



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE
MEXICO**

**INFLUENCIA DE LA METEOROLOGIA EN LOS PROCESOS
GEOLOGICOS DE LA SUPERFICIE TERRESTRE Y SU
IMPORTANCIA EN LA HIDROGEOLOGIA**

**TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO GEOLOGO**

**PRESENTA:
JESUS MARTINEZ OSUNA**

Asesor: ing. Héctor Luis Macias González

**MEXICO, DF.
2005**

Noviembre,



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

A la memoria de mis padres que hicieron todo lo posible por integrarme como ser humano.

A mi hermano Elías, por haberme enseñado el camino hacia la universidad, mi respeto y admiración por su apoyo incondicional, sobre todo en aquellas épocas de juventud. Siempre tuvo una respuesta acertada para mi llena de objetividad simpatía y estímulo.

A mis hermanos José Manuel, Miguel Ángel y mis hermanas E Iodia , Raquel y carmen dolores a todos gracias, por compartirme su ejemplo de tenacidad, esfuerzo y lucha para con la vida.

A mi esposa Edith por su compañía y amistad desinteresada, gracias por haber compartido conmigo tantos momentos y circunstancias que me han permitido crecer y desarrollarme como ser humano.

A mis hijos Carolina y Luís Eduardo que son lo mas lindo que me ha pasado en el camino, ellos han sido fuentes de inspiración y esperanza en su corto tiempo en este planeta, gracias a ellos porque con su presencia, me motivan a ser un mejor hombre.

A mis alumnos que a lo largo de mi carrera de docente, han sido un pilar fundamental en mi desarrollo intelectual, ellos han participado en mi crecimiento como ser humano, de una manera contundente, contagiándome de juventud y buen humor, gracias por permitirme ejercer la labor de la enseñanza de las matemáticas con tanta devoción y tanta satisfacción.

A las matemáticas, que han sido el bosque donde he encontrado la madera, que me ha permitido fabricar las flechas de combate para con la vida, gracias a ellas por haberme dado tantas satisfacciones y permitirme trascender en lo trascendente de lo trascendental de las nuevas generaciones de jóvenes.

A la Geología que es una ciencia maravillosa que me ha permitido viajar con el pensamiento en términos de tiempo, a los orígenes del universo, a la formación del planeta tierra, a los orígenes de los océanos, a los orígenes de la vida y del hombre en el planeta, el presente y futuro es basto y muy rico, por tener la oportunidad de analizar el pasado a través de la Geología que nos permite remontarnos con el pensamiento a los pasados y remotos tiempos geológicos.

A mis amigos que un día llegamos a la facultad de ingeniería llenos de ilusiones y sueños, a todos ellos mis buenos recuerdos.

A mis maestros de la facultad, todos ellos fueron portadores de grandes enseñanzas, gracias por todo lo que me enseñaron.

A l ingeniero Miguel Vera Ocampo que ha sido un ejemplo para mí, como Ingeniero como maestro y como ser humano, admiro su humanismo, su honestidad y su gran amor a la Geología.

Al ingeniero Héctor Luís Macías González que con su esmero, objetividad y paciencia a sabido conducirme y guiarme hasta la conclusión de este trabajo, Ingeniero le agradezco infinitamente su apoyo.

A los Ingenieros Emiliano Campos Madrigal, Alberto Arias Paz y Martín Carlos Vidal García les agradezco profundamente sus comentarios y observaciones para este trabajo, mi respeto y admiración para todos ustedes.

Índice

Introducción

Capítulo I

A.) Marco conceptual.

Introducción	1
A.1) La atmósfera	5
A.2) Composición del aire atmosférico	5
a) Ozono	6
b) Oxígeno	6
c) Nitrógeno	7
d) Hidrógeno	7
e) Anhídrido carbónico	7
f) Argón, Helio, Kriptón, Xenón y Radón	8
A.3) Estructura de la atmósfera	8
a) Tropósfera	9
a.1) Características de la tropósfera	9
b) Estratósfera	10
b.1) Características de la estratósfera	10
c) Mesósfera	10
c.1) Características de la mesósfera	11
d) Termósfera	11
d.1) Características de la termósfera	11
A.4) Propiedades de la atmósfera y meteorización	12
A.5) Radiación solar	13
a) Intercambio de calor en la atmósfera	13
b) Importancia de la radiación solar	14
c) Tipos de radiación solar	14
c.1) Radiación química o ultravioleta	14
c.2) Radiación luminosa o lumínica	14
c.3) Radiación térmica	15
d) Variación de la radiación solar	16
A.6) Actividad geológica del viento	18
a) Viento	18
b) Frente	18
b.1) Frente estacionario	19
b.2) Frente caliente o cálido	20
b.3) Frente frío	20
b.4) Frente ocluido	21
c) Tipos de vientos	22
d) Formación de un huracán	23
e) Regiones donde se originan los huracanes	24
f) Trombas	26

g)	Tornados	26
h)	Vientos locales	27
i)	Vientos periódico	27
j)	Brisa de mar	27
k)	Brisa de tierra	27
l)	Brisa de valle o montaña	27
m)	Monzones	28
m.1)	Monzón de verano	28
m.2)	Monzón de invierno	28
n)	Vientos regulares	28
A.7)	Circulación general de la atmósfera	29
a)	Región de las corrientes ascendentes ecuatoriales	30
b)	Región de las corrientes descendentes subtropicales	30
c)	Región subpolar o frente polar	30
d)	Región de calmas polares	31
e)	Corrientes de chorro	31
A.8)	Erosión por el viento	31
a)	Erosión por deflación	33
b)	Loess	33
c)	Dunas	33
d)	Desiertos	34
e)	Distribución de los desiertos	34
f)	Características del desierto	34
g)	Trabajo del viento en el desierto	35
A.9)	El agua.	35
a)	Precipitación	35
b)	Cantidad de lluvia	36
c)	Llovizna	37
d)	Lluvia	37
e)	Chubascos aguacero o chaparrón	37
f)	Tromba o tifón	37
g)	Nieve	37
h)	Granizo	37
i)	Agua nieve	38
j)	Precipitación convectiva	38
k)	Precipitación orográfica	38
l)	Precipitación ciclónica	38
m)	Precipitación artificial	38
n)	Características generales de la precipitación	38
o)	Datos de precipitación	39
o.1)	La cantidad total anual de lluvia y su distribución sobre la superficie terrestre	39
o.2)	Su origen o tipo (convectivo, orográfico o frontal)	40
o.3)	Su periodicidad estacional o distribución en el año	40
o.4)	La variabilidad anual y estacional	41
p)	La precipitación en el espacio	41
q)	La precipitación en el tiempo	43

r)	Clasificación de la precipitación	45
s)	Corrientes y erosión laminar	45
t)	Arrollamiento	46
A.10)	Erosión por el agua	46
a)	Métodos de erosión por corriente	46
b)	Acción hidráulica	46
c)	Fuentes de materiales	47
d)	Métodos de transporte	47
e)	Velocidad y transporte	47
f)	Cantidad de carga	48
g)	Grado de denudación	48
h)	Valles	49
i)	Ensanchamiento de un valle	49
j)	Profundización de un valle	49
k)	Ciclo de erosión	50
k.1)	Estado juvenil	50
k.2)	Estado de madurez	50
k.3)	Estado de vejez o de senilidad	50
l)	Cursos de corrientes	51
A.11)	Ambientes de depósito	51
a)	Lugares de depósito	51
b)	Formas de depósito de corrientes	51
b.1)	Conos y llanuras aluviales	51
b.2)	Llanuras aluviales de pie de monte	52
b.3)	Depósitos de cauce y barras	52
b.4)	Llanuras aluviales	52
b.5)	Terrazas aluviales	52
b.6)	Deltas	53
b.6.1)	Partes de un delta	53
A.12)	El agua en la atmósfera	53
A.13)	Ciclo del agua	54
a)	El proceso de evaporación	55
b)	Evaporación y ebullición	55
c)	Condensación	55
d)	La condensación en la atmósfera	56
e)	Nubes	57
e.1)	Clasificación de las nubes	57
e.2)	Tipos de nubes	59
f)	Fase del ciclo del agua relacionado con el mar	69
g)	La salinidad	69
h)	Intercambio de materiales terrestres entre el mar y la atmósfera	70
i)	Proceso de intercambio de energía	71
j)	El viento y las corrientes marinas	72
k)	Esquema general de las corrientes oceánicas	73
l)	Corrientes debidas a las diferencias de densidad	75
m)	Fase del ciclo del agua relacionado con el agua sobre el continente	77
n)	Precipitación del agua, sobre las regiones continentales	77

o)	El almacenamiento del agua	77
p)	El desplazamiento del agua en el suelo	78
q)	El desplazamiento del agua en profundidad	78
r)	Corriente a cauce abierto	79
s)	Evaporación y transpiración	79

