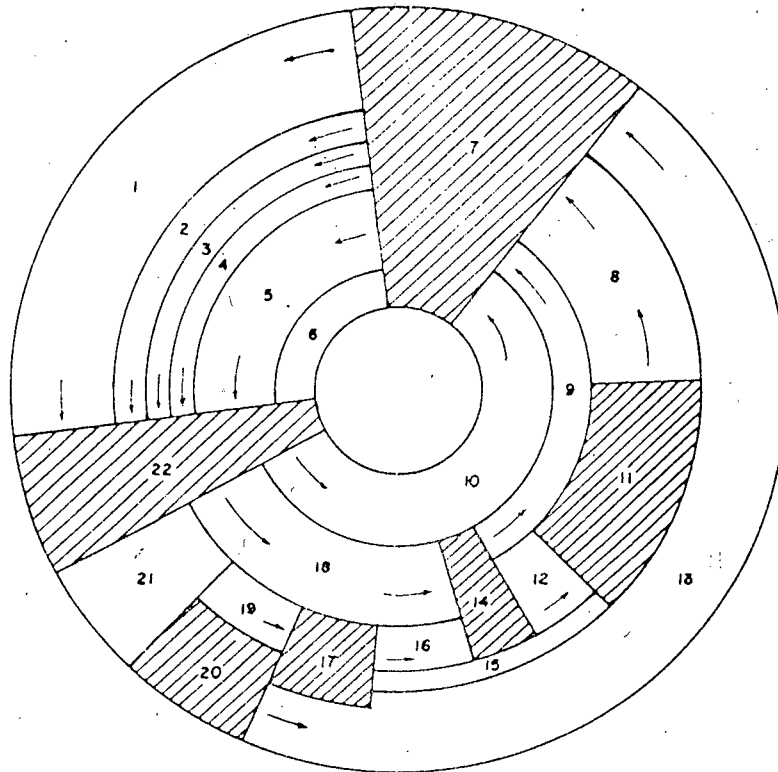


Figura I - 1b ..

Figura I-1c

El ciclo hidrológico. El diagrama debe leerse en el sentido de las flechas.



- 1) Lluvia.
- 2) Neblina.
- 3) Granizo.
- 4) Aguanieve.
- 5) Nieve.
- 6) Rocío y escarcha.
- 7) Atmósfera vapor de agua almacenado.
- 8) Evaporación desde los océanos.
- 9) Evaporación desde el almacenamiento en cauces.
- 10) Evaporación desde el almacenaje de la detención superficial y desde la interceptación.
- 11) Almacenamiento en los océanos.
- 12) Esguerrimiento.
- 13) Transpiración y evaporación desde el suelo.
- 14) Almacenamiento en cauces.
- 15) Flujo subterráneo, al océano.
- 16) Flujo subterráneo a las corrientes.
- 17) Almacenamiento del agua subterránea.
- 18) Esguerrimiento superficial.
- 19) Acrecentamiento del agua subterránea.
- 20) Almacenamiento del agua en los suelos.
- 21) Infiltración.
- 22) Almacenaje de la detención superficial y de la interceptación.

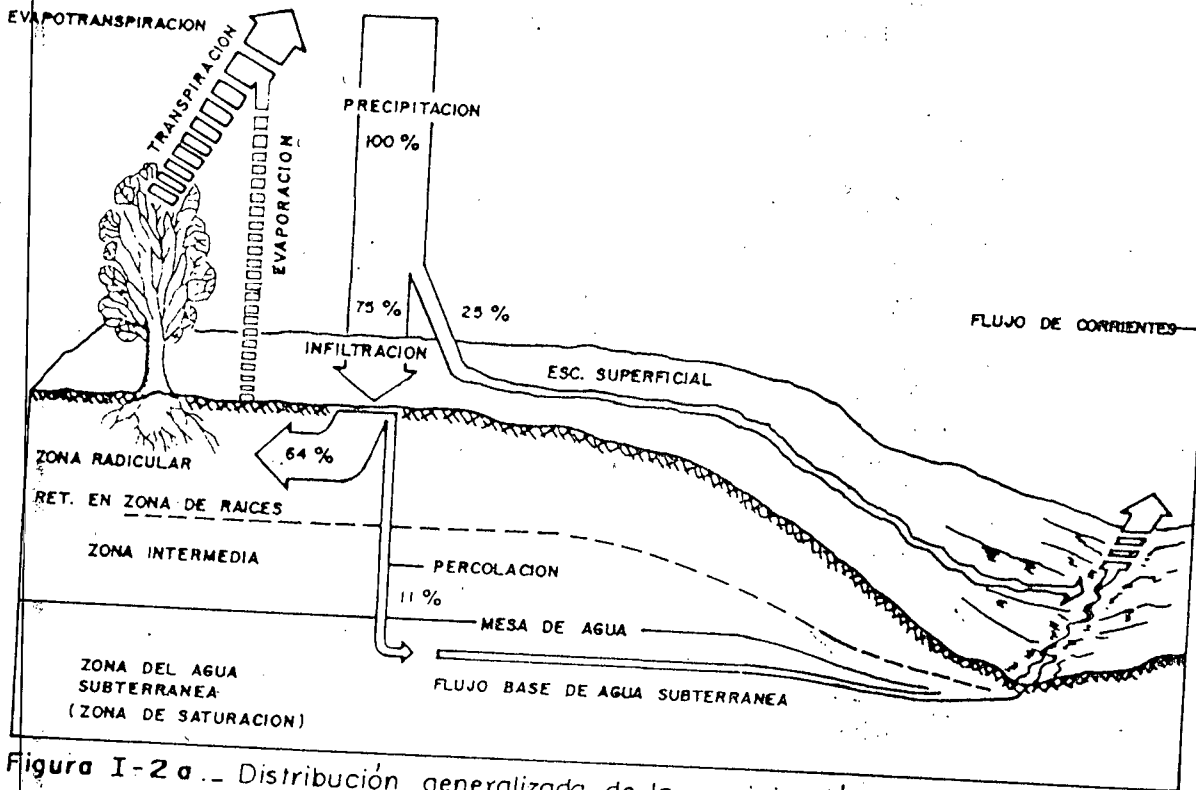


Figura I-2 a ... Distribución generalizada de la precipitación mundial. Representación cuantitativa.

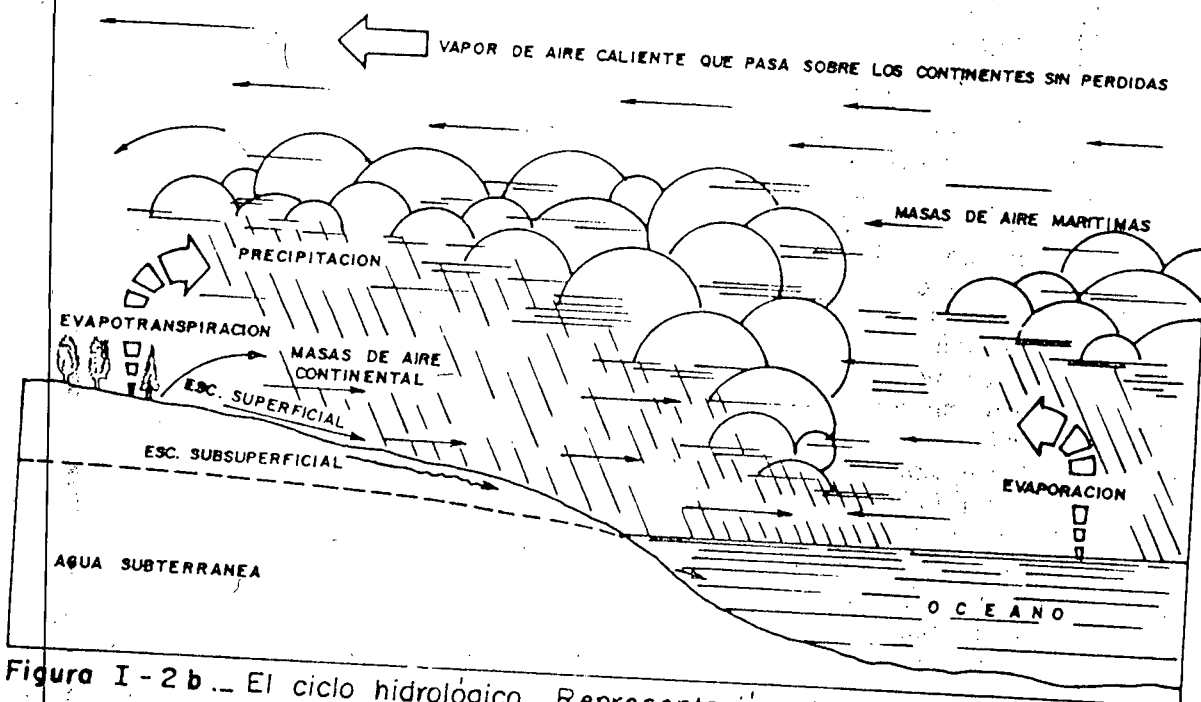


Figura I-2 b ... El ciclo hidrológico. Representación descriptiva.

Ciclo Geoquímico:

En función del Ciclo Hidrológico global opera otro ciclo llamado Geoquímico, el cual se puede abreviar de la siguiente forma:

- 1.- El vapor de agua proveniente de los océanos transporta algo de sustancias minerales como los cloruros y sulfatos de sodio, magnesio, calcio y potasio, los cuales servirán de núcleos higroscópicos que aglutinarán al vapor de agua cuando alcance el nivel de condensación.
- 2.- El agua precipitada durante las tormentas arrastrará al bióxido de carbono, a los compuestos nitrogenados y a las moléculas de oxígeno.
- 3.- A medida que el agua precipitada se infiltra disolverá al bióxido de carbono que tenga el suelo como producto de la descomposición orgánica; así mismo, puede disolver minerales solubles y sales a medida que se desplaza. Recordemos que el agua es el disolvente universal.
- 4.- El ácido de carbono o carbónico diluido reaccionará químicamente con algunos minerales y podrá formar carbonatos y bicarbonatos, los cuales pueden continuar en solución.
- 5.- Una vez que el agua alcanza un estrato impermeable y se almacena sobre él, ocurrirá, según los límites de solubilidad son alcanzados, que los compuestos menos solubles se decanten, o que las bacterias anaerobias reduzcan a los sulfatos en solución sustituyéndolos por bicarbonatos.
- 6.- Para cerrar el Ciclo Geoquímico, el agua regresará a la atmósfera en forma de vapor, dejando las sustancias minerales en el suelo, o mediante el afloramiento escurrirá transportando su contenido mineral hacia el océano.

Así como en las distintas etapas del Ciclo Hidrológico global, el agua puede acortar caminos, igual podrá ocurrir en las distintas etapas del Ciclo Geoquímico ya que uno acompaña al otro. Figura 1-3.

Ciclo Energético:

La fuente principal de la energía de la atmósfera es la radiación solar. El sol emite luz y calor mediante ondas electromagnéticas a la velocidad

REPRESENTACION ESQUEMATICA DEL CICLO GEOQUIMICO

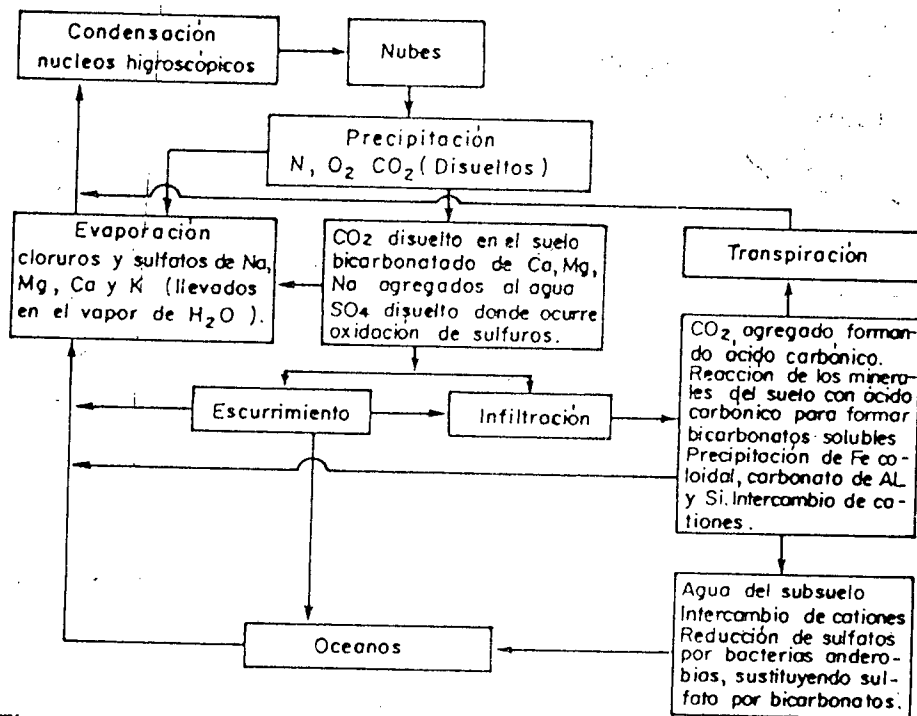


Figura I-3 ...

de 300.000 Km/seg., con longitudes de ondas tan pequeñas que se miden en micrones (μ , u , 10^3 mm). Nuestro sol tiene una temperatura superficial de unos -- 6.000 °C. La energía que emite radialmente tarda, aproximadamente, 9 1/3 minutos en llegar a la tierra y recorre 150 millones de Km. de distancia.

La cantidad de energía que llega al límite superior de la atmósfera es llamada impropriamente constante solar y tiene un valor medio de 1,94 calorías gramo por cm^2 y por minuto. Es variable según las estaciones en un 10% y fluctúa dependiendo de las manchas solares.