Capítulo II

B) Aguas subterráneas

B.1)	Aguas subterráneas	81
B.2)	Importancia de la meteorología en el descenso del agua subterránea	83
B.3)	Relación existente entre la precipitación y la evapotranspiración y la importancia de esta en las aguas subterráneas	84
B.4)	Cultura meteorológica para un Geólogo explorador de aguas Subterráneas	85
B.5)	Elementos meteorológicos que se deben tomar en cuenta en la Exploración de las aguas subterráneas	86
a)	Evaporación	86
b)	Medición de la evaporación	86
c)	Presión atmosférica	86
d)	Viento	87
e)	Lluvia	87
f)	Medición de la lluvia	88
g)	Humedad atmosférica	88
h)	Variación de vapor de agua en el aire	89
i)	Humedad absoluta	89
j)	Humedad relativa o porcentual	89
k)	Déficit de saturación	90
l)	Punto de rocío	90
m)	Estudio meteorológico de superficie de una región dada	90
B.6)	El agua en el subsuelo	106
a)	Porosidad	106
b)	Permeabilidad	107
c)	Nivel freático	107
B.7)	¿Tiene el agua subterránea un límite inferior?	108
B.8)	Balance de la recarga y descarga de agua de un acuífero	109
B.9)	Agua artesisana	110
B.10)	Manantiales	110
a)	Manantiales de manto freático	114
b)	Manantiales por contacto geológico	114
c)	Manantiales karsicos	114
d)	Manantiales estructurales	114
e)	Manantiales de aguas minerales	114
f)	Manantial termal	115

B.11)	Oásis	115
B.12)	Géiseres	116
B.13)	Las aguas subterráneas en cavernas	116
a)	Rocas solubles	117
b)	El agua en las rocas volcánicas	117
B.14)	Aguas subterráneas en las rocas con aberturas divisorias	118
B.15)	Las aguas subterráneas y los métodos de exploración	119
B.16)	Aspectos económicos del agua subterránea	120

Capítulo III

c) Aguas superficiales

C.1)	Aguas superficiales	122
C.2)	Origen de las corrientes	123
C.3)	Conceptos fundamentales para el estudio de las corrientes	123
a)	Nivel básico	123
b)	Perfil de equilibrio	123
c)	El ciclo normal de las corrientes	124
d)	Juventud	124
e)	Madurez	125
f)	Senectud	127
g)	Rejuvenecimiento	127
C.4)	Tipos de corrientes, clasificación genética del drenaje ríos monógenos	128
a)	Ríos consecuentes	129
a.1)	Corrientes consecuentes constructivas	129
a.2)	Corrientes consecuentes destructivas	129
a.3)	Corrientes fluviales consecuentes deformativas	129
a.4)	Ríos consecuentes extendidos	130
a.5)	Ríos consecuentes heredados	130
b)	Ríos insecuentes	131
c)	Ríos subsecuentes	132
d)	Ríos resecentes	132
e)	Ríos obsecuentes	133
f)	Ríos desbordantes	134
g)	Ríos glaciáricos	134
h)	Ríos subterráneos	134
i)	Ríos poligenos	135
i.1)	Ríos mixtos	135
i.2)	Ríos compuestos	135
i.3)	Ríos complejos	135
C.5)	Clasificación sistemática de las configuraciones del drenaje	136

C.6)	Configuraciones naturales del drenaje, configuraciones Ordenadas o regulares	137
a)	Dendrítica	137
b)	Drenaje subdendrítico	139
c)	Pinada	140
d)	Asimétrica	141
e)	Enrejada	141
f)	Rectangular	142
g)	Angular	143
h)	Paralela	144
i)	Subparalela	145
j)	Colinear	145
k)	Radial	146
l)	Centrífuga	147
m)	Centrípeto	147
n)	Dicotómica	148
o)	Distributaria	149
p)	Anular	150
q)	Trensada	150
r)	Kárstica	151
C.7)	Configuraciones desordenadas o irregulares	152
a)	Anastomosada	152
b)	Reticular	153
c)	Retorcida	153
d)	Lagunar	154
e)	Errática	154
f)	Compleja	154
g)	Anómala	155
h)	Fantasma	155
i)	Configuraciones de tipos especiales, yaseo	155
j)	Cubeta glaciárica	156
k)	Termokárstica	156
l)	Espoloneada	157
m)	Elíptica	158
C.8)	Configuraciones artificiales del drenaje.rectilinea	158
a)	ilusoria	159
C.9)	La cuenca	159
a)	Area de una cuenca	160
b)	Pendiente de una cuenca	160
c)	Elevación de una cuenca	161
d)	Red de drenaje	161
e)	Orden de las corrientes	161
f)	Longitud de tributarios	162
g)	Densidad de corrientes	162
h)	Densidad de drenaje	163
i)	Pendiente del cauce	163

Capítulo IV

D) Aplicación del conocimiento de los procesos atmosféricos

D.1)	Aplicación del conocimiento de los procesos atmosféricos	164
D.2)	Clasificación de estaciones	164
a)	Estaciones sinópticas	164
b)	Estaciones climatológicas	164
c)	Estaciones meteorológicas aeronáuticas	165
d)	Estaciones meteorológicas agrícolas	165
e)	Estaciones especiales	165
D.3)	Observaciones de superficie	165
D.4)	Observaciones de altitud	165
D.5)	Sondeo atmosférico	166
D.6)	Fotografía de satélite	169
D.7)	Aplicación del conocimiento de los procesos atmosféricos en la Erosión del Suelo por la lluvia	171
D.8)	Aplicación del conocimiento de los procesos atmosféricos en la actividad del viento	172
D.9)	Aplicación del conocimiento de los procesos atmosféricos En la influencia de las trayectorias ciclónicas al régimen de Lluvia en México	172
D.10)	Aplicación del conocimiento de los procesos atmosféricos en la Fluctuación del nivel freático	173
D.11)	Aplicación del conocimiento de los procesos atmosféricos en el Análisis del viento y su aplicación en el desarrollo económico de México	174
D.12)	Aplicación del conocimiento de los procesos atmosféricos en la Influencia de cortinas rompevientos sobre el coeficiente de arrastre del viento	174

Capítulo V

E) Objetivo e importancia económica del estudio ante el contexto económico del país

E.1)	México cómo cooperador de obtención de datos meteorológicos	175
E.2)	Cómo utiliza México la información meteorológica	175
E.3)	México ante el aprovechamiento de las aguas subterráneas	177

Capítulo VI

F) Expectativas

F.1)	El cambio de clima	179
F.2)	Causas del cambio climático	182
F.3)	Ritmos de la geometría tierra sol	182
F.4)	Modelos climáticos recientes	186
F.5)	Transparencia atmosférica	188
F.6)	Magnetismo	192
F.7)	Las actividades humanas	194
F.8)	El efecto invernadero	195
F.9)	Efecto del clima futuro	196
F.10)	Influencia de los planetas	197
	Conclusiones	199
	Glosario	203
	Bibliografía	228