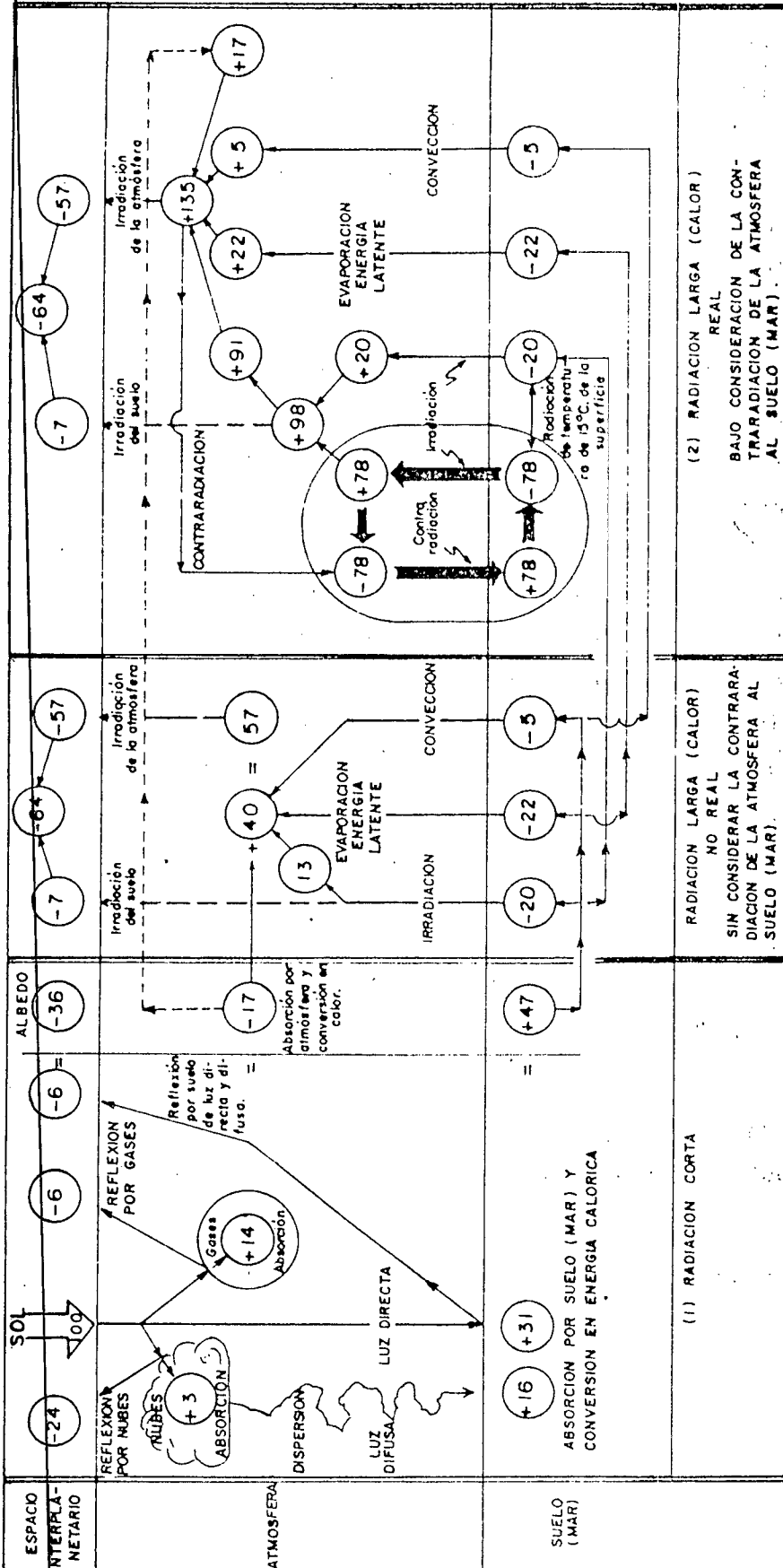
A pesar de los contrastes latitudinales de temperaturas, las pruebas geológicas y la historia indican una uniformidad general del ambiente térmico global a través del tiempo. La tierra mantiene un equilibrio térmico, de lo contrario habría un incremento o disminución de calor y la tierra sería demasiado cálida o fría para mantener la vida. Los procesos de entrada y salida de energía es continuo. En un mismo lugar y tiempo se pierde más calor del -- que se gana, en otro se ganará más del que se pierde y en un período de tiempo largo el nivel medio de energía calorífica del sistema en conjunto permanece -- constante. Los movimientos de la atmósfera y los océanos transfieren el calor. Todo lo considerado conducen al concepto del balance global de calor.

La energía proveniente del sol llega a la tierra en radiación de onda corta y atraviesa la atmósfera, la cual absorberá el 14%. Si las nubes interceptan un haz de esa radiación reflejarán otra vez al espacio un 24%, absorbiendo 3% y dispersando como luz difusa un 16%. Directamente a través de la atmósfera llegará al suelo o al mar un 31%, de aquí se reflejará como luz directa y difusa un 6%, igual cantidad reflejarán otra vez al espacio la energía absorbida por los gases.

Los procesos de entrada y salida de energía están siempre en acción -- activados por la atmósfera y los océanos produciéndose un balance global de calor. Figura 1-4.

A continuación se dan cuadros del balance que ocurre en los tres niveles:

BALANCE ENERGETICO ATMOSFERA — TIERRA (valores expresados en porcientos)



| RADIACIÓN SOLAR QUE INGRESA A LA ATMÓSFERA | | 100% | |
|--|-------------|-------------|-------------|
| Reflexión por nubes | 24% | | |
| Reflexión por gases | 6% | | |
| Reflexión por suelo (mar) | 6% | | |
| Absorción por nubes de la atmósfera | 3% | | |
| Absorción por gases de la atmósfera | 14% | | |
| Absorción por suelo luz directa | 31% | | |
| Absorción por suelo luz dispersada por nubes | 16% | | |
| Absorción por suelo luz dispersada por gases | 6% | | |
| Total | 100% | +17% | +47% |

SECCION ILUSTRATIVA

(1) La atmósfera irradia hacia el suelo (mar) una radiación larga que depende de su temperatura. Esta irradiación se llama contra irradiación de la atmósfera. El valor en porcientos de la contra irradiación, comparándola con los 100% del flujo energético total solar de 100%, equivale al 78% de este valor.

(2) Por la contra irradiación de la atmósfera, el suelo (mar) absorbe la misma cantidad de 78%, y lo irradia nuevamente en unión con los 20% de irradiación (de los 47% de irradiación corta absorbida por el suelo y convertido en calor). La irradiación del suelo se eleva a 98%. Le equivale a radiación larga de una temperatura de 15°C. Esta temperatura es el promedio de la temperatura de la superficie terrestre.

A. W. GOL.

Figura I-4

1) Nivel suelo o mar

| | | | |
|----------|----------------------------|----------------|---------------|
| Ganancia | Absorción radiación solar | 47 % | |
| | Absorción contra radiación | 78 % | |
| Pérdida | Irradiación | | 98 % |
| | Evaporación | | 22 % |
| | Convección | | 5 % |
| TOTAL | | Ganancia 125 % | Pérdida 125 % |

2) Nivel Atmósfera

| | | | |
|----------|---------------------------|----------------|---------------|
| Ganancia | Absorción radiación solar | 17 % | |
| | Absorción radiación suelo | 91 % | |
| | Evaporación | 22 % | |
| | Convección | 5 % | |
| Pérdida | Irradiación Espacio | | 57 % |
| | Contraradiación | | 78 % |
| TOTAL | | Ganancia 135 % | Pérdida 135 % |

3) Nivel Interplanetario

| | | | |
|----------|--|----------------|---------------|
| Ganancia | Irradiación suelo | 7 % | |
| | Irradiación Atmósfera | 57 % | |
| | Reflexión por nubes | 24 % | |
| | Reflexión por gases | 6 % | |
| | Reflexión por suelo (mar) | 6 % | |
| Pérdida | Radiación solar ingresada a la Atmósfera | | 100 % |
| TOTAL | | Ganancia 100 % | Pérdida 100 % |

De la radiación total incidente, aquella fracción que se refleja de nuevo al espacio se llama albedo, se le considera un valor promedio del 40%, del resto sólo un poco absorbe la superficie de la tierra y la refleja en onda larga.

La ganancia de la superficie de los terrenos se invierte en calor sensible que en parte va al aire y en parte al terreno. Sobre los océanos esta ganancia se queda en el agua; esta ganancia tiene que pasar a la atmósfera para compensar su pérdida por radiación. Este proceso se cumple en el ciclo evaporación-condensación. La evaporación del agua de la tierra requiere consumo de calor de sus alrededores, por lo cual quitará calor a la superficie y reducirá la conducción de calor desde ella. Cuando el vapor de agua resultante de esa evaporación se condense después en nubes, librerá el calor latente de vaporización, llamado calor de condensación, en beneficio de la atmósfera.

El Ciclo Hidrológico lleva a cabo una transferencia de calor desde la superficie terrestre a la Atmósfera y permite el equilibrio entre las dos partes del sistema. Hasta que el agua evaporada no vuelve a la tierra en forma de lluvia no es devuelta la misma cantidad de calor.

Composición de la Hidrósfera.-

Toda el agua existente en la tierra forma lo que se conoce como la Hidrósfera. Se le define como la envoltura acuosa de la tierra, incluidos los océanos, lagos, diques, ríos y aguas subterráneas, glaciares polares y de montaña, la humedad del suelo y el vapor de agua que contiene la atmósfera.

DISTRIBUCION DEL AGUA EXISTENTE EN EL MUNDO O RESERVA MUNDIAL DE AGUA.

| | % del Volumen total | | |
|--------------------------------|---------------------|--------|--------|
| | (a) | (b) | (c) |
| 1) Océanos | 97,39 | 93,93 | 97,2 |
| 2) Aguas Continentales: | | | |
| Casquetes polares y glaciares | 1,83 | 1,65 | 2,15 |
| Lagos | 0,0156 | 0,016 | 0,017 |
| Promedio del gasto de los ríos | 0,00002 | 0,0001 | 0,0001 |
| Agua subterránea total | 0,763 | 4,12 | 0,62 |
| Zona de raíces en el suelo | 0,00094 | 0,27 | 0,005 |
| 3) Aguas atmosféricas | 0,0011 | 0,001 | 0,001 |

INDICE

CAPITULO II

| | Pág. |
|---------------------------------------|------|
| Lectura de mapas o planos | 1 |
| Transformaciones de las escalas | 1 |
| Comparación de escalas | 3 |
| Curvas de nivel | 4 |
| Geomorfología | 5 |
| Cuenca | 7 |
| Trazado de divisorias | 8 |
| Medición del área de una cuenca | 9 |
| El planímetro. Su uso. | 10 |
| Lectura de un planímetro | 12 |

Lectura de mapas o planos.-

Escala.

Es el resultado de dividir las distancias que se miden en el mapa y las que les correspondan en el terreno:

$$\frac{\text{Distancia sobre el plano}}{\text{Distancia sobre el terreno}}$$

Supongamos que en el plano de un terreno leémos la escala y que esta sea 1:100.000, cuando medimos en el plano una distancia de un cm. corresponderá en el terreno a 100.000 cm. y si los pasamos a Kms. ese cm. que leímos corresponderá a 1 Km. en el terreno.

Todo plano debe tener una escala en forma de fracción en el margen y su relación de cm. a Km. o mts. queda al entender del usuario. También un plano puede tener en un borde una escala gráfica representada en una línea dividida en segmentos numerados, de gran utilidad cuando el plano se reduce porque ambos son afectados por el mismo proceso. Cuando se tiene una escala gráfica y se quiere utilizar, se puede recurrir a una hoja de papel de la cual se coloca uno de sus bordes sobre la distancia que se desea medir en el plano, la distancia marcada sobre el borde de la hoja se lleva sobre la escala gráfica y se lee directamente la distancia real. Figura 11-A.

Transformaciones de las Escalas.-

A veces es necesario pasar de una escala a otra, así tenemos los siguientes ejemplos:

- 1) Escala fraccionaria a unidades de longitud.

Representar la escala 1:200.000 en una fracción tal como cm. por kilómetro.

$$\frac{1}{200.000} = \frac{1 \text{ cm. sobre el mapa}}{200.000 \text{ cm. sobre el terreno}} = \frac{1 \text{ cm. sobre el mapa}}{2 \text{ Km. sobre el terreno}}$$

o sea 1 cm. por cada 2 Km.

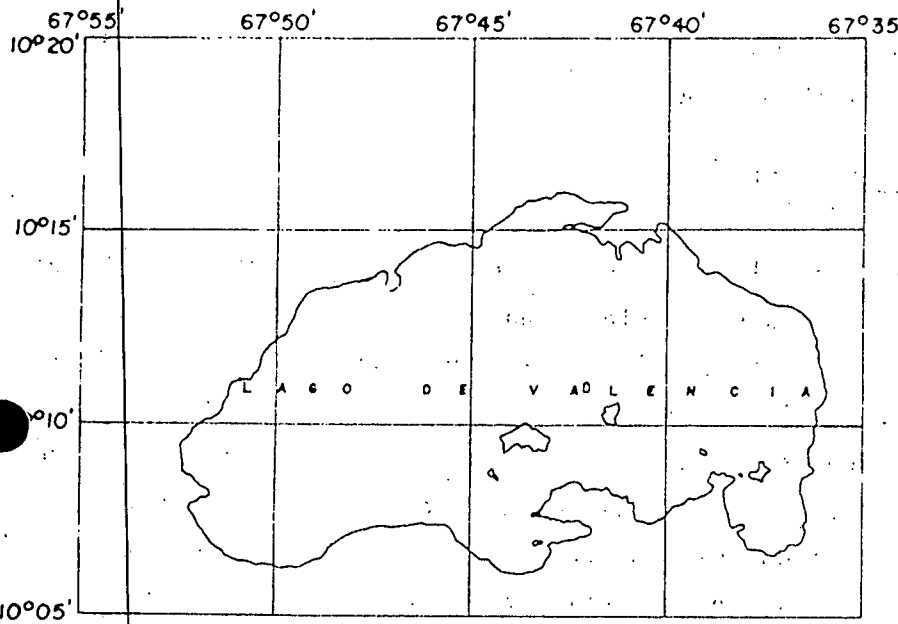


Diagrama de la situación relativa del Lago de Valencia.

0101 44 2 0 10 11

Ejemplo de escala gráfica.

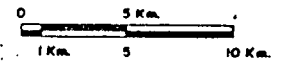


Figura II - A..

- 2) Caso contrario al anterior como sería leer la escala 1 cm. por 0,5 Km. en forma de fracción:

$$\frac{1 \text{ cm. sobre el plano}}{0,5 \text{ Km. sobre el terreno}}$$

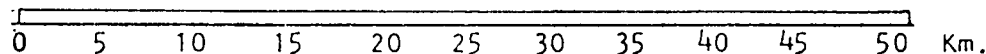
Como 1 Km. tiene 10^5 cm. queda:

$$\frac{1 \text{ cm. sobre el plano}}{0,5 \times 10^5 \text{ cm. sobre el terreno}} = \frac{1}{50.000}$$

- 3) Construcción de una escala gráfica.

Sea por ejemplo, construir una escala gráfica cuya representación corresponda 1 cm. por Km. Se traza un segmento cuya longitud sea, por ejemplo de 10 cm., dividida en pequeños segmentos de a cm. cada uno. Cada cm. representará 1 Km.

Si la escala gráfica que se quiere construir, es por ejemplo, 1 cm. por 5 Km. se divide el segmento en partes de 1 cm. de longitud cada uno y se marcaría:



Si la escala a construir fuese 1 cm. por 17 Km. las marcas en la gráfica se hará en base a una potencia de 10:

$$\frac{1 \text{ cm.}}{17 \text{ Km.}} = \frac{x \text{ cm.}}{10 \text{ Km.}} \quad x = \frac{10}{17} = 0,588 \text{ cm.}$$

Se dividirá el segmento en pequeñas partes de 0,588 cm. de longitud. Cada uno representará 10 Km.

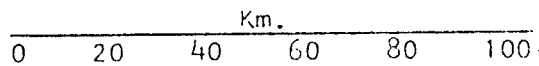
- 4) Escala fraccionaria a escala gráfica graduada en Km. Ejem.: 1:300.000 a escala gráfica graduada en Km.:

$$\frac{1 \text{ cm. sobre el plano}}{300.000 \text{ cm. sobre el terreno}} = \frac{1 \text{ cm.}}{3 \text{ Km.}}$$

$$\frac{1 \text{ cm.}}{3 \text{ Km.}} = \frac{x \text{ cm.}}{10 \text{ Km.}} \quad x = \frac{10}{3} = 3,333 \text{ cm.}$$

Se dividirá el segmento en pequeñas partes de 3,333 cm. de longitud. Cada uno representará 10 Km.

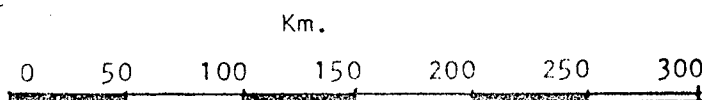
5) Dada la escala gráfica, obtener la correspondiente escala fraccionaria.



Con una regla graduada en mm. se lee la longitud entre segmentos. Aceptamos que en el Ejem. la distancia entre divisiones fue de 10 mm = 1 cm.

$$\frac{1 \text{ cm.}}{20 \text{ Km.}} = \frac{1 \text{ cm.}}{20 \times 10^5 \text{ cm.}} = \frac{1}{2.000.000}$$

Dada la escala gráfica, buscar la escala fraccionaria:



Aceptamos que la distancia entre divisiones fue de 20 mm = 2 cm.

$$\frac{2 \text{ cm.}}{50 \text{ Km.}} = \frac{2 \text{ cm.}}{50 \cdot 10^5 \text{ cm.}} = \frac{1}{2.500.000}$$

Comparación de escalas.-

Esta comparación se hace en base a sus respectivas fracciones.

Una escala 1:50.000 es dos veces mayor que una escala 1:100.000 y cuatro veces mayor que una 1:20.000, así como la mitad de la escala 1:25.000, ya que cuando se compara fracciones con igual numerador es mayor aquella que tenga menor numerador, así 1/4 es menor que 1/2, igual sucede con las escalas.

Clasificación de escalas

| límites de escalas: | nomiación |
|----------------------|-------------------|
| 1:600.000 y menores | pequeña escala |
| 1:599.999 - 1:75.000 | escala intermedia |
| superior a 1:75.000 | gran escala |

La topografía de un terreno es apreciable desde la escala intermedia y con detalle en los planos de gran escala que abarcarán poca superficie terrestre. Un mapa o plano de 37 cms. por 55,5 cm. de la Dirección de Cartografía Nacional con una escala de 1:100.000 (1 cm. por kilómetro) representará un área de 37 Km. por 55,5 Km., o sea un área real de 2.053,5 Km².

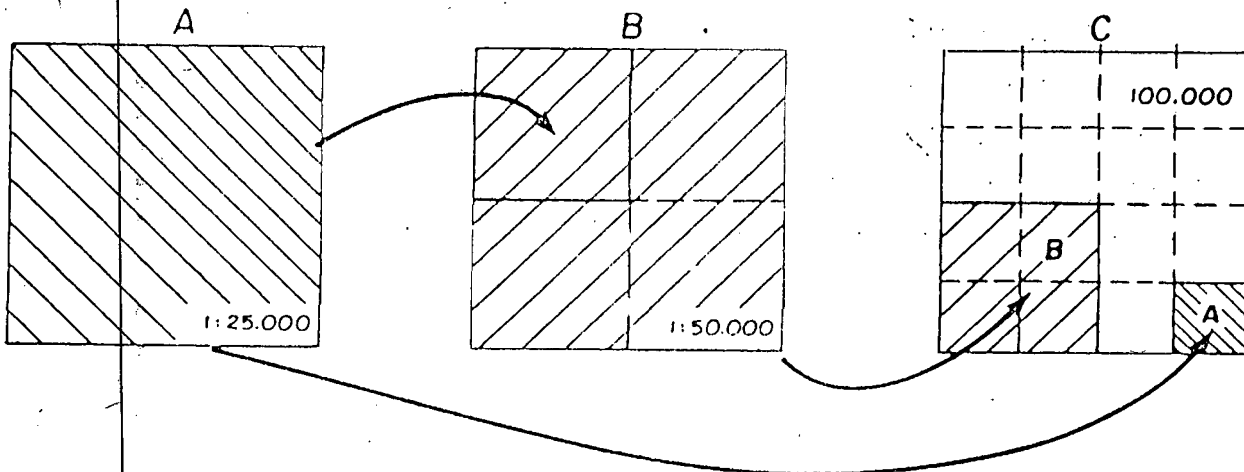
Para las comparaciones entre escalas y áreas, véase la Fig. N° II-B

Curvas de nivel.-

Para el estudio del relieve se utilizan los planos o mapas topográficos y las fotografías aéreas de acuerdo a ciertas técnicas que escapan a la intención de este trabajo.

Una curva de nivel es una línea imaginaria en el terreno que une a todos aquellos puntos que tienen la misma altura en relación a un datum o nivel de referencia. Estará separada una de otra de acuerdo a como haya sido confeccionado el plano. El conjunto de curvas de nivel en el plano da una idea de la configuración del terreno. La equidistancia entre -- curvas, que es la distancia vertical que separa a dos curvas sucesivas, será constante, pero la separación horizontal en un plano varía con la pendiente del terreno; si están muy próximas será que la pendiente es fuerte y a medida que se separan será menor, como se verá en la Figura N°. II-C

Para calcular la altura de un punto B se busca la curva de nivel que pase por ese punto; si no la hay se interpola entre las inmediatas más cercanas hasta conseguir la que pase por el punto y se lee la correspondiente curva de nivel, esa será su altura.



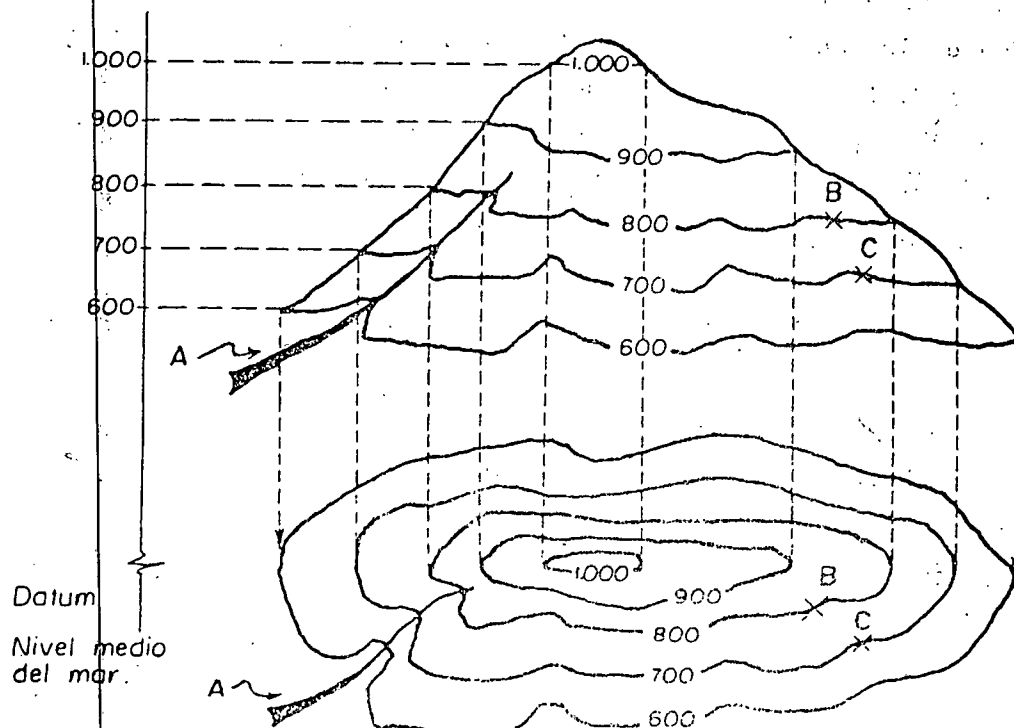
$$A = \frac{l}{(\Delta E)^2} \quad \left\{ \begin{array}{l} A = \text{área} \\ \Delta E = \text{variación de escala} \end{array} \right.$$

Ejemplo gráfico que ilustra que el área varía inversamente al cuadrado de variación de la escala :

El mapa A tiene una escala cuatro veces mayor que C y dos veces mayor que B y su área es la decimosexta parte de C y la cuarta de B.

El mapa B tiene una escala dos veces mayor que C y su área es la cuarta parte de la representada en C.

Figura III-B.



Datum

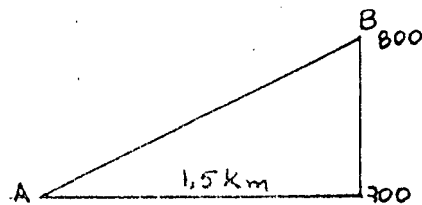
Nivel medio del mar.

Trazado de las curvas de nivel en un cerro y sus proyecciones sobre un plano.

A : Cabeceras de un curso de agua.

Figura II-C.

Para calcular la pendiente entre los puntos B y C, se mide la distancia entre ambos puntos con la ayuda de una regla graduada o un escalímetro, preferiblemente. Aceptemos que esa distancia sea de 1,5 cm. y que la escala del plano donde están las curvas de nivel en el cual se midió la distancia sea de 1:100.000. El valor 1,5 cm. es igual, según la escala, a 1,5 Km. Como en la figura II-C los puntos coinciden con las curvas de niveles 800 m. y 700 m. su diferencia, 100 mts. será la distancia vertical que separa a los dos puntos, luego podemos calcular la pendiente:



pendiente entre los puntos A y B

$$\text{pendiente} = \frac{100 \text{ mts.}}{1,5 \text{ Km.}} = 66,67 \frac{\text{m}}{\text{Km.}}$$

GEOMORFOLOGIA.

Es el estudio sistemático de las formas de relieve de la tierra en relación con su origen y estado de desarrollo y depende de la interacción del clima y la geología.

Hay dos tipos de relieves: los iniciados, que fueron formados por el levantamiento de la corteza terrestre debido a fuerzas endógenas, y los relieves secuenciales que son los anteriores modificados por agentes de la denudación (cursos de agua, oleaje, hielo, vientos y lluvias).

El paisaje es una pugna entre las fuerzas internas de la tierra y las externas que lo van modificando o modelando.

La medida de la forma del relieve se llama morfometría y se llama morfometría fluvial a la medida de las propiedades geométricas de la superficie sólida de un sistema de erosión fluvial.

Los relieves difieren unos de otros, pero los componentes básicos que integran las formas complejas son parecidos y pueden analizarse y clasificarse.

Los elementos básicos de un paisaje de erosión fluvial son:

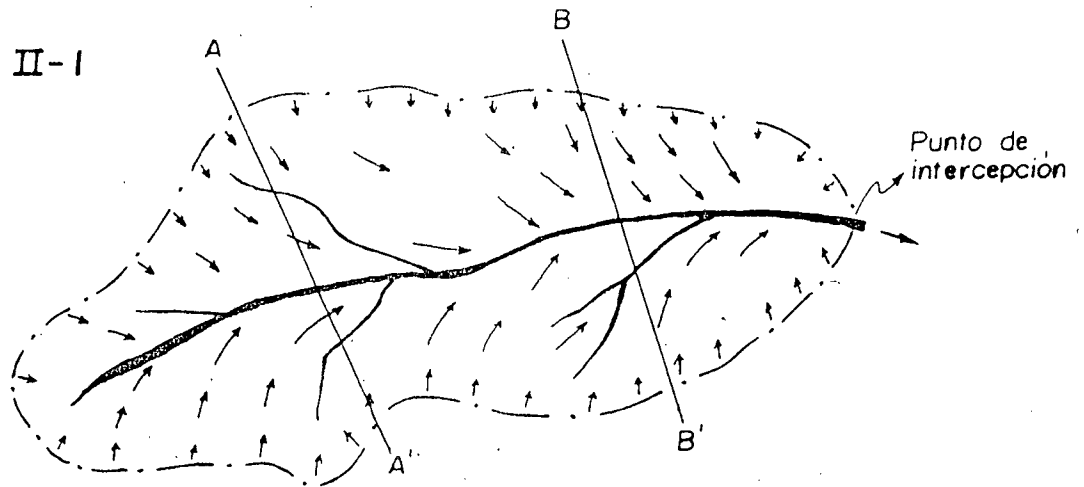
- a) Las propiedades lineales de la red fluvial (longitudes y combinaciones de segmentos lineales). Las cuales se analizan en la proyección de la red en un plano horizontal.
- b) Las propiedades superficiales de la cuenca de drenajes (área superficial y descripción de contornos), las cuales son también un estudio planimétrico (proyección sobre un plano horizontal).
- c) Las propiedades del relieve. El relieve se refiere a las alturas relativas de las líneas y las superficies con respecto a la base horizontal de referencia, es la dimensión vertical del paisaje. Entre las propiedades estarían la altura de un punto con respecto a un datum; diferencia entre dos puntos; los gradientes o pendientes tanto de los cauces como de las superficies topográficas.