Figura	Título	Páginas
Figura 1	Ciclo del dióxido de carbono	8
Figura 2	Estructura de la atmósfera	9
Figura 3	Distribución de la radiación solar	16
Figura 4	Relación entre la tierra y el sol	17
Figuran 5	Zonas térmicas	18
Figura 6	Frente estacionario	19
Figura 7	Frente caliente o cálido	20
Figura 8	Frente frío	21
Figura 9	Frente ocluido	22
Figura 10	Regiones donde se originan los huracanes	25
Figura 11	Número de ciclones y trayectorias típicas	26
Figura 12	Vientos periódicos	28
Figura 13	Comportamiento de los vientos en el planeta	29
Figura 14	Mapa de Isoyetas anuales de la República Mexicana	42
Figura 15	Representación de climas de la República Mexicana	44
Figura 16	Ciclo del agua	54
Figura 17	Corrientes oceánicas mundiales	73
Figura 18	Corrientes oceánicas en profundidad	76
Figura 19	Nivel freático	108
Figura 20	Pozo Artesiano	110
Figura 21	Formación de manantiales	111
Figura 22	Formación de manantiales	111
Figura 23	Formación de manantiales	112
Figura 24	Formación de manantiales	112
Figura 25	Formación de manantiales	113
Figura 26	Formación de manantiales	113
Figura 27	Oasis	115
Figura 28	Geiser	116
Figura 29	Meandro	126
Figura 30	Levantamiento de una penillanura	130
Figura 31	Valles subsecuentes	132
Figura 32	Tipos de corrientes	133
Figura 33	Ríos glaciáricos	134
Figura 34	Configuración de drenaje dendrítico	137
Figura 35	Etapas ideales de un sistema de drenaje Dendrítico	139
Figura 36	Drenaje subendrítico	140
Figura 37	Drenaje pinado	140
Figura 38	Drenaje asimétrico	141
Figura 39	Drenaje enrejado	142
Figura 40	Drenaje rectangular	143
Figura 41	Drenaje angular	144
Figura 42	Drenaje paralelo	144

Figura 43	Drenaje subparalelo	145
Figura 44	Drenaje colinear	146
Figura 45	Drenaje radial	146
Figura 46	Drenaje de configuración centrífuga	147
Figura 47	Drenaje de configuración centrípeta	148
Figura 48	Drenaje de configuración dicotómico	149
Figura 49	Drenaje de configuración distributaria	149
Figura 50	Drenaje de configuración anular	150
Figura 51	Drenaje de configuración trenzada	151
Figura 52	Drenaje de configuración kárstico	152
Figura 53	Drenaje de configuración anastomosada	152
Figura 54	Drenaje de configuración reticular	153
Figura 55	Drenaje de configuración retorcida	154
Figura 56	Drenaje de configuración yasoo	156
Figura 57	Drenaje de configuración espoloneada	157
Figura 58	Drenaje de configuración elíptica	158
Figura 59	Cuenca de drenaje de una corriente	159
Figura 60	Orden de las corrientes	162
Figura 61	Periodos glaciales	181

Introducción

El planeta tierra está rodeado por una masa de aire llamada atmósfera y existe gran relación entre ésta y la superficie terrestre tal que este aire que engloba a la tierra hace posible la vida en toda su diversidad.

Este trabajo surge del gran vínculo existente entre la atmósfera y la superficie terrestre; se considera de gran importancia, los procesos atmosféricos en la Geología, desde el punto de vista Hidrológico, Geohidrológico y erosión de los suelos.

También se establece una panorámica muy amplia sobre la atmósfera, el agua y los vientos. Ya que hay una relación directa que éstos tienen con las aguas superficiales y las aguas subterráneas.

La atmósfera está formada por aire, donde se llevan a cabo todos los procesos que dan origen al tiempo atmosférico y que de alguna manera repercute en los procesos exógenos de la superficie terrestre tales como el intemperismo y la erosión.

En la interacción existente entre la superficie terrestre y la atmósfera está de por medio el líquido tan esencial para la vida, llamado agua. El agua es un compuesto muy importante para la vida y cada día se necesita más, porque la demanda es muy grande. En la actualidad se necesita abastecer a las grandes ciudades y a la demanda del desarrollo industrial.

El agua pasa a ser por ello, en todo momento un factor fundamental para el desarrollo de la humanidad y la vida en toda su extensión.

Se sabe que cada día la administración del agua debe tener bases más sólidas que puedan sustentar un buen manejo y una buena explotación esto será posible si se conoce a fondo la dinámica atmosférica y la distribución del agua en la superficie y en el subsuelo.

Este trabajo propone y sustenta que la Meteorología es una ciencia que tiene un gran vínculo con la Geología; también menciona que el Ingeniero Geólogo es un profesionalista que necesita del conocimiento profundo de los fenómenos atmosféricos y debe de tener un acercamiento más directo y más amplio con la atmósfera y sus repercusiones con la superficie terrestre.

Un Geólogo tiende a observar hacia el interior de la tierra; sus deducciones se basan de la superficie terrestre hacia abajo; para eso está preparado.

Considera parámetros tales como: litología, porosidad, permeabilidad, geología estructural, relieve etc.

El objetivo de esta propuesta es plantear una panorámica a nivel global del comportamiento de la atmósfera, tomando en cuenta su dinamismo, evolución y desarrollo, con la finalidad de que el Ingeniero Geólogo tenga este acercamiento hacia la atmósfera y así desarrollar una cultura más amplia en lo que se refiere a la Meteorología, y así, conocer a fondo la dinámica de los procesos atmosféricos; tales como la lluvia, evaporación, temperatura, vientos, humedad atmosférica y presión atmosférica.

Es importante el conocimiento del ciclo del agua, teniendo en cuenta sus diferentes fases, como son: evaporación, condensación y precipitación, así como conocer los factores que intervienen en este proceso es de fundamental

importancia, así como conocer la dinámica atmosférica que distribuye todo este proceso a nivel planeta, que papel juega el sol, la rotación de la tierra, los vientos, la gravitación universal y la gravedad terrestre.

Se sabe que esto no es fortuito, y tampoco es producto de la casualidad. Todo esto obedece a un sistema bien organizado a nivel planetario, por ello no se puede tratar ligeramente este gran vínculo y permitir que su desconocimiento nos lleve a ser ignorantes en esta materia tan útil en la exploración de las aguas superficiales y subterráneas.

Un Geólogo que maneje y conozca adecuadamente los procesos atmosféricos a nivel local y global de una determinada región, junto con su Geología estará en óptimas condiciones de obtener deducciones calificadas en la exploración y explotación de los recursos hídricos de una región.

En la actualidad generalmente se da por hecho la presencia del agua, en cualquier lugar del planeta, en mares, ríos, lagos, lagunas, estanques y en el subsuelo.

pero poco se piensa que este líquido juega un papel muy importante para la vida del ser humano en el planeta y que se necesita de un buen cuidado y una buena administración de este recurso, ya que las necesidades de consumo van en aumento por lo que se requiere de mejor infraestructura y mejor conocimiento de éste recurso.

Cuando se hace referencia a México, generalmente se escuchan comentarios muy halagadores en lo que se habla de una riqueza sin igual en recursos naturales. Sin embargo, toda esta riqueza se encuentra en peligro de perderse por un solo motivo: la falta de agua.

Este es un verdadero problema, porque el hecho no está en que el agua alcance a los habitantes actuales, sino a todos los que vienen atrás.

El problema es que los acuíferos, están siendo sobre explotados, además de que reciben una excesiva contaminación proveniente de aguas residuales que son descargadas sin ninguna clase de tratamiento en sus inmediaciones, por las industrias que contaminan el agua indiscriminadamente.

En la actualidad cada uno de los habitantes del planeta cuenta con menos de la mitad de agua que en 1955. En esa época la disponibilidad promedio de agua potable era de 11500 m³ por habitante al año, en 1999 fue de 4964m³ y en el 2025 será de 3500m³ Cifras que demuestran la gravedad de la situación.

Es necesario llevar a cabo un ordenamiento ambiental de las cuencas hidrológicas de México.

Se sabe que las cuencas son áreas cuyo drenaje está definido por líneas divisorias llamadas parteaguas, en las cuales se capta agua de lluvia que escurre a través de ríos y arroyos en una corriente principal para desembocar en el mar o en algún cuerpo de agua. Algunas se encuentran en crisis debido a la sobreexplotación y la contaminación ambiental.

Es necesario e importante realizar los estudios pertinentes para conocer la situación de las cuencas, determinar el número y actividades de los habitantes que viven en la zona y así elaborar un balance de la disponibilidad de agua.

Este debe estar basado en condiciones climáticas, temperatura, precipitaciones, escurrimientos y evaporación.

El conocimiento de esto ayudará a determinar la viabilidad de nuevos asentamientos humanos, el uso del suelo, la factibilidad de construir complejos turísticos, determinar el desarrollo de la región y contribuir a la instrumentación

de políticas ambientales que disminuyan la contaminación de los cuerpos de agua.

Así pues, el conocimiento profundo y el buen manejo de los parámetros atmosféricos es fundamental en el buen desarrollo del hidrólogo y el geohidrólogo.