La estructura física de un sistema de escurrimiento superficial puede ser observado y estudiado así como la evolución de las formas topográficas a partir de los mismos procesos geológicos, con iguales materiales expuestos a climas similares y se concluirá que tienen un grado de similitud geométrica que permite la clasificación y cierta generalización.

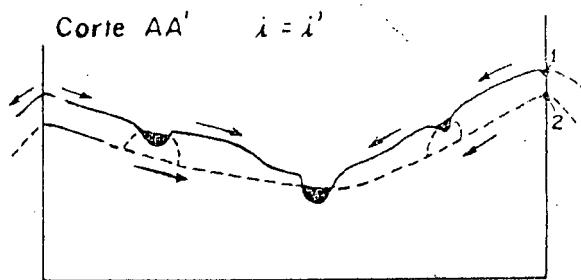
La estructura física de los sistemas de escurrimiento subterráneo no es visible, pero también es de esperarse un grado de similitud geológica en las propiedades del subsuelo de aquellos sistemas que muestran semejantes propiedades geométricas en la superficie.

Los sistemas de drenaje o de escurrimiento son los sistemas físicos abiertos en los cuales a través de sus superficies limítrofes (contornos) ocurren aportes y salidas de materiales como precipitación, escurrimiento y transporte de sedimentos. En el caso del escurrimiento superficial el aporte es la precipitación y la salida se canaliza en la corriente fluvial con el arrastre de minerales. Ver Figura 11-1.

Figura: II-1



El tamaño de las flechas indican la variación del gradiente.

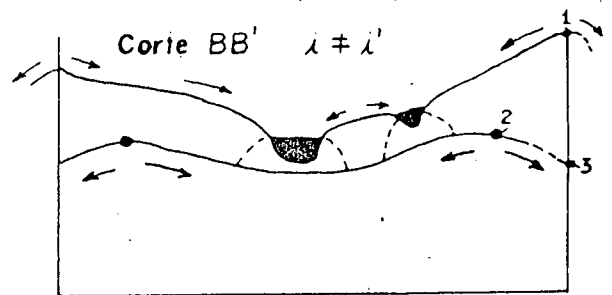


$$\lambda = \frac{\partial h}{\partial x} = 0$$

①

$$\lambda'' = \frac{\partial h_s}{\partial x} = 0$$

②



$$\lambda = \frac{\partial h}{\partial x} = 0$$

①

$$\frac{\partial h_s}{\partial x} = 0$$

②

$$\lambda'' = \frac{\partial h_s}{\partial x}$$

③

λ = gradiente del flujo superficial

λ'' = gradiente del flujo subsuperficial.

Un sistema de drenaje es un conjunto de pequeñas cuencas, cada una de las cuales se ajusta en tamaño y forma a la magnitud del canal natural a la que es tributaria. Cuando escurre superficialmente el agua proveniente de las precipitaciones ayudada por la topografía del terreno se va abriendo camino y deja a su paso un pequeño zurco que con el tiempo se va ampliando, ese zurco se une a otro y así sucesivamente para formar una red de drenaje. Esos zurcos llegan a ser riachuelos con una área receptora cada vez mayor, y el cauce que recibe el aporte de otro va creciendo en caudal y longitud.

Figura II-2

Los parámetros físicos que gobiernan el comportamiento dinámico de los sistemas tienen cambios temporales que pueden variar en corto plazo como la humedad y permeabilidad del suelo y en largo plazo (tiempo geológico) como aquellas propiedades morfológicas tales como dimensiones y topografía que se consideran como constantes.

El sistema de drenaje superficial se llama cuenca receptora. El límite de esa cuenca es la línea en donde el gradiente de energía es nulo. Allí una gota de agua sigue la dirección que le impone la pendiente topográfica local. El límite de la cuenca receptora es una curva cerrada sobre la superficie del terreno que corta al cauce principal en un punto seleccionado tal que el escurrimiento superficial producto de una precipitación dentro del área demarcada por el límite sale en un flujo concentrado en ese punto de intercepción.

Los límites de los sistemas de drenajes superficiales y subterráneos no tienen necesariamente que coincidir en área proyectada sobre un plano horizontal, ver Figura N° II-1.

En el corte AA¹ se observa la coincidencia de los sistemas de drenaje y en el BB¹ la no coincidencia.

Cuenca. -

La cuenca vertiente en un punto de intercepción sobre un cauce o curso de agua se define como la totalidad de la superficie topográfica dre-

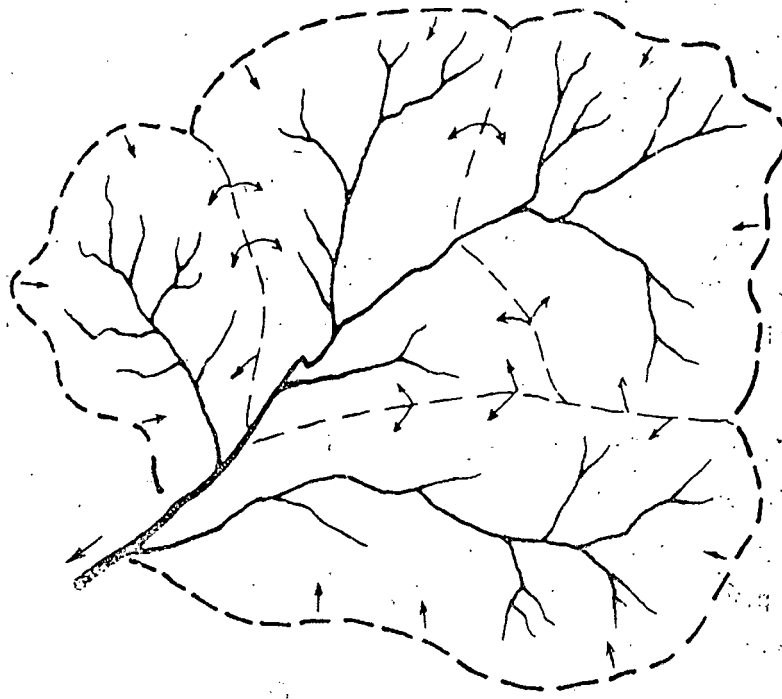


Figura: II-2 _ Ejemplo de un sistema de drenaje. Observe la gran semejanza con la hoja de una planta (El borde de la hoja es el perímetro de la cuenca, la nervadura el sistema de drenaje.)

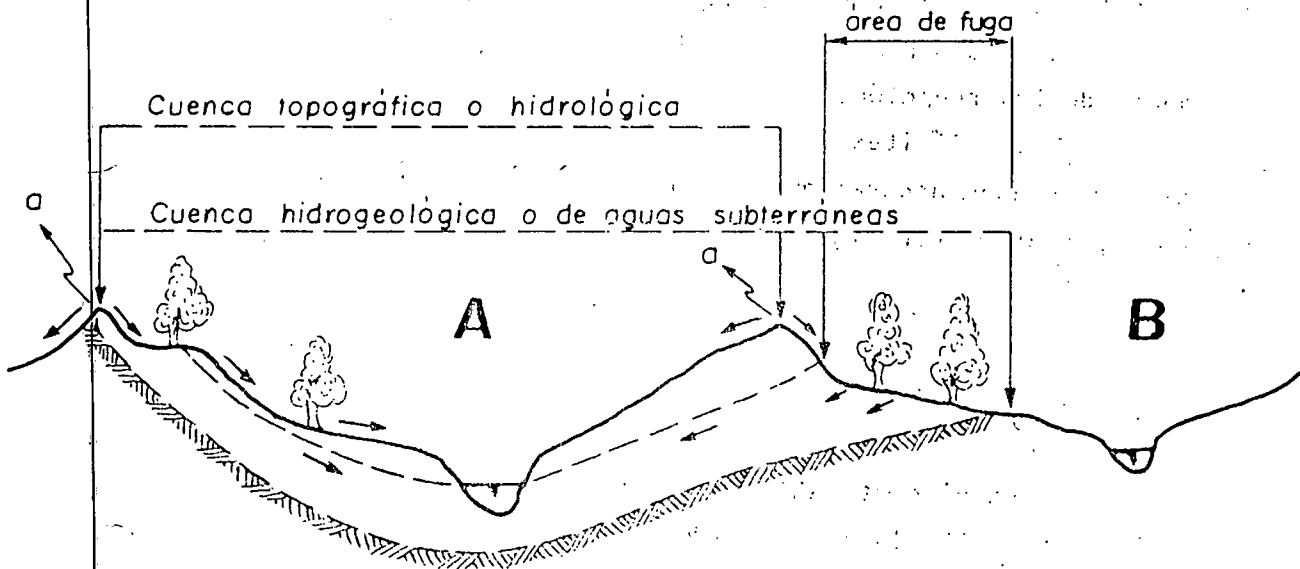


Figura: II-3. _ a) Línea que separa las aguas superficiales : parteaguas.

nada por ese curso de agua y sus afluentes aguas arriba de ese punto. Todos los escurrimientos deben pasar por ese punto para continuar aguas abajo.

La forma plana de la cuenca receptora es la figura que se obtiene al proyectar el perímetro de la cuenca receptora sobre un plano horizontal. El área encerrada por el perímetro se llama área receptora.

El límite de la cuenca se llama divisoria o perímetro, también se le llama parteaguas porque se trata de una línea de separación que divide las aguas provenientes de las precipitaciones y dirige el escurrimiento superficial hacia una u otra red fluvial. Cada cuenca está separada de las vecinas por una línea de compartimiento de las aguas.

La divisoria o contorno de la cuenca queda definida topográficamente por la línea que pasa por la cresta del relieve. Es posible que la cuenca de aguas subterráneas no coincida con la cuenca topográfica o hidrológica como se señala en el corte BB de la Figura N° 11-1 y se esquematiza en la Figura N° 11-3.

Tratándose de grandes áreas se admite que la cuenca hidrológica coincide con la cuenca de aguas subterráneas, esta simplificación se debe a la dificultad en determinar la divisoria de las aguas subterráneas, lo cual puede conducir a grandes errores cuando se trate, sobre todo, de cuencas pequeñas y de material altamente permeable.

La no coincidencia de los límites origina una área de filtración, fuga o escape de la cuenca B hacia la A, o de captura de la A.

Trazado de Divisorias.-

Antes de limitar la cuenca es recomendable destacar con un color azul fuerte al río y a sus afluentes para así tener una visión más clara del perímetro.

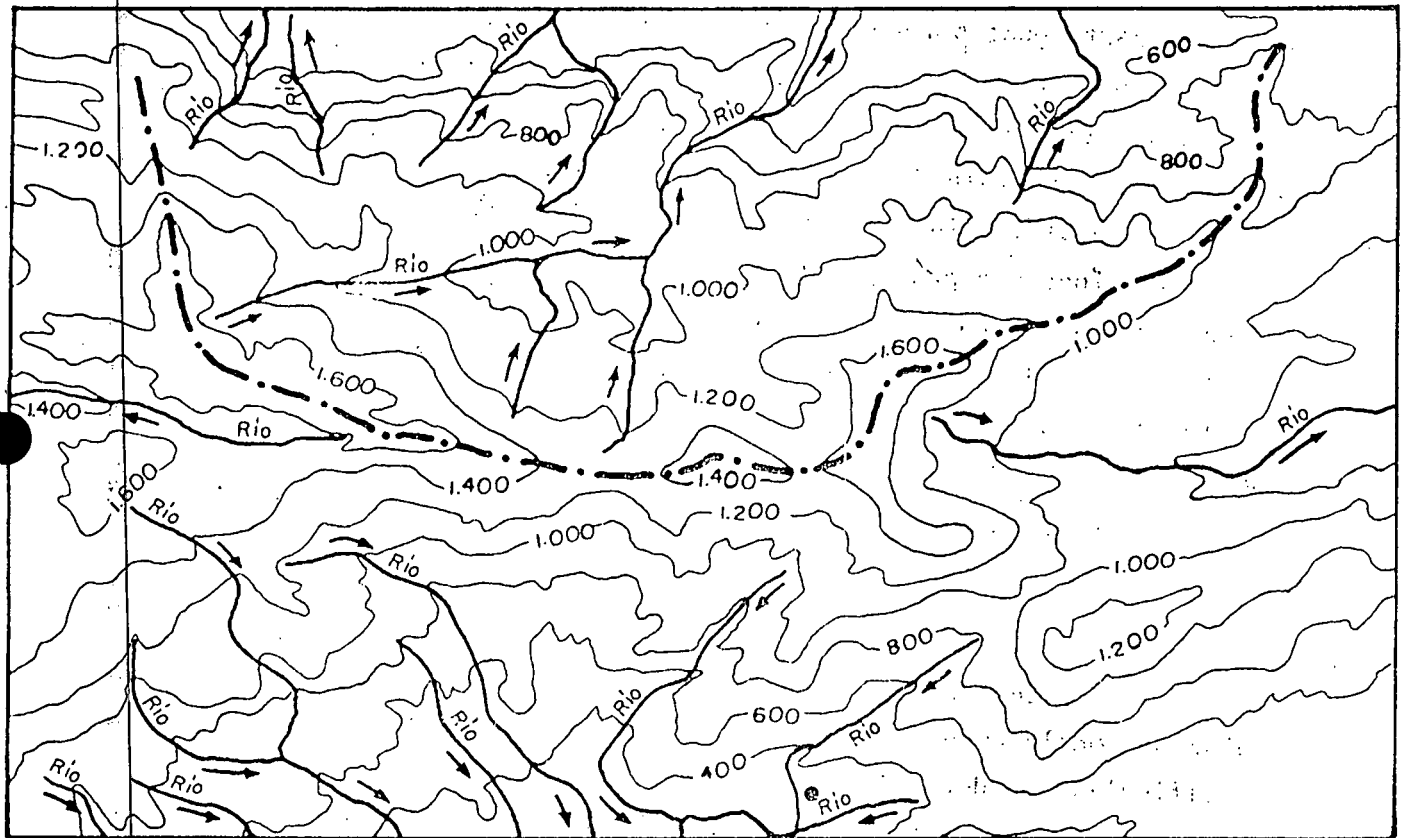
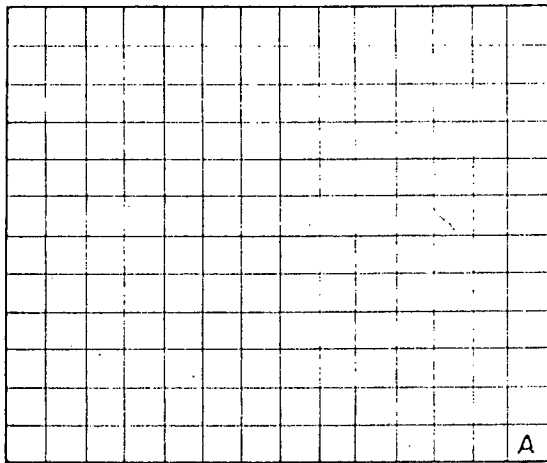
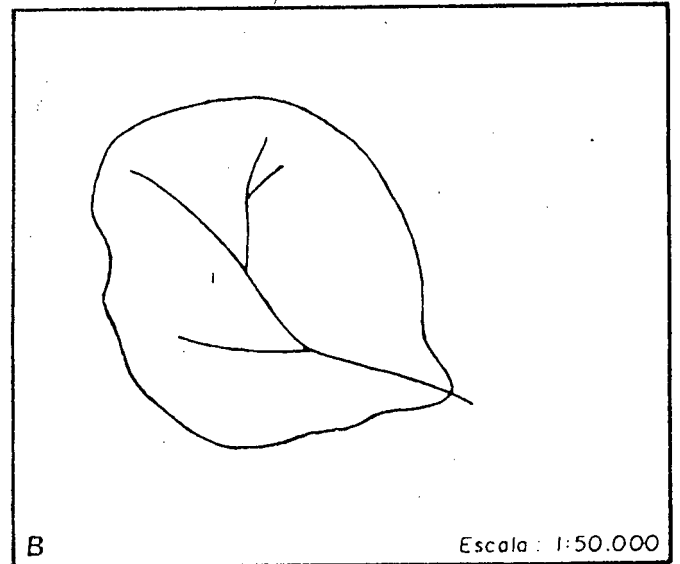


Figura : II-4.- Ejemplo de trazado de la divisoria topográfica . Obsérvese la aplicación enunciada.
 Las líneas enumeradas representan curvas de nivel.
 La línea fraccionada (— · — · —) representa la divisoria.
 Las flechas indican el sentido del flujo de los cauces.

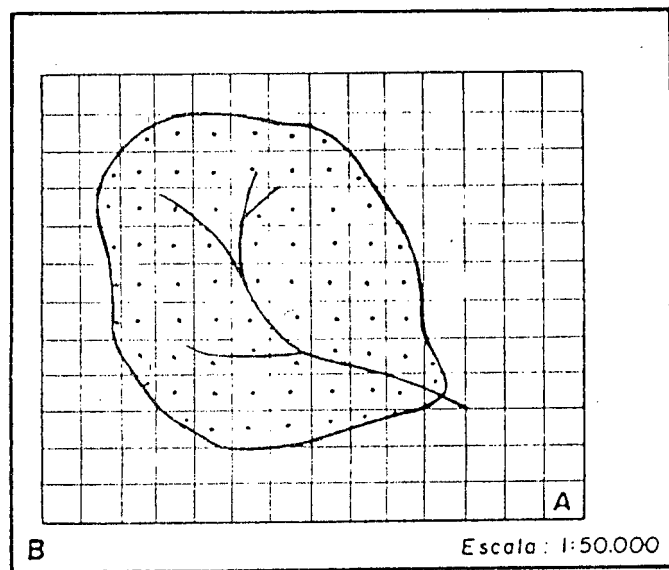


Cuadrícula

Asumamos que cada cuadro tenga un cm por lado



Cuenca de drenaje superficial limitada.



Solapamiento de cuadrícula sobre cuenca de drenaje.

Figura: II-5 .- Cálculo del área de una cuenca mediante la utilización de una cuadrícula.

Regla práctica para el trazado de la divisorias topográficas:

- 1) La línea divisoria debe cortar a las curvas de nivel lo más perpendicularmente posible.
- 2) Cuando la divisoria aumenta su altitud, corta a las curvas de nivel por su parte convexa y cuando su altitud va disminuyendo las corta por su parte cóncava.
- 3) El punto de intersección de un plano normal a la divisoria debe dar el punto de mayor altitud del terreno.
- 4) La línea divisoria nunca debe cortar a un río, arroyo o vaguada, excepto en el punto de cierre del contorno a partir del cual limitamos la cuenca.

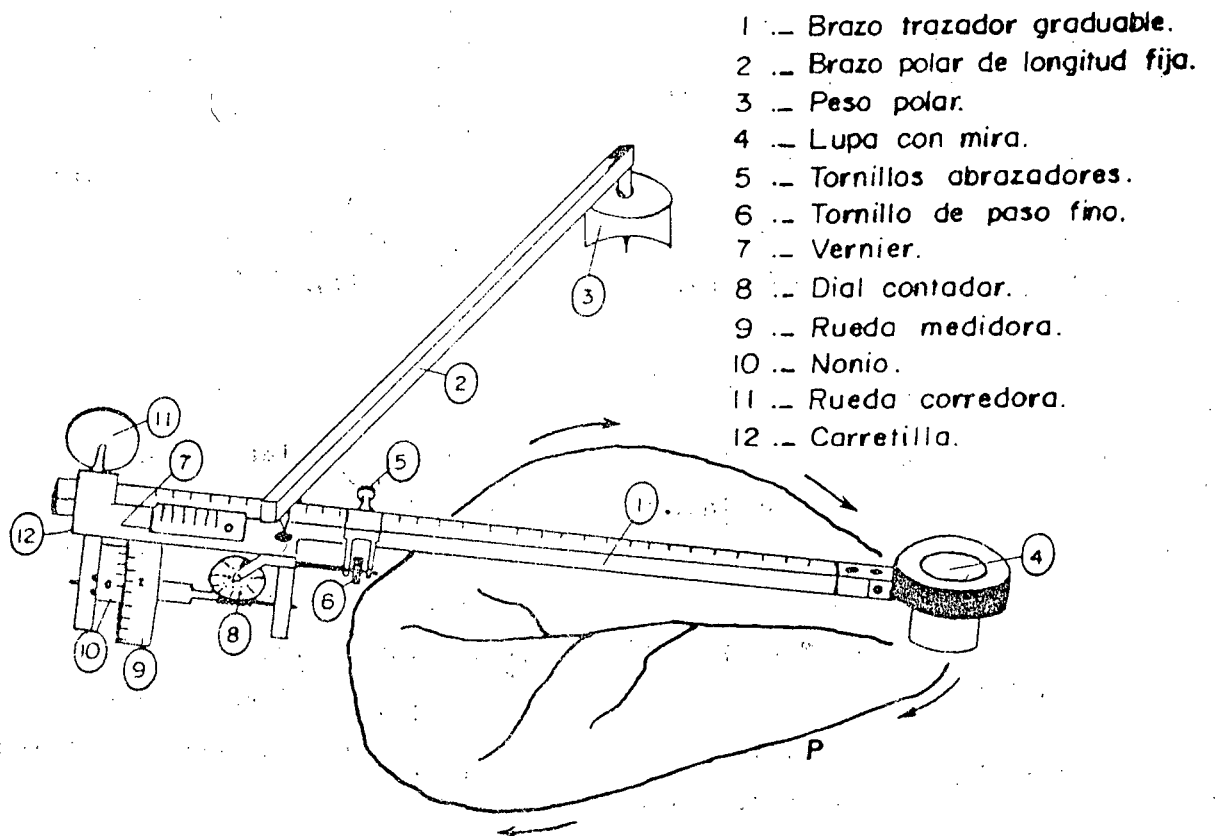
Medición del área de una cuenca.-

La cuadrícula. Su uso.

Una vez trazado el perímetro de una cuenca, el área que este limita se puede obtener si se le solapa con un cuadrículado transparente. Se cuenta el número de cuadros que quedan dentro de la cuenca. Cada cuadro tiene un área que llevado a la escala del plano donde está la cuenca se obtiene el área buscada, como se indica en la Figura N° 11-5.

En esa figura se tiene un papel cuadrículado transparente A y una cuenca de drenaje superficial B a la cual se le quiere calcular el área.

A la cuenca B se le solapa el papel cuadrículado como se indica y con cuidado se lee el número de cuadro enmarcados dentro del perímetro de la cuenca (los cuadros incompletos se tratan de completar con alguno o algunos otros, también incompletos que sumen el área de un cuadro o que dé al menos una fracción).



- 1 ... Brazo trazador graduable.
- 2 ... Brazo polar de longitud fija.
- 3 ... Peso polar.
- 4 ... Lupa con mira.
- 5 ... Tornillos abrazadores.
- 6 ... Tornillo de paso fino.
- 7 ... Vernier.
- 8 ... Dial contador.
- 9 ... Rueda medidora.
- 10 ... Nonio.
- 11 ... Rueda corredora.
- 12 ... Carretilla.

Figura : II-6..

P = Perímetro de la cuenca.

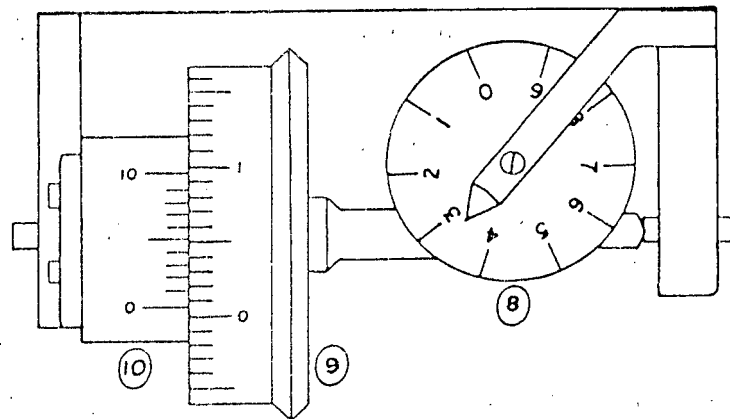


Figura : II -7 .. Ampliación del sistema de lectura .

- 8 ... Dial contador o escala movil.
- 9 ... Rueda medidora o escala movil.
- 10 ... Nonio o escala fija.

Supongamos que la cantidad de cuadros fue de 62. Como la escala de la cuenca es de 1:50.000 se procede como sigue:

$$\frac{1}{50.000} = \frac{1 \text{ cm.}}{50.000 \text{ cm.}} = \frac{1 \text{ cm.}}{0,5 \text{ Km.}}$$

Cada cuadrado de la cuadrícula A tiene un cm. por lado, significa que cada uno tiene un área de $0,5 \text{ Km.} \times 0,5 \text{ Km.} = 0,25 \text{ Km}^2$. Por lo tanto, el área buscada de la cuenca será: $62 \times 0,25 \text{ Km}^2 = 15,5 \text{ Km}^2$.

El planímetro. Su uso.-

Este aparato fué inventado por el profesor Amesler en 1856.

El planímetro es un instrumento con el cual se obtienen áreas.

Consta de un brazo trazador que termina en una lupa que tiene impresa una mira, señal o punto trazador, la cual se hace coincidir con el perímetro de la cuenca la que se recorre, generalmente en el sentido de las agujas del reloj, para volver de nuevo al punto inicial. El brazo está conectado a un dispositivo llamado carretilla que contiene unas escalas de donde se obtienen las lecturas que permitirán calcular el área.

Este dispositivo está articulado a un brazo polar que puede girar alrededor de un peso llamado polo que termina en un estilete el cual se hincó en el material del plano para fijarlo, por esta razón a este planímetro se le llama polar.

Ver Figura N° 11-6.

El área A planimetrada se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$A = KN \dots\dots\dots 11-1$$

Donde:

K = constante del planímetro, que variará de un planímetro a otro, y en uno en particular si se varía la longitud del brazo.

N = es un número que se obtiene por diferencias de lecturas: la inicial de partida menos la final del recorrido cuando se retorna al punto inicial. Es deseable, en beneficio de la exactitud, que el valor de N sea el promedio de tres diferencias de lecturas, ya que de esta forma se tiene una idea del rango de las lecturas.

Si son parecidas las diferencias se concluye que no hay error; si alguna de ellas se diferencia de las otras dos se descarta y habrá que hacer nuevas lecturas en procura de uniformidad de diferencias.

Para calcular la constante K se despeja de la fórmula 11-1:

$$K = \frac{A}{N} \dots\dots\dots 11-2$$

Se lee la escala del plano topográfico. Sea por ejemplo, 1:100.000; lo que quiere decir que una unidad en el plano significan 100.000 unidades en el terreno real. Un centímetro medido en el plano con esa escala representa un Km. en el terreno. Si en ese plano se hace un cuadrado que tenga 5 cm. de lado, su área será de 25 Km². Con la mira del planímetro se parte de una de las esquinas del cuadrado y se lee la lectura inicial l_1 , sea cual fuere, no hay necesidad de forzar al instrumento para buscar una lectura cero de partida, aunque los hay que, mediante un dispositivo especial que traen, las lecturas de partida se pueden poner en cero a voluntad del usuario. Se recorre con la mira de la lupa todo el perímetro del cuadrado hasta regresar al punto de partida. Al llegar hasta allí, no se debe mover el planímetro. Se hace la lectura final l_2 , con esa misma lectura l_2 se arranca para un segundo recorrido y obtenerse otra lectura l_3 , se repite una vez más el proceso para otra lectura l_4 . Siempre se debe seguir el mismo sentido en el recorrido. El promedio de las diferencias de las consecutivas lecturas dará el valor de N como se señala en la Tabla 11-1.