Se sabe que si el agua se maneja con una buena información meteorológica respaldada en archivos estadísticos de varios años atrás y un buen trabajo de exploración geológica, se pueden tener resultados positivos y contundentes respecto a la localización de un acuífero.

Por otro lado, una buena información meteorológica y geológica permite explotar adecuadamente un yacimiento de aguas subterráneas. Ya que se conocerá la magnitud de su recarga presente y futura.

Es importante tener el conocimiento detallado de la atmósfera, ya que ésta influye en la superficie terrestre, en la erosión eólica y en la erosión pluvial en el paisaje de una determinada zona. amplía el horizonte respecto al estudio del agua, inclusive da una panorámica más grande respecto a la solución de problemas referidos a la geología ambiental. Sobre todo en estos tiempos que esta tan de moda la contaminación Ambiental, y no existe profesionalista más indicado que un geólogo para resolver estos problemas de Geología Ambiental. Bajo estos considerandos, y a fin de contar con una panorámica mayor el presente trabajo guarda la siguiente estructura:

El capítulo I establece algunos conceptos teóricos que introducen a conocer la atmósfera, con base en sus características: composición y estructura, analizando cada una de las capas que la componen, tales como: Tropósfera, estratósfera, mesósfera y termósfera.

Se trata directamente la radiación solar y la importancia que esta tiene en la dinámica atmosférica.

Se hace mención de la dinámica de los vientos, tomando en cuenta su erosión, se menciona el agua analizando la precipitación en el espacio y el tiempo y la repercusión de esta en la erosión por medio del agua de lluvia.

Se describe el ciclo del agua en todas sus fases: evaporación, condensación y precipitación, teniendo presente el ciclo del agua en la atmósfera, el océano y el continente.

Se hace una descripción de las nubes implicando su origen desarrollo y clasificación.

El capítulo II se refiere a las aguas subterráneas y se establece una relación entre la meteorología y las aguas de este tipo, haciendo énfasis en los elementos meteorológicos que se deben de tomar en cuenta en su exploración; tales como, evaporación, presión atmosférica, viento, lluvia, humedad relativa etc.

Se analiza el agua en el subsuelo, después de haber caído en forma de lluvia, relacionándose ésta con la porosidad y permeabilidad de las rocas.

Se toman en cuenta aspectos económicos y de exploración de las aguas subterráneas.

El capítulo III se refiere a las aguas superficiales, que se presentan cuando el agua de lluvia cae sobre la superficie y escurre a través de corrientes de agua. Se analizan éstas de acuerdo a su clasificación, también se mencionan las diferentes configuraciones de drenaje y las cuencas por donde estas escurren.

En el capítulo IV se hace énfasis en la aplicación del conocimiento de los procesos atmosféricos, se describe una clasificación de estaciones que ayudan

a obtener información del clima y de los fenómenos meteorológicos. Se presenta un sondeo atmosférico y una fotografía de satélite. Estos dan una panorámica local y regional de las condiciones meteorológicas prevalecientes durante un día.

Se incluyen varias aplicaciones del conocimiento de los procesos atmosféricos. En el capítulo V se menciona la importancia del estudio ante el contexto económico del país, se ubica a México como cooperador de datos meteorológicos ante el contexto internacional.

Se describe la utilización de la información meteorológica en México y se hace un análisis del país ante el aprovechamiento de las aguas subterráneas.

El capítulo VI menciona las diferentes teorías que sustentan las expectativas del cambio de clima tomando en cuenta las causas del cambio climático y mencionando como factores importantes: ritmos de la geometría tierra-sol, transparencia atmosférica, magnetismo terrestre, las actividades Antropogénicas y la influencia de los planetas.

Por último, se presenta un apartado de conclusiones y la bibliografía que da sustento a la presente investigación.

Capítulo I

A) Marco conceptual

A.1) La atmósfera

El planeta Tierra está formado por una gran masa de aire llamada atmósfera, este aire está constituido por diferentes gases que son atraídos hacia la Tierra por efecto de la gravedad.

De una manera convencional se establece el límite superior de la atmósfera a una altura aproximada de 1000 km sobre el nivel del mar, pero la mayoría de los científicos prefiere considerar que el aire atmosférico llega hasta confundirse con los gases raros del espacio interplanetario.

Esta gran masa de aire permite la vida del hombre y de la mayoría de los seres vivos que habitan en la superficie terrestre.

Para entender bien los procesos físicos que se producen en la atmósfera es necesario primeramente conocer su composición.

A.2) Composición del aire atmosférico

El aire atmosférico se compone principalmente de gases también se encuentran en la atmósfera partículas sólidas, humo, polvo y humo, además en la atmósfera se encuentran: Nitrógeno, Oxígeno, Argón, Anhídrido Carbónico, Neón, Helio, Kriptón, Hidrógeno, Xenón, Ozono, Radón.

Si el aire estuviera en perfecta calma las partículas y los gases más pesados se fijarían cerca de la superficie de la Tierra y los más ligeros se alejarían cada vez más de la superficie terrestre pero los gases se mezclan por el movimiento continuo del aire cerca del suelo, de modo que las mismas proporciones mutuas se conservan aproximadamente hasta los 70 km de altitud más allá se encuentran los gases más ligeros. Es probable que los más ligeros de todo el hidrógeno y el helio, lleguen a altitudes superiores a los 800 km; en los niveles intermedios existen concentraciones de ozono y de nitrógeno ionizado al mismo tiempo que otros gases ionizados en cantidades bastantes pequeñas.

En el siguiente cuadro se indica la composición del aire seco por unidad de volumen y al nivel del mar. Estos datos corresponden al aire seco en un lugar alejado a las ciudades y de los incendios forestales; en general, esta composición actualmente se mantiene casi constante en la troposfera debido a las turbulencias de la atmósfera, excepto las partículas de polvo, el vapor de agua, las sustancias volátiles y otros contaminantes.

Gas	Proporción en %	
-----	-----------------	--

	En Volumen	En Peso
Nitrógeno	78.09	75.54
Oxígeno	20.95	23.14
Argón	0.93	1.27
Anhídrido Carbónico	0.03	0.05

También cabe destacar del listado anterior que la composición química de la atmósfera está representada principalmente por el N₂, O₂, AR y el CO₂ dado que representan el 99.99% y sólo el 0.01% lo constituyen los demás elementos químicos pero no por eso cada uno de estos componentes de la atmósfera deja de tener importancia fisicoquímica dentro del equilibrio natural en el cual se deben mantener.

A continuación se describen cada uno de los componentes de la atmósfera para tener mejor comprensión de ellos.

a) Ozono

El ozono se encuentra en las capas atmosféricas superiores formado por la acción de la luz ultravioleta sobre el oxígeno. En las capas inferiores se halla tan solo de modo pasajero, en la proximidad de una descarga eléctrica, durante las tormentas. El polvo, el calor y otros agentes destruyen al ozono.

El ozono se obtiene directamente del oxígeno que se descompone completamente en este elemento y que es una mitad más denso que éste. Se deduce que sus moléculas están constituidas por 3 átomos de oxígeno su fórmula es O₃, el ozono es una forma alotrópica del oxígeno.

La concentración de ozono varía con la latitud y la hora, la mayor parte del ozono que se forma en la alta estratosfera es el resultado de un cierto número de procesos, principalmente la absorción de las radiaciones ultravioletas. Las moléculas de ozono tienden a caer a la atmósfera y se acumulan en la estratosfera inferior entre 15 km y 25 km de altitud.

También puede formarse ozono en pequeñas cantidades cerca de la superficie terrestre debido a descargas eléctricas, sin embargo, la concentración de ozono a una altitud dada varía considerablemente a causa de la circulación general de la atmósfera.

La presencia del ozono en la atmósfera es indispensable para el bienestar humano, ya que al absorber este gas una gran cantidad de las radiaciones mortíferas ultravioletas, emitidas por el sol, permite al hombre vivir sobre la superficie terrestre.

b) Oxígeno

El oxígeno se presenta abundantemente en la superficie de la Tierra, la atmósfera contiene un 23.14% en peso de oxígeno que constituye un 20.95% de su volumen, el agua pura está formada por un 88.81% de oxígeno y la del mar, una disolución salina, por un 85.79% y los numerosos minerales y rocas constituyentes de la corteza terrestre contienen sobre un 46.46% de oxígeno.