T A B L A 11-1

| Inicial | Lecturas final | Diferencias |
|---------|----------------|-------------------|
| l_1 | l_2 | $l_2 - l_1 = N_1$ |
| l_2 | l_3 | $l_3 - l_2 = N_2$ |
| l_3 | l_4 | $l_4 - l_3 = N_3$ |

$$N = \frac{\sum_{i=1}^{i=3} N_i}{3} \dots\dots 11-3$$

Las diferencias de lecturas N_i deben ser muy parecidas. (A la lectura mayor se le debe restar la lectura menor).

El valor de N obtenido se lleva a la expresión 11-2 y se tendrá el valor de la constante K., ya que el área se conoce, en este ejemplo es de 25 Km².

Conocida K, para ese planímetro en particular y para una longitud determinada del brazo trazador, se trabaja con la cuenca ya limitada y se repite el mismo procedimiento ya trazado. El brazo trazador debe moverse con comodidad sobre el plano en el cual se tiene limitada la cuenca. En ningún momento debe desplazarse fuera del papel del plano para que el roce que ofrece el material del plano sea el mismo. Debe evitarse también ángulos demasiados agudos o demasiados llanos.

Si el punto trazador de la lupa no alcanza a recorrer a todo el perímetro de la cuenca, esta se divide en secciones que sí permitan fáciles recorridos, luego se sumarán las áreas parciales logradas mediante este procedimiento para obtener el área de la cuenca.

Generalmente el peso polar se sitúa fuera del área que se desea mensurar o medir como se ilustra en la Figura N° 11-6, pero para áreas mayores el peso polar puede fijarse dentro del contorno o delineación del área.

En el caso de que no se quiera medir una sección de una área, la mira de la lupa trazadora debe partir y regresar sobre la misma línea que une al área interior de la exterior como se indica en la Figura N° 11-8. En esta figura se señala que se parte del punto X y se regresa al mismo siguiendo el sentido de las agujas del reloj. Una vez de nuevo en el punto X se barre el perímetro del área no deseable en sentido contrario y retorna una vez más al punto X, donde se concluye que el planímetro es un integrador de áreas unas veces suma y otras veces resta. Si el usuario no tuviese errores instrumentales, técnicos u operacionales cuando trabaja, al recorrer un perímetro en un sentido y en el otro sentido a continuación, sus lecturas inicial y final debieran de ser la misma, teóricamente. Si no hubiese errores operacionales la diferencia de lecturas indicaría el error del planímetro.

Lectura de un planímetro.

Cada cifra se lee en el dial respectivo, así se tiene:

La lectura tendrá cuatro cifras: (a)(b)(c)(d)

(4^o)(3^o)(2^o)(1^o)

La cuarta posición: 1.000 a 9.000 en el dial
contador (a)

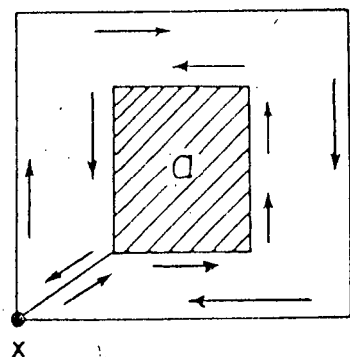
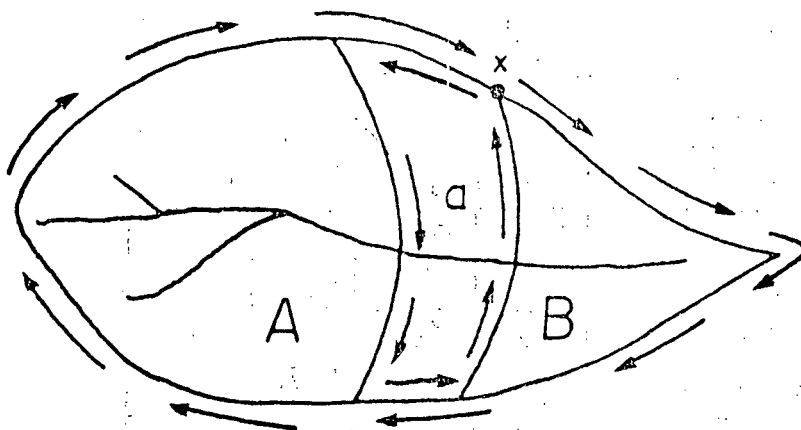
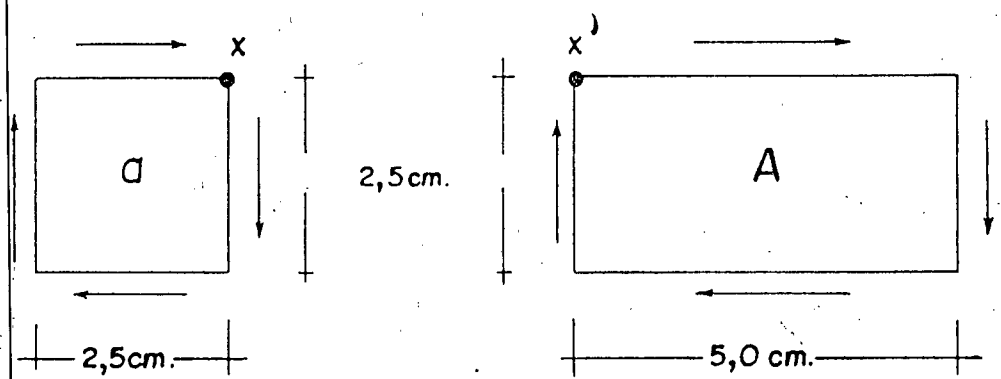


Figura: II-8

$A+a+B =$ Area de la cuenca.

$a =$ Área que no interesa medir.

$x =$ Punto de partida y de regreso.



$a = 2,5 \text{ cm} \times 2,5 \text{ cm} = 6,25 \text{ cm}^2$
 $a = 6,25 \text{ Km}^2$

$A = 5,0 \text{ cm} \times 2,5 \text{ cm} = 12,5 \text{ cm}^2$
 $A = 12,5 \text{ Km}^2$

Figura: II-9

Tabla: a

Tabla: A

| Lecturas | | DIFERENCIAS |
|---------------|---------------|--|
| Inicial | Final | |
| l_1 5055 | l_2 5115 | $l_2 - l_1 = N_1 = 60$ |
| l_2 5115 | l_3 5176 | $l_3 - l_2 = N_2 = 61$ |
| l_4 1518 | l_5 1572 | $l_5 - l_4 = N_3 = 54$ (Descartada) |
| l_5 1572 | l_6 1630 | $l_6 - l_5 = N_4 = 58$ |

| Lecturas | | DIFERENCIAS |
|---------------|---------------|-------------------------|
| Inicial | Final | |
| l_1 0435 | l_2 0557 | $l_2 - l_1 = N_1 = 122$ |
| l_2 0557 | l_3 0679 | $l_3 - l_2 = N_2 = 122$ |
| l_3 0679 | l_4 0802 | $l_4 - l_3 = N_3 = 123$ |
| | | |

$N = \frac{N_1 + N_2 + N_4}{3} = \frac{179}{3} = 59,7 \text{ vueltas.}$

$N = \frac{N_1 + N_2 + N_3}{3} = \frac{367}{3} = 122,3 \text{ vueltas}$

$A = K \cdot N$
 El área a del cuadrado es conocido y el promedio de sus diferencias de lecturas también. De la fórmula II-2 se obtiene K :

$K = \frac{a}{N} = \frac{6,25}{59,7} = 0,105 \frac{\text{Km}^2}{\text{vueltas}}$

El área A a buscar será (aplicando fórmula II-1):

$A = K \times N = 0,105 \times 122,3 = 12,8 \text{ Km}^2$

$A = K \times N = \frac{\text{Km}^2}{\text{vueltas}} \times \text{vueltas}$

I N D I C E

C A P I T U L O . I I I

| | Pág. |
|---|------|
| Infiltración | 1 |
| Mecánica de la infiltración | 1 |
| Factores de la infiltración | 2 |
| Intersticios, espacios u oquedades del terreno | 5 |
| Tipos de agua en el suelo | 5 |
| Repartición del agua en el suelo y en el subsuelo | 7 |

C A P I T U L O VII

INFILTRACION Y ASPECTOS DE LA FISICA DEL FLUJO DE AGUA A TRAVES DE MEDIOS POROSOS

infiltración.

El conocimiento de la infiltración facilita al hidrólogo estimar la cantidad de escurrimiento originada por precipitación y poder aplicar - los resultados a los proyectos. La comprensión de las propiedades físicas del suelo y las mediciones que en él se practican permiten definir la oportunidad de riego, la cantidad de agua que debe ser aplicada y considerar - las pérdidas en canales de riego cuando no están revestidos.

R.E. Horton introdujo en 1933 el concepto de infiltración en el ciclo hidrológico.

Mecanismo de la infiltración.

Cuando la lluvia cae sobre el suelo, humedece a la vegetación o al suelo desnudo. Al quedar la cobertura superficial completamente mojada, la lluvia subsiguiente penetra la capa superficial, si es permeable, o escurre, si no lo es. Si la capa superficial es porosa, el agua se infiltra. Infiltración es el proceso por el cual el agua, proveniente de las precipitaciones, penetra la superficie del suelo.

Hay una intensidad máxima de penetración del agua en el suelo en un punto dado y en condiciones dadas, que Horton llamó capacidad de infiltración, se mide en mm/hora o en pulgadas/hora y es la altura de una lámina de agua uniforme sobre el terreno que éste es capaz de absorber en una hora. Se representa por f_p .

La intensidad de infiltración real, f_i , de un suelo será igual a su capacidad de infiltración, f_p , cuando la intensidad de la lluvia, i , - iguala o exceda la magnitud de f_p , y se producirá escorrentía superficial, ya que la lluvia cae con más intensidad de la que es capaz de absorber el terreno. Esa intensidad de exceso de lluvia (intensidad de lluvia menos - la intensidad de retención, la que no llega al suelo por quedarse entre -- las plantas o porque se evapora), se llama intensidad de lluvia efectiva, $f_e = i$ si $i \leq f_p$.

Factores de la infiltración.

La infiltración es función de la precipitación y depende de factores hidrogeológicos e hidrometeorológicos.

Factores hidrogeológicos. El suelo y el subsuelo cumplen un papel importante en la infiltración debido a su permeabilidad y grado de humedad cuando ocurre la precipitación, así como las formas de cultivo y el tipo de trabajo agrícola por las modificaciones estructurales que originan. Entre estos factores se contemplan la proporción de coloides y arcillas - que contiene el suelo y profundidad y espesor de las capas permeables.

La permeabilidad es una función de la porosidad, estructura e -- historia geológica del material. Con estructura se quiere decir tamaño, - distribución, orientación, colocación y forma de las partículas.

La permeabilidad se refiere a la propiedad de los suelos y otros medios porosos de permitir el paso de los fluidos. La conductividad hidráulica es la velocidad de filtración en medios saturados con un gradiente unitario de energía. La permeabilidad depende exclusivamente del medio, en cambio la conductividad hidráulica depende no sólo de las características del suelo sino también del fluido. Entre las características del medio (suelo) se tiene la geometría del espacio poroso, y entre las características del fluido que afectan la conductividad se tienen la densidad y viscosidad.

La porosidad de un terreno se define como la relación de volumen de huecos al volumen total de terreno que los contienen. Depende de un --

gran número de factores como la naturaleza físico-químico del terreno, granulometría de sus componentes (tamaño y forma), grado de cementación, efectos de disolución, meteorización, etc.

De acuerdo a la superficie del suelo interviene la morfología y el manto vegetal. La pendiente y forma del relieve influye no solo en la infiltración sino también en el escurrimiento. La entrada de agua en la superficie es afectada por la naturaleza, tipo y cantidad de la cobertura vegetal. La vegetación absorbe la energía de las gotas de lluvia y protege el suelo de la dispersión. Entre estos factores se puede incluir la composición química del agua y las propiedades físicas del suelo como tamaño de las partículas y poros.

Factores hidrometeorológicos. Se tiene a la pluviometría que condiciona el volumen de agua infiltrada por su cantidad total, duración, intensidad y carácter (nieve, granizo, lluvia) y a la temperatura.

La infiltración se produce por la acción combinada de las fuerzas de gravedad y de atracción molecular. Cuando la humedad del suelo es muy poca y una gota de agua de lluvia toca la superficie del terreno, las fuerzas moleculares de éste la atraen y hacen que se absorba rápidamente. En ese instante el peso de la gota de agua tiene escasa importancia. A medida que se va humedeciendo la superficie del terreno, va perdiendo intensidad la atracción molecular y ocurre la infiltración debido a la atracción gravitatoria. En la primera parte no cuenta mucho la permeabilidad debido al desequilibrio de humedad del suelo, pero en la segunda parte es la permeabilidad quien determina la velocidad de penetración de agua. El agua infiltrada va a reconstituir el almacenamiento de humedad del suelo.

La trayectoria que siguen las aguas infiltradas en busca de las reservas subterráneas se llama percolación, la cual es una circulación sin fijación.

Según Laplace, cada molécula de agua es atraída por sus vecinas dentro del límite de una esfera de influencia, más allá de la cual las atracciones no son apreciadas.

El agua infiltrada desaloja el aire que está entre los poros por donde pasa. En este trayecto la molécula de agua está sujeta a un campo de fuerzas desequilibrado, pues su superficie es atraída por las moléculas de agua vecinas, y las moléculas de aire, lo que origina la tensión superficial en la superficie de separación aire-agua.

La tensión superficial se debe a las fuerzas moleculares de atracción que aparecen en la superficie de contacto de dos fluidos que no se mezclan como el agua y el aire. Esta tensión superficial y la atracción entre las moléculas del material del suelo es lo que rige la capilaridad, la cual es la síntesis de la atracción molecular. Por eso se dice que el movimiento de las aguas infiltradas está influenciado o activado por dos tipos de fuerzas, las de gravedad y las de atracción molecular o capilaridad, que actúan en dirección vertical para causar la percolación. Las fuerzas capilares actúan también para desviar lateralmente el agua -- desde los poros más grandes a los espacios capilares que dejan los poros y que pueden ser más numerosos. El agua que percola es detenida finalmente por la presencia de una barrera impermeable como roca o arcilla, para formar el agua de los acuíferos.

Aquellas formaciones geológicas, situadas por debajo de la superficie del suelo que son capaces de almacenar y transmitir el agua a través de sus espacios intersticiales y suministrarla en cantidades como para ser económicamente explotables se llaman acuíferos.

Los impactos de las gotas de agua sobre la superficie del terreno tienen un efecto sellador superficial como resultado de la acción mecánica de las gotas de lluvia que rompen los agregados del suelo y arrastran hacia adentro sus partículas superficiales muy finas, lo cual da como resultado una reducción de la intensidad de infiltración.

En el proceso de infiltración incluye funciones de almacenamiento y transmisión de agua. La intensidad de infiltración de un suelo puede regirse por los siguientes procesos.

- 1) Entrada de agua en el capa superficial del suelo.

- 2) Movimiento descendente o percolación de agua a través del perfil del suelo.
- 3) Flujo por grietas profundas en el perfil.

Intersticios, espacios u oquedades del terreno.

En el suelo el agua es conducida y contenida por sus intersticios. Las características de ellos, forma, volumen y orientación, influyen en el comportamiento del agua. Los intersticios pueden ser desde cavernas en terrenos calizos o volcánicos hasta microscópicos como los de las arcillas -- compactas.

Los intersticios se clasifican en dos grupos:

- 1) los de origen, que se formaron al mismo tiempo que el material que los contienen.
- 2) los secundarios, con un origen posterior e independiente del material que los contienen.

Tipos de agua en el suelo.

El material de un suelo puede tener distintos tipos de agua, que pueden agruparse en tres grandes categorías:

- 1) Agua de retención
- 2) Agua capilar
- 3) Agua gravífica.

Agua de retención.

Las moléculas de agua tienen un carácter polar como pequeños imanes, son atraídas y fijadas por las irregularidades electrónicas de la superficie de los cristales los cuales también tienen carácter bipolar. De esta forma las rocas absorben parte del agua del suelo. El agua fijada --

así se llama de retención, imbibición o agua ligada y tiene propiedades físicas distintas a las del agua libre, tal como la densidad y está representada por dos tipos de agua: la higroscópica y la pelicular.

Aqua higroscópica.

Es la que recubre los microporos de las partículas de suelo en forma de sectores aislados y es mantenida por fuerzas de absorción. Esta agua se desplaza sólo en estado de vapor. No es constante y varía en función de la porosidad, humedad, temperatura y presión del aire.

Aqua pelicular.

Rodea al agua higroscópica con una fina película, puede pasar al estado líquido por la atracción molecular de las partículas cercanas. El agua pelicular no se desplaza por gravedad y no transmite la presión hidrostática.

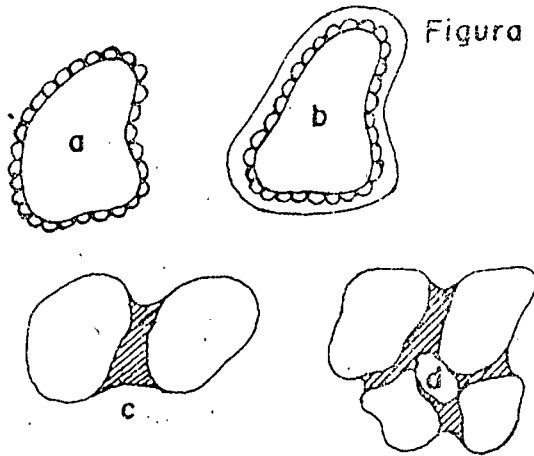
Aqua capilar.

Es retenida por fuerzas de capilaridad. Puede elevarse por encima del agua subterránea almacenada y llegar a cierta altura que permite el equilibrio entre la componente vertical de la tensión superficial y el peso de la columna de agua. Transmite la presión hidrostática y la acción de la gravedad.

Aqua de gravedad.

Ocupa el espacio entre las partículas. Se llama también agua libre o de percolación, obedece a la gravedad y puede ser extraída. Puede circular en los acuíferos debido a diferencias de presión. Es la parte activa de las aguas subterráneas.)

Figura VII-1. Tipos de agua en el suelo.



- a) Agua higroscópica.
- b) Agua pelicular.
- c) Agua capilar aislada.
- d) Agua gravífica.

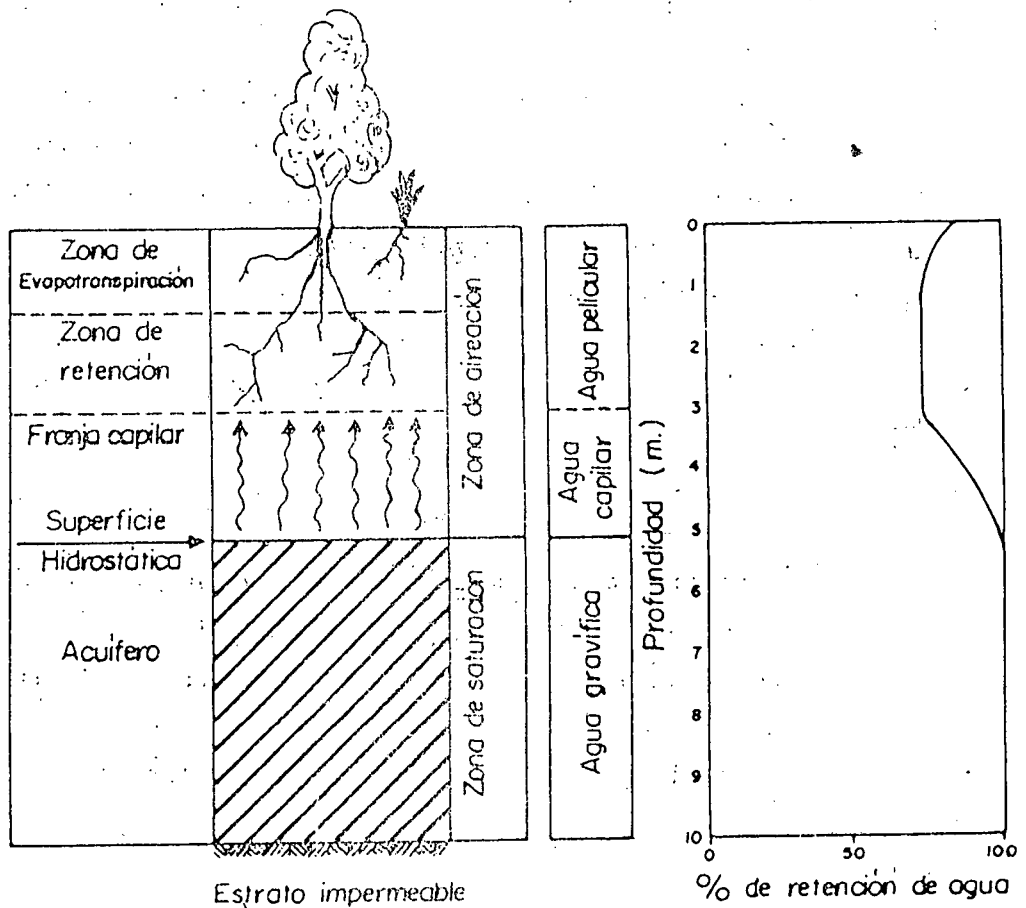


Figura VII-2. Repartición del agua en el suelo y subsuelo.

Repartición del agua en el suelo y en el subsuelo.

Sea un terreno que permita que el agua se infiltre, reponga la humedad del suelo y que al fin se almacene en la capa acuífera. Que ese terreno tenga una granulometría uniforme (que sea homogéneo). Que no tenga estratificaciones y posea una permeabilidad uniforme tanto horizontal como vertical, es decir, que tenga propiedades iguales en todas direcciones (terreno isótropo). Ver Figura VII-2.

En un corte de ese terreno ideal se destacan dos grandes zonas: una zona de aireación que comienza desde la superficie del terreno y la otra zona llamada de saturación que descansa sobre un estrato impermeable y en su parte superior se comunica con la zona anterior.

La zona de aireación fue dividida por O.E. Meinzer, de acuerdo con la existencia y circulación del agua en su interior en tres sub-zonas que calificó como de evapotranspiración, intermedia o de retención y capilar.

Zona de evapotranspiración.

Esta zona está limitada superiormente por la superficie del suelo y su espesor varía de acuerdo al clima y cobertura vegetal. Esta zona permite el pase de agua que contiene a la atmósfera por transpiración de las plantas y evaporación directa del suelo. La evapotranspiración puede afectar a zonas profundas de acuerdo al desarrollo de las raíces de las plantas.

Zona intermedia.

En esta zona ocurre la circulación del agua por gravedad para recargar los acuíferos.

Zona capilar.

Esta zona está en contacto con la saturada y recibe su influencia. El espesor de la franja capilar está en razón inversa de la granulometría, es muy poca en terrenos muy permeables y alta en los menos permeables.

I N D I C E

C A P I T U L O IV

| | Pág. |
|--|------|
| Escurrimiento | 1 |
| Lámina escurrida | 2 |
| Componentes de la escorrentía | 2 |
| Ciclo del escurrimiento | 8 |
| Factores que influyen en el escurrimiento | 10 |
| Relación entré la precipitación y el escurrimiento | 11 |

C A P I T U L O V I I I

E S C U R R I M I E N T O

Es de interés para los estudios hidrológicos determinar las características que pueden presentar la corriente que drena una cuenca determinada, conocer su caudal mayor o pico que se espera para un período de retorno dado, o el mínimo para ciertas condiciones, así como el rendimiento mensual, anual o promedio a largo plazo.

El agua proveniente de las precipitaciones, que ha escapado a la retención superficial, que se presenta por diversos caminos para circular por la red hidrográfica y que puede ser evaluada en algún sitio de interés del cauce de un río, es lo que se conoce como escorrentía o escurrimiento.

Se entiende por retención superficial a la parte de la lluvia que no se hará presente en los cauces, antes ni después de la lluvia. Lo constituyen los almacenamientos por intercepciones y depresiones y el agua evapotranspirada. Se incluyen en el análisis hidrológico como pérdida inicial de la precipitación.

El almacenamiento por intercepción es el agua proveniente de las precipitaciones que es retenida temporalmente por cuerpos que impiden su contacto directo con la superficie del terreno.

El almacenamiento por depresiones es el agua retenida superficialmente por las irregularidades del terreno. El agua almacenada en las depresiones se evaporará al principio y al final de la lluvia, o se infiltrará según su cantidad y condiciones de la superficie del suelo, pues puede formar charcos de algunas consideraciones que pudieran ser absorbidos por el terreno.

Lámina escurrida.-

Se entiende por lámina escurrida a la relación entre el volumen de agua medido en un sitio del cauce de un río y el área de la cuenca receptora.

Su expresión es:

$$le = \frac{V_e}{A} \dots\dots\dots VIII-1$$

Donde:

- le = lámina escurrida
- Ve = volumen escurrido
- A = área de la cuenca

La lámina escurrida, le, se suele expresar en mm.

Componentes de la escorrentía.-

Las aguas provenientes de las precipitaciones que llegan al lecho del río para formar el escurrimiento pueden tener su origen en distintos caminos por los cuales fluyen. De acuerdo a esas vías los componentes del escurrimiento son:

- a) Escurrimiento superficial
- b) Escurrimiento subsuperficial, intermedio o hipodérmico
- c) Escurrimiento subterráneo
- d) Las precipitaciones que caen directamente sobre las superficies de los cursos de agua.

Se analizará cada uno de esos componentes asumiendo una tormenta uniforme en el espacio y en el tiempo.

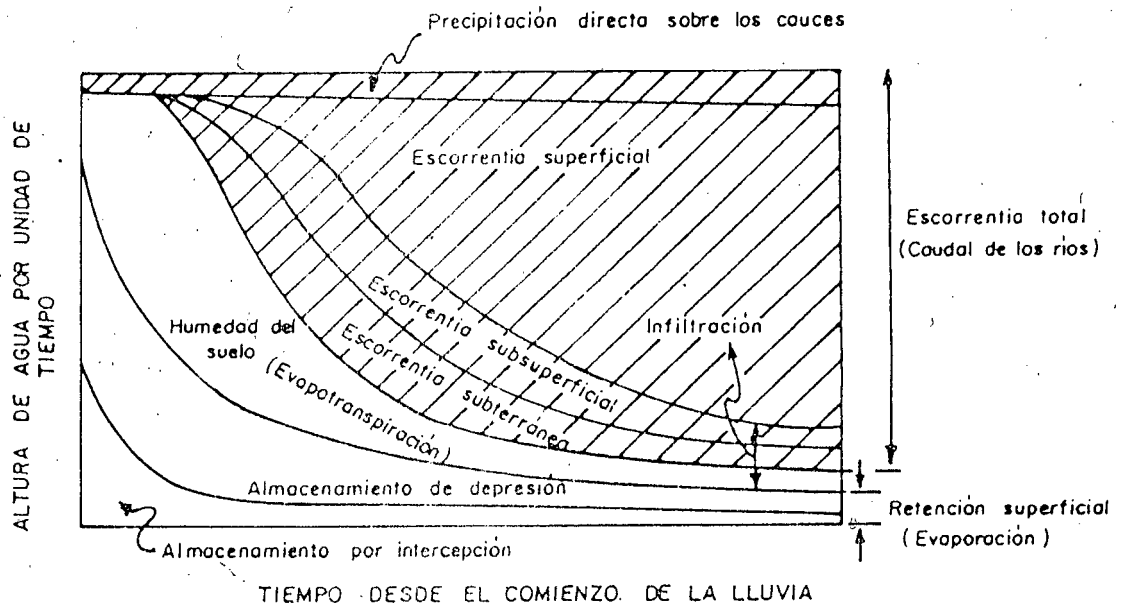


Figura VIII - 1. Esquema de la repartición de las aguas de una precipitación.

La Figura VIII-1, es la representación de una lluvia de intensidad moderada y constante. El área del rectángulo de la figura representa a la lluvia total.