En la parte accesible de la Tierra existe un 49.40% de oxígeno, siendo el elemento más abundante y únicamente en la composición calculada del planeta Tierra es sobrepasado por el hierro con un 39.76% frente a un 27.71% para el oxígeno.

c) Nitrógeno

El Nitrógeno constituye el 78.09% en el volumen de la atmósfera. El Nitrógeno es también abundante en estado de combinación, los principales compuestos minerales nativos son el salitre NO_3K y el Nitrato Sódico NO_3Na , el Nitrógeno es un elemento esencial de las proteínas de todos los animales y plantas, el Nitrógeno se encuentra también como amoníaco NH_3 y en sales amoniacales. El Nitrógeno es incapaz de sostener la vida y la combustión. El Nitrógeno es llamado "AZOE" (sin vida).

d) Hidrógeno

La palabra de Hidrógeno significa productor de agua ya que al arder este gas en el aire y en el oxígeno se forma agua.

El Hidrógeno se encuentra únicamente en estado libre en la naturaleza en muy pequeña cantidad los gases volcánicos y otros gases naturales lo contienen en escasa proporción también se encuentra en algunas rocas y en ciertos yacimientos de sales metales como el Platino, Paladio, Tantalio, Hierro, Cobalto y Níquel, éstos tienen la propiedad de absorber Hidrógeno lo cual explica se halle a veces asociado a ellos en algunos meteoritos. La atmósfera contiene menos de una parte de Hidrógeno en un millón de partes de aire aunque se cree que en las capas superiores, la proporción de hidrógeno en las nebulosas, estrellas, en la fotosfera y cromosfera del Sol es mayor.

En los eclipses totales del Sol se han observado protuberancias gigantescas de Hidrógeno incandescente de casi 200 000 km. de longitud. Se supone que casi la mitad del peso del Sol es Hidrógeno, una cuarta parte Oxígeno y el resto Helio y ciertos metales en estado combinado. El Hidrógeno constituye el 11.19% de agua; se encuentra en todos los ácidos y es un constituyente importante del petróleo de los gases combustibles naturales y de los tejidos de todos los seres vivos.

e) Anhídrido carbónico

También denominado Dióxido de Carbono (CO_2).

El dióxido de carbono existe en la atmósfera y en los manantiales de aguas efervescentes en algunas localidades, surge de las grietas del terreno.

Hay manantiales de gases de los que el dióxido de carbono escapa a gran presión.

El anhídrido carbónico contenido en la atmósfera es debido a una serie de procesos tales como la respiración humana y animal, la descomposición y la combustión de materias que contengan carbono y las erupciones volcánicas pero la mayor parte del gas así producido es absorbido por los vegetales.

Aproximadamente el 99% de Anhídrido Carbónico de la Tierra está disuelto en los océanos dado que la solubilidad varía con la temperatura. El agua de los

océanos absorberá o desprenderá este gas como resultado de los cambios de temperatura de la misma, esto afectará a la concentración de Anhídrido Carbónico del aire.

A continuación se tiene la figura 1. donde se establece el ciclo del dióxido de carbono.

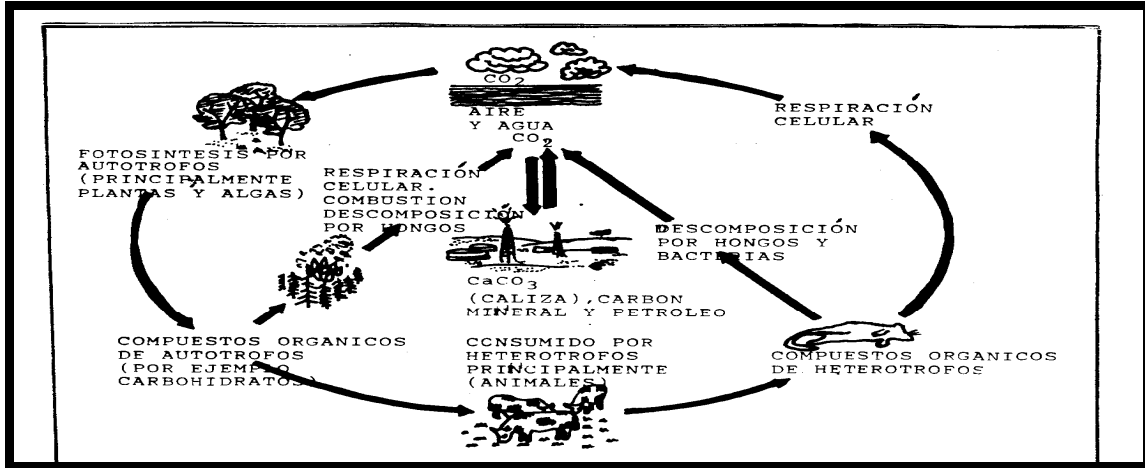


Figura 1. Ciclo del dióxido de carbono.
(Fuente: Apuntes de Meteorología 1990 O.M.M)

f) Argón, helio, neón, kriptón, xenón y radón

Son también llamados gases inertes; éstos se encuentran en pequeñas proporciones en la atmósfera.

A.3) Estructura de la atmósfera

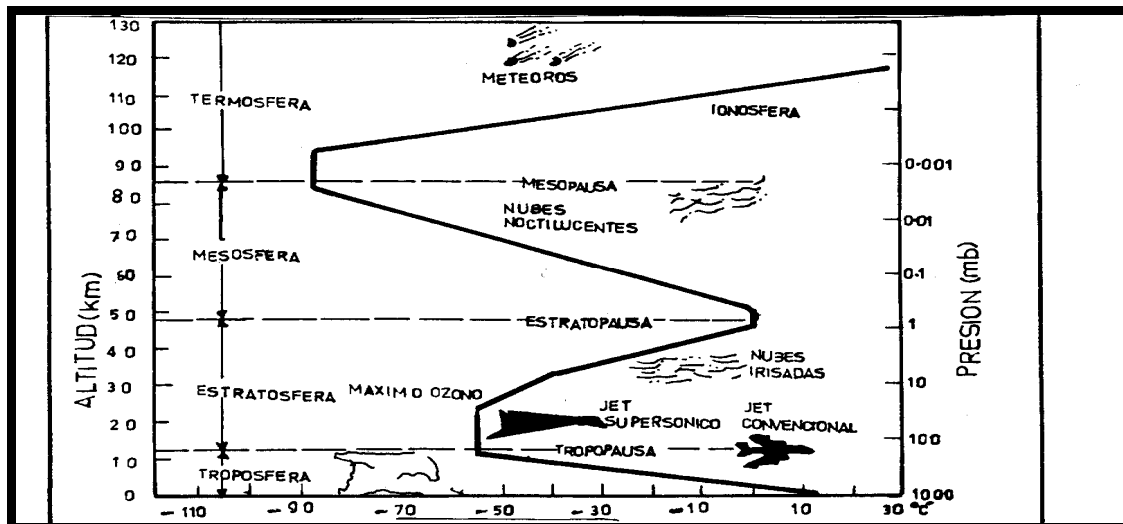
Teniendo en cuenta su composición, las reacciones químicas, la localización, la temperatura, etc., se puede dividir la atmósfera en diferentes capas.

Los meteorólogos saben que para predecir la futura evolución de la atmósfera, necesitan considerarla como un todo por tanto utilizan cada vez más satélites, cohetes y equipos electrónicos para estudiar la alta atmósfera desarrollando al mismo tiempo las redes de estaciones meteorológicas en la superficie de la Tierra.

Durante mucho tiempo el hombre consideró como atmósfera a la troposfera que es sólo la capa inferior y la única con la que tuvo contacto.

En un principio, pero con el desarrollo de la navegación aérea, así como los viajes aeroespaciales se han descubierto nuevas capas, cada una con propiedades físicas más o menos definidas y falta mucho aun por conocer sobre todo en el aspecto químico.

La figura 2 muestra la estructura vertical de la atmósfera.



Temperatura.

Figura 2. estructura vertical de la atmósfera.
(Fuente Libro de apuntes de Meteorología 1990 O.M.M.)

a) Tropósfera

Es la capa más baja de la atmósfera y en ella la temperatura generalmente disminuye con la altura, en la primera mitad, esta disminución es de 6 °C. a 7 °C. por kilómetro; sin embargo, algunas veces y en capas poco espesas de la troposfera, la temperatura crece con la altitud y en este caso se produce una inversión de temperatura.