Al comienzo de una precipitación, parte es recogida por el terreno en forma de retención superficial (la cual es la suma de la intercepción, el almacenamiento en la superficie del suelo y la evapotranspiración). Con el transcurso del tiempo, el almacenamiento sobre la capa vegetal y en la superficie del suelo se va saturando y el agua comienza a infiltrarse a través del suelo. La cantidad de agua interceptada es elevada al principio de la precipitación, luego decrece rápidamente al igual que el almacenamiento de depresión porque queda copada. Este almacenamiento depende de la pendiente del terreno, el área de la cuenca y de la textura e irregularidades de la superficie del suelo. Una parte de este almacenamiento pudiera infiltrarse y el resto evaporarse.

Cuando el aporte de la lluvia es mayor que lo que puede absorber el terreno, la diferencia escurre superficialmente. En las zonas urbanas, donde la mayor parte de la superficie es impermeable se hace mayor el escurrimiento superficial.

a) Escurrimiento Superficial.-

Es el agua proveniente de las precipitaciones que fluye por gravedad por la superficie del terreno de acuerdo a su pendiente, según la micro-red hidrográfica que las aguas meteóricas van abriendo paso y que han escapado a la infiltración y a la retención superficial, y es debido a que la precipitación rebasa la capacidad de infiltración del suelo. El escurrimiento superficial es retardado por las irregularidades del suelo y la cobertura vegetal. El agua que escurre superficialmente en forma difusa, se acumula en parte, en las depresiones del suelo, continuará después de llenarlas por microcanales que convergen en zanjas para dirigirse a los

cursos de agua, quienes trasladarán el volumen escurrido junto con otros componentes del escurrimiento que se les unan. El escurrimiento superficial va siendo más rápido a medida que se acerca a los cursos, donde adquiere su mayor velocidad, por lo que una red hidrográfica densa desalojará al escurrimiento superficial con mayor prontitud que otra menos densa.

Si una tormenta fuese más breve que el tiempo de concentración la esorrentía superficial de los puntos más remotos de la cuenca llegará al sitio de concentración después de finalizada la lluvia cuando ya los caudales están bajando. El caudal máximo se observará cuando se haga presente el escurrimiento superficial de la parte media de la cuenca.

Una vez finalizado el escurrimiento superficial se observarán los escurrimientos subsuperficiales y subterráneos pues han sido recargados por la precipitación.

El escurrimiento superficial depende de la naturaleza de la cuenca, de su topografía, su manto vegetal, de su estado de humedad inicial y de la característica de la precipitación. Una lluvia corta, de baja intensidad, en terrenos permeables y secos producirá poco o ningún escurrimiento superficial. En terreno impermeable o saturado esa precipitación originará un escurrimiento superficial de cierta importancia.

b) Escurrimiento subsuperficial o hipodérmico.-

Es el agua proveniente de las precipitaciones que se ha infiltrado y que se desplaza lentamente por debajo y cerca de la superficie, de forma que tiende a ser casi horizontal para aflorar en algún talud o en algún sitio de la superficie situado más abajo del punto de infiltración.

El escurrimiento subsuperficial es igual a la diferencia entre el agua total infiltrada y la suma de la que repone la humedad del suelo y la que percola a los estratos impermeables.

El escurrimiento subsuperficial depende de la naturaleza geológica del suelo y la topografía. Un estrato relativamente impermeable cercano a la superficie es un factor decisivo en el escurrimiento subsuperficial.

Las condiciones geológicas de la zona pueden influir a que el escurrimiento subsuperficial aflore y continúe como escurrimiento superficial o que percole para sumarse al escurrimiento subterráneo.

c) Escurrimiento subterráneo.-

Está formado por el agua infiltrada que percola hacia la zona de saturación de las aguas subterráneas y puede alcanzar la red hidrográfica para originar el caudal base de los ríos. Desempeña un papel regulador.

El escurrimiento subterráneo depende de la estructura y geología del suelo y subsuelo, así como de la intensidad de la lluvia.

La recarga de agua subterránea varía de un sitio a otro y de una época a otra debido a las condiciones de entrada que son variables y del carácter de la precipitación (según sea lluvia o nieve). El agua de la lluvia que ocurre después de que se satisface la diferencia de humedad del suelo son las que recargan el almacén de aguas subterráneas.

Una condición que afecta considerablemente la recarga es el tipo de cultivo del terreno. Una zona boscosa produce mejor recarga que las arables, pues el agua es más limpia y no obstruye los intersticios de penetración. Las raíces secas forman canales que favorecen la infiltración. La topografía del terreno influye en la recarga, pues en zonas de grandes pendientes es mayor el escurrimiento superficial que el subterráneo, ya que a mayor pendiente menor oportunidad para que las aguas se infiltren y viceversa. La extensión de la cuenca receptora influye en el escurrimiento subterráneo porque aumenta el área receptora y la oportunidad de terrenos permeables.

Realmente no existe una separación definida entre estos componentes del escurrimiento (superficial, subsuperficial y subterráneo), pues el agua, proveniente de las precipitaciones que comienza su trayectoria hacia el cauce en forma de escurrimiento superficial puede infiltrarse y continuar como escurrimiento subsuperficial, y puede esperarse que éste a su vez aflore como escurrimiento superficial o que percole para continuar como escurrimiento subterráneo.

d) Precipitaciones que caen directamente sobre las superficies de los cursos de agua.-

Una parte de la lluvia, generalmente pequeña, que desde el primer momento cae directamente sobre el curso de agua circula por él sin haber corrido previamente por alguno de los caminos anteriores. Al extender

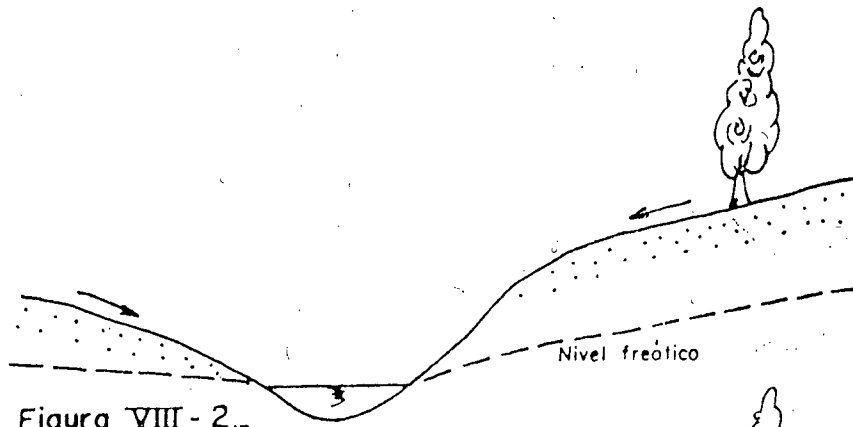


Figura VIII-2..

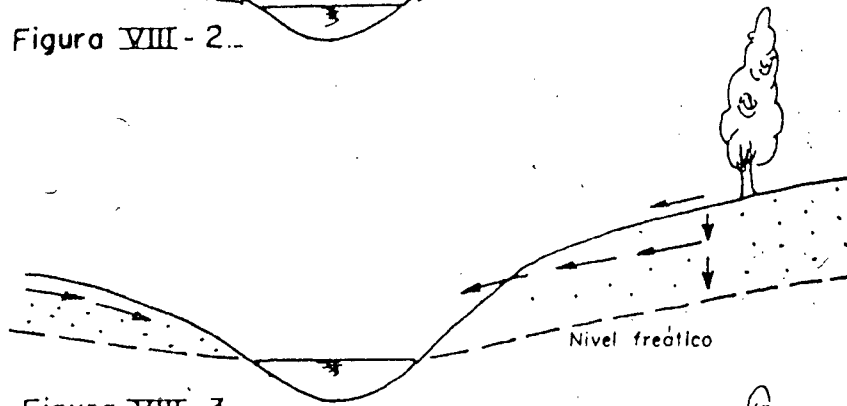


Figura VIII-3..

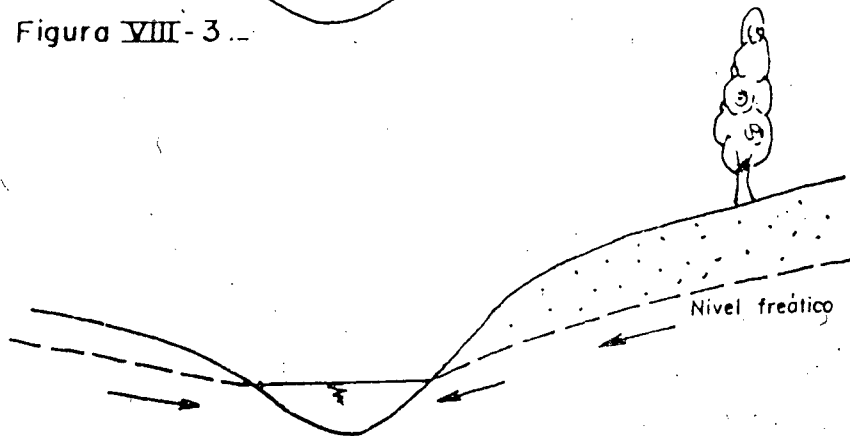


Figura VIII-4..

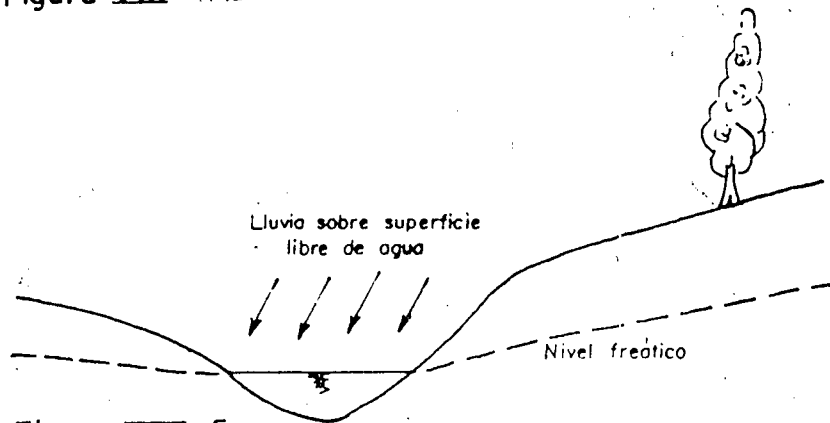


Figura VIII-5..

La Figura VIII-7 indica, en forma esquemática, los caminos que sigue el agua precipitada.

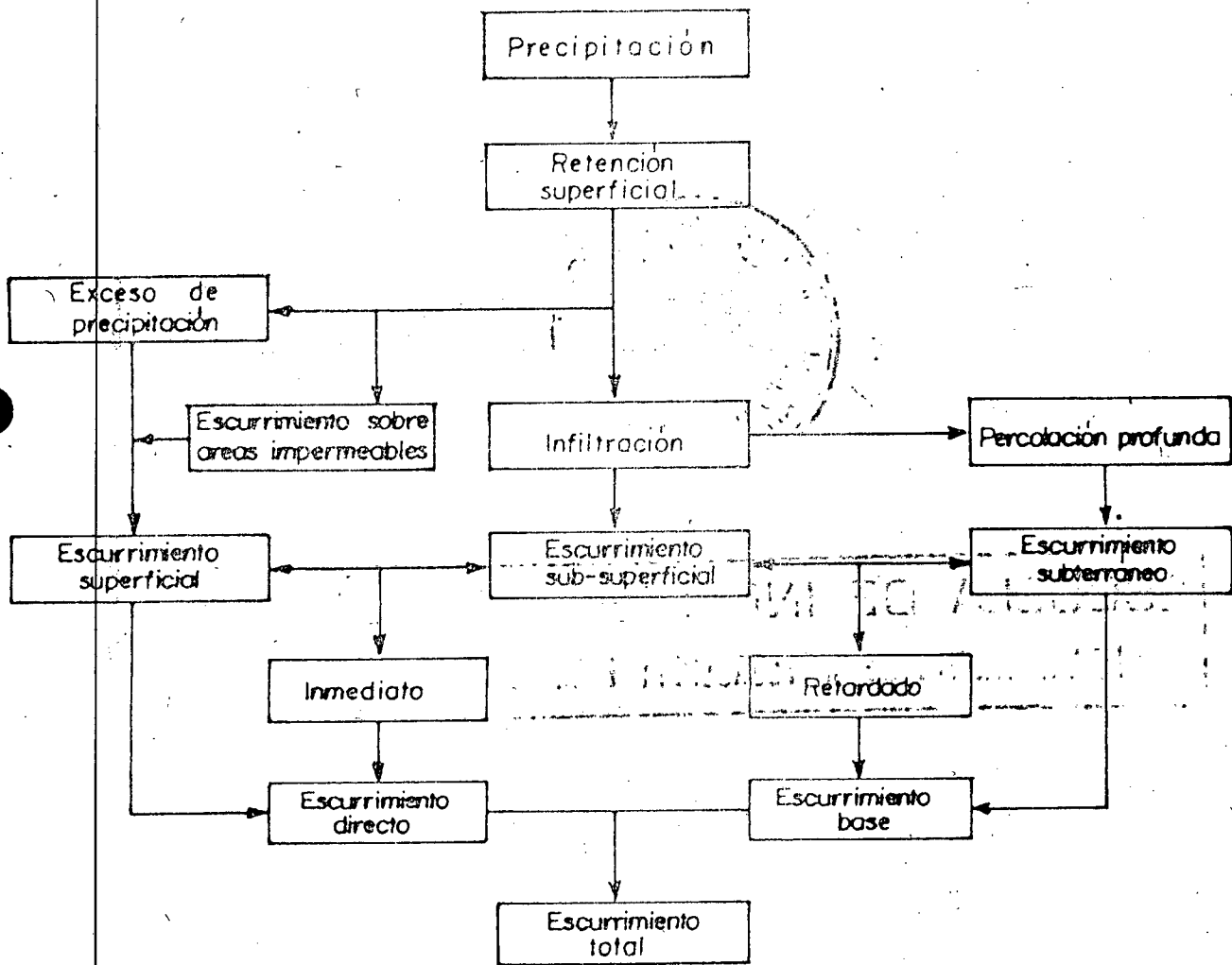


Figura VIII-7.- Distribución de la precipitación

Ciclo del escurrimiento.-

... del escurrimiento evolucionan según un ciclo