La troposfera es la capa donde se origina el tiempo atmosférico; ésta contiene casi todas las nubes.

a.1) Características de la troposfera

Es la capa inferior de la atmósfera.

Siempre está en continuo movimiento y produce la mayoría de los fenómenos meteorológicos que conoce el hombre.

La temperatura no es uniforme, disminuye 6.5 °C por cada mil metros de altura que se asciende.

Está constituida casi totalmente por dos gases: Nitrógeno y Oxígeno.

El espesor tomado desde la superficie de la Tierra con respecto al nivel del mar hasta el límite superior es de aproximadamente 17 km de altura en la zona ecuatorial y entre 8 y 10 km en las zonas polares.

Contiene casi el 100% del vapor de agua que existe en la atmósfera.

b) Estratósfera

La estratósfera es la región de la atmósfera que se encuentra encima de la troposfera se extiende desde la tropopausa hasta la altitud comprendida entre 50 km y 55 km en un lugar dado la temperatura de la estratosfera, en general permanece constante hasta los 20 km y ésta es la que se llama algunas veces

la capa isotérmica, seguidamente la temperatura crece primero lentamente hasta los 32 km y luego más rápidamente por encima de esta altitud.

Las temperaturas en las partes altas de la estratósfera son casi tan elevadas como las cercanas a la superficie de la Tierra, esto se debe a que en esas capas es donde el ozono absorbe las radiaciones ultravioletas del Sol. A estos niveles la atmósfera es muy poco densa y por tanto la radiación solar se transfiere a un número relativamente pequeño de moléculas lo que hace que su energía cinética aumente mucho y se eleve la temperatura del aire.

b.1) Características de la estratósfera

Con la temperatura constante al principio pero a determinada altura se inicia el ascenso hasta llegar a los 0°C el calor es generado por la concentración de ozono que absorbe los rayos ultravioletas.

Su espesor va de la tropopausa hasta los 50 km y 55 km de altura aproximadamente.

Está constituida principalmente de Ozono e Hidrógeno.

El aire sólo se mueve horizontalmente.

Carece de tiempo atmosférico.

Es la zona apropiada para los vuelos de aviones ultrasónicos.

El límite superior de la troposfera se llama tropopausa, ésta no es continua y su altitud varía según su posición con relación a la Tierra, así en las latitudes bajas existe una tropopausa tropical a una altitud de 18 km aproximadamente, mientras que en las latitudes altas se encuentra una tropopausa polar a 8 km mas o menos entre estas dos regiones está situada la tropopausa de las latitudes medias las características de la tropopausa varían en el tiempo y en el espacio.

En la troposfera la temperatura disminuye regularmente hasta el nivel de la tropopausa. Dado que sobre el ecuador está más elevada es precisamente hasta el nivel de la tropopausa ecuatorial donde se observan las temperaturas más bajas de la atmósfera.

c) Mesósfera

A una altitud aproximada de 50 km la temperatura deja de crecer, éste es el nivel de la estratopausa que corresponde al límite inferior de la mesósfera.

En la mesósfera generalmente la temperatura decrece con la altitud, hasta alcanzar -95°C o menos cuando se llega a una altitud aproximada de 80 km

A este último nivel está situada la mesopausa que es el límite superior de la mesósfera.

La atmósfera al nivel de la mesopausa es más fría que cualquier otro nivel de la atmósfera superior, algunas veces sucede que en latitudes altas cuando el Sol está entre 5° y 13° por debajo del horizonte se observa a este nivel nubes noctilucentes; es posible que estas nubes estén constituidas por partículas de polvo recubiertas de hielo.

c.1) Características de la mesósfera

Contiene las nubes más altas.

Su temperatura disminuye con la altura.

Su espesor se extiende hasta los 80 km.

Los rayos ultravioletas transforman el Oxígeno en Ozono.

Los meteoritos se desintegran en esta capa por la fricción que sufren con las moléculas de Oxígeno.

La atmósfera al nivel de la mesopausa es más fría que a cualquier otro nivel de la atmósfera superior generalmente la temperatura decrece con la altitud hasta alcanzar -95°C .

d) Termósfera

La termósfera es la región que se encuentra sobre la mesopausa y se caracteriza por un aumento progresivo de la temperatura; cuando el Sol está tranquilo, este aumento de temperatura se produce hasta cerca de 400 km pero en periodos de actividad solar puede llegar hasta 500 km aproximadamente. La composición de la atmósfera en la termósfera es distinta ya que debido a los efectos de los rayos ultravioletas y de los rayos X, emitidos por el Sol, las moléculas de un gran número de gases se separan quedando, por tanto libres los átomos que las constituían por otra parte, los gases tienen menos tendencia a mezclarse y las moléculas y átomos más pesados se separan de los otros por efecto de la gravedad.

Debido a esto a medida que ascienden las moléculas de Nitrógeno más pesadas ceden su sitio, a los átomos de Oxígeno que a su vez son remplazados a niveles más altos por los átomos de Hidrógeno más ligeros; en la termósfera la ionización es muy importante, pues tanto los iones como los electrones pueden permanecer separados durante un período relativamente largo, esto no se produce en la mesósfera, más que durante el día bajo la acción de las grandes presiones de la troposfera, la unión de partículas que tengan una carga eléctrica positiva es aún más fácil, las regiones de la termósfera y de la mesósfera caracterizadas por la ionización constituyen la ionosfera, la importancia de la ionosfera deriva del hecho que los electrones en particular, reflejan las ondas radioeléctricas.

d.1) Características de la termósfera

Contienen sólo pequeñas cantidades de gases.

Con temperatura constante al principio, pero a determinada altura se inicia el ascenso continuo alcanzando temperaturas superiores a los 1000°C .

Las altas temperaturas registradas en las partículas de esta capa no son de peligro debido al tamaño tan pequeño y a la distancia tan grande que existe entre ellas.

Tienen un espesor desde los 85 km hasta los 1600 km aproximadamente.

Es la capa de la aurora boreal.

Los rayos X y los ultravioletas con carga eléctrica llamadas iones.

Tiene la propiedad de reflejar o devolver a la Tierra las ondas de radio cortas o largas emitidas por la Tierra, gracias a esta característica, la transmisión puede escucharse a grandes distancias; dentro de la atmósfera se encuentran otras

capas reflectoras de ondas radio – eléctricas identificadas con letras D, E, F y F2.

A.4) Propiedades de la atmósfera y meteorización

Existe una importante relación entre la atmósfera y la superficie terrestre muy determinante en el nivelado del paisaje de la superficie terrestre, poniéndose de manifiesto el contenido de vapor de agua en la atmósfera.

El equilibrio en la densidad del aire y del vapor de agua hace posible una redistribución ininterrumpida de la humedad en la superficie terrestre.

La atmósfera constituye el papel de acumulador de grandes cantidades de humedad y se encarga de la transportación de la misma, las nubes son humedad en una situación transitoria inestable de los vapores que contiene la atmósfera; estas nubes que producen precipitaciones se caracterizan por la irregularidad que presentan y está determinada por la latitud geográfica del lugar por la humedad del aire, por las características del relieve y por la dirección de los vientos predominantes.

Otro factor importante que determina la intensidad de los procesos geológicos exógenos, son las corrientes de aire en la atmósfera la causa principal del desplazamiento de las masas de aire está en la irregular densidad de la atmósfera determinada a su vez por la rotación de la Tierra, por la radiación solar que calienta regularmente la superficie terrestre y por el relieve del planeta. El calentamiento desigual de la superficie terrestre; la distribución vertical de la temperatura en la atmósfera las variaciones estacionales de temperatura provocan los desplazamientos del aire tanto horizontales como verticales.

Todo esto tiene gran importancia para la Geología ya que los factores climáticos determinan considerablemente la intensidad y el carácter de los procesos geológicos en la superficie terrestre.

Los cambios de temperatura y las precipitaciones atmosféricas constituyen los principales factores de los cuales depende la velocidad con que se destruyen las rocas.

La circulación de materia que se efectúa de un modo continuo en las zonas gaseosas y líquida, constituye un mecanismo muy complicado que se mantiene esencialmente gracias al calor procedente del Sol. Un ejemplo de tal circulación es la de los vientos; otro más complejo la circulación del agua. El calor solar eleva el vapor de agua desde la superficie de los océanos, mares, lagos y ríos y el viento distribuye este vapor por todas partes a través de las capas inferiores de la atmósfera que es donde se forman nubes.

Se precipita de éstas, el agua bajo la forma de lluvia y nieve, al caer en la Tierra se va reuniendo en ríos y glaciales que actúan sobre la tierra hasta disgregar las rocas y producirse de este modo los derrumbes rocosos que gradualmente van siendo arrastrados.

La producción de derrumbes rocosos por todos estos diversos agentes en parte por el resquebrajamiento puramente mecánico y en parte por disolución y descomposición química se conoce con el nombre de meteorización.

Si no existiera la atmósfera la meteorización no sería posible ya que ésta depende directamente de los procesos atmosféricos que están en contacto con la superficie terrestre.

Así pues es importante, para un geólogo, unir los dos criterios de ciencia geológica de tierra sólida y las ciencias de la tierra como son la Oceanografía, la Meteorología y la Astronomía planetaria ya que todas ellas están vinculadas directamente con la Geología así lo han establecido los enormes avances en la exploración de los océanos, la atmósfera y los espacios interplanetarios.

La tierra sólida no está sola, depende directamente de las demás ciencias de la tierra antes mencionadas; su dinámica externa está influida por estas ciencias.

A.5) Radiación solar

La radiación solar es un conjunto de ondas electromagnéticas que se propagan en el espacio a la velocidad de la luz y en línea recta.

a) Intercambios de calor en la atmósfera

La enorme cantidad de energía contenida en la atmósfera se manifiesta claramente durante los temporales, también se exterioriza en las grandes corrientes de aire, que barren los continentes y los océanos. Prácticamente toda esta energía proviene del Sol, en forma de radiación electromagnética. Las cantidades de energía emitidas por el centro caliente de la tierra y por las estrellas son totalmente despreciables.

El 99% aproximadamente de la energía de la radiación solar es transportada en banda de longitudes de onda comprendidas entre 0.15 y 4.0 micrómetros. de esta radiación el 9% aproximadamente, pertenece al ultravioleta, el 45% al espectro visible y el 46% al infrarrojo, por esto algunas veces se dice que la radiación solar es una radiación de onda corta emitida por el Sol es absorbida realmente por la superficie del globo y el resto que es absorbida por la atmósfera o reflejado o difundido por la misma.

El Ozono contenido en la atmósfera absorbe la mayor parte de la radiación ultravioleta; el único gas que absorbe la radiación visible en cantidades importantes es el vapor de agua, pero también lo absorben en cantidades variables. Las nubes y los polvos según las condiciones del momento.

b) Importancia de la radiación solar

El Sol es el centro del sistema solar y aunque es una de las estrellas más pequeñas del universo su tamaño es 330 000 veces mayor que el de la Tierra, la emisión de la energía se debe a las reacciones nucleares entre los gases que lo componen (principalmente Helio e Hidrógeno) o sea que al fusionarse un átomo con otro desprenden cantidades enormes de energía.

Los cuerpos calientes irradian más calor que los cuerpos fríos y lo hacen con rayos cuya longitud de onda es más pequeña, el Sol como cuerpo muy caliente (6000°K en su capa externa) irradia una enorme cantidad de energía que corresponde a la longitud de onda corta en cambio un cuerpo frío como la Tierra (288°K) irradia muy poca cantidad de energía y la mayor parte de su radiación corresponde a la longitud de onda larga (infrarroja). Se concluye que

la superficie terrestre y todo lo que se encuentra sobre ella (agua, plantas, animales y la atmósfera misma), son sensibles a la radiación solar además es la fuente de energía calorífica más importante del planeta Tierra ya que de ellas dependen todas las formas de vida existentes y casi todos los fenómenos que se presentan en la atmósfera, por ejemplo:

- a) El calor solar produce la evaporación del agua.
- b) La precipitación es el resultado de la evaporación y condensación del vapor de agua.
- c) La presión atmosférica depende del mayor o menor grado del calor que se presenta en la atmósfera.
- d) Las diferencias de presión entre las masas de aire originan los vientos.
- e) La radiación solar determina la distribución geográfica de los climas.
- f) En un futuro no muy lejano (50 años aproximadamente) la energía solar sustituirá a los combustibles de tipo orgánico (Carbón y Petróleo).

c) Tipos de radiación solar

La radiación solar que llega al límite superior de la atmósfera se puede dividir en tres grupos de radiaciones diferentes que son: Radiación química o ultravioletas, radiación luminosa o lumínica y radiación térmica.

c.1) Radiación química o ultravioleta

Esta formada por radiaciones cuya longitud de onda es muy pequeña, menor de 0.4 micrómetros; estas radiaciones son absorbidas por las moléculas de Ozono y Oxígeno. En la atmósfera, estos gases son los que protegen la vida terrestre de los efectos nocivos de la radiación ultravioleta, el ojo humano no está adaptado para ver esta luz sólo es posible observarla a través de lentes especiales.

c.2) Radiación luminosa o lumínica

Es la única luz visible por el ojo humano su longitud de onda varia de 0.14 a 0.7 micrómetros constituye lo que comúnmente se conoce como luz. Es la más importante para cualquier tipo de vida terrestre, atraviesa la atmósfera con poca pérdida de energía aunque puede ocurrir que una gran parte sea reflejada debido a las nubes y los demás componentes sólidos y gaseosos de la atmósfera.

c.3) Radiación térmica

Son las radiaciones cuya longitud de onda es mayor a 0.7 micrómetros; la mayor parte de estas radiaciones son absorbidas por las moléculas de Bióxido de Carbono y el vapor de agua de la atmósfera. Este efecto protector es también esencial para la vida sobre la Tierra, puesto que si llegaran con toda su intensidad se calentaría tanto la tierra, que sería imposible que sobrevivieran las plantas y animales.

La superficie de la tierra al igual que la atmósfera también actúa como un amortiguador entre las radiaciones extremas diurnas y nocturnas. Durante el

día, recibe energía del Sol y se calienta mientras que en la noche, irradia calor y se enfría lentamente, sin este efecto amortiguador la mayoría de los seres vivos encontrarían intolerables las temperaturas extremas, tanto diurnas como nocturnas y se presentarían temperaturas como las que se han registrado en la Luna en el día hasta de 100°C y por la noche baja hasta -150°C. En la figura 3 se muestra la distribución de la radiación solar.

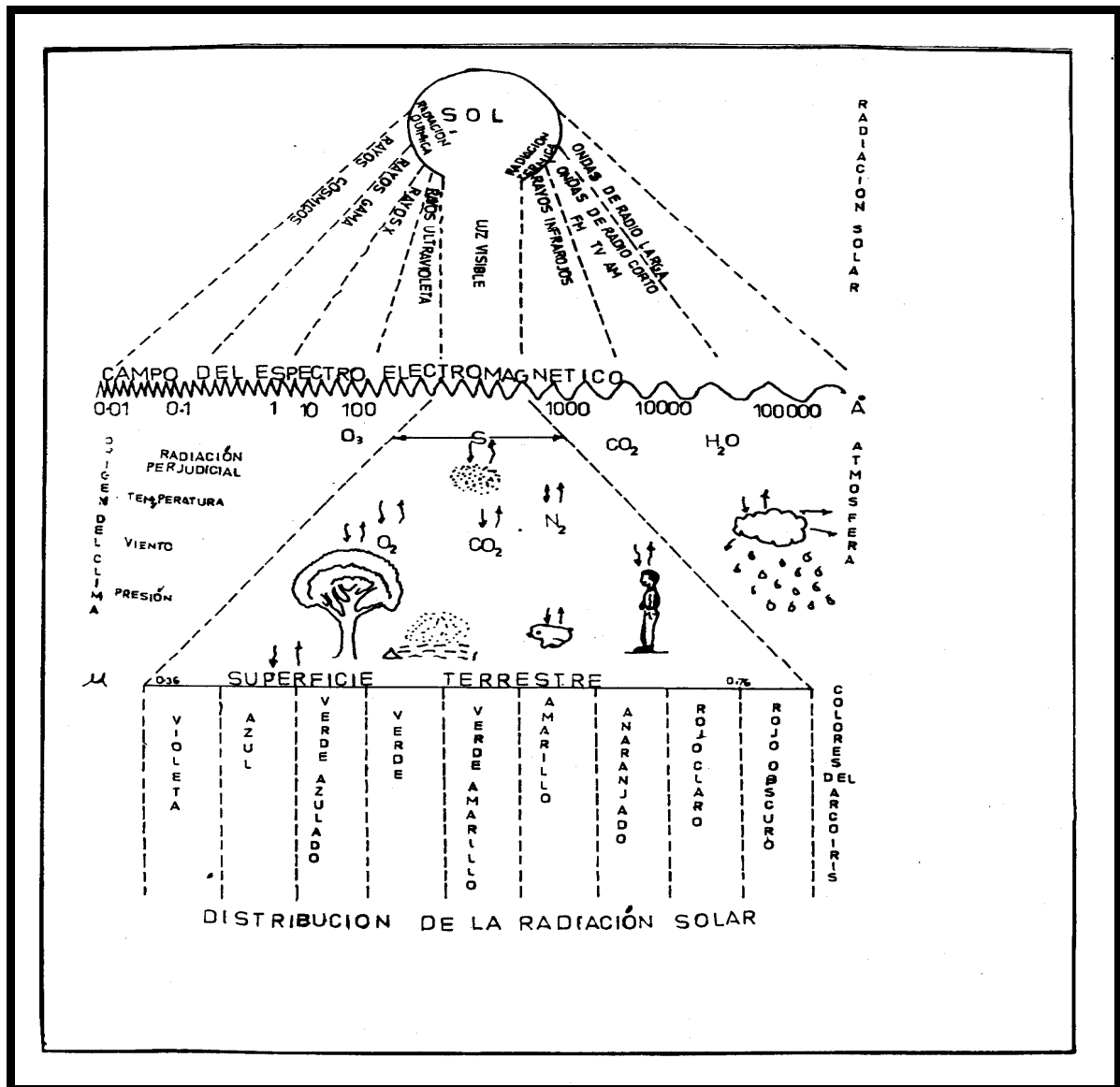


Figura 3. Distribución de la radiación solar.
(Fuente Libro de apuntes de meteorología 1990 O.M.M)

d) Variación de la radiación solar.

Independientemente de las características físicas del lugar, así como la fecha y la hora en que se mide la radiación solar, se mencionan algunas de las características generales de la tierra que influyen en la cantidad de calor que ésta puede absorber en un área determinada.

Por su forma esférica y la inclinación ($23^{\circ}27'$) que presenta la tierra.

Los rayos solares inciden sobre la superficie terrestre con ángulos diferentes, según sean la latitud y la época del año, habrá mayor calor en el ecuador, por ser ahí donde inciden los rayos perpendicularmente y al aumentar la latitud el calor disminuye debido a que los rayos solares se alejan de la perpendicularidad formando ángulos menores y mayores áreas iluminadas.

La figura 4 representa las relaciones entre la Tierra y el Sol.

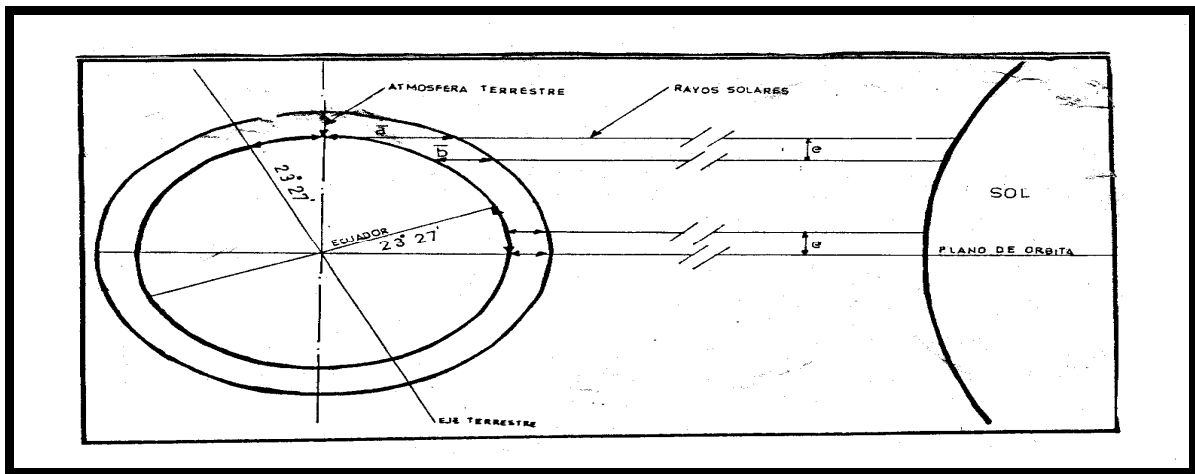


Figura 4. Relación entre la tierra y el sol.

(Fuente: Libro de apuntes de meteorología 1990 O.M.M)

La figura 5 muestra el clima astronómico o zonas térmicas.

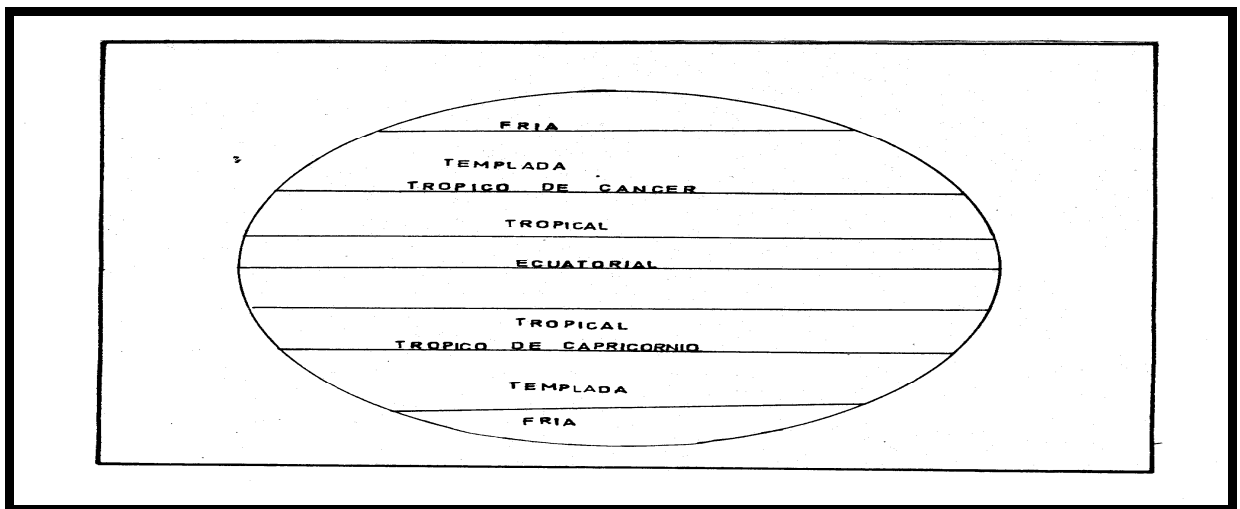


Figura 5. Zonas térmicas

(Fuente: Libro de apuntes de meteorología 1990 O.M.M)

A.6) Actividad geológica del viento definiciones y principios

a) Viento

Es el aire en movimiento horizontal debido a las fuerzas de presión, fricción coriolis, gravedad, forma y movimiento de la tierra. Si no hubiera vientos, los polos serían mucho más fríos y el ecuador llegaría a calentarse en forma inimaginable.

Afortunadamente los vientos equilibran el calor de los trópicos y el frío de los polos. El viento se origina por las diferencias de temperatura que se producen en la atmósfera, lo cual ocasiona diferencias de presión. Las presiones distintas tienden a equilibrarse mediante desplazamiento de las masas de aire procedentes de los lugares de mayor presión hacia los lugares de menor presión.

b) Frentes

Para que se forme un frente se requieren dos condiciones:

La presencia de dos masas de aire con temperatura y contenido de humedad diferentes, esto es lo que evita que dichas masas de aire lleguen a mezclarse y

que converjan por efecto de la circulación general de la atmósfera. Se deduce que los frentes siempre van acompañados por cambios bruscos de temperatura, humedad y vientos.

El término de frente se usa comúnmente para identificar la zona de transición entre la masa de aire polar y la tropical. Existen varios tipos de frentes que son los siguientes:

b.1) Frente estacionario

Es cuando la superficie frontal o frente permanece en reposo sin sufrir movimiento hacia una de las masas de aire. En este caso el estado del tiempo es despejado y tranquilo.

La figura 6 muestra un frente estacionario

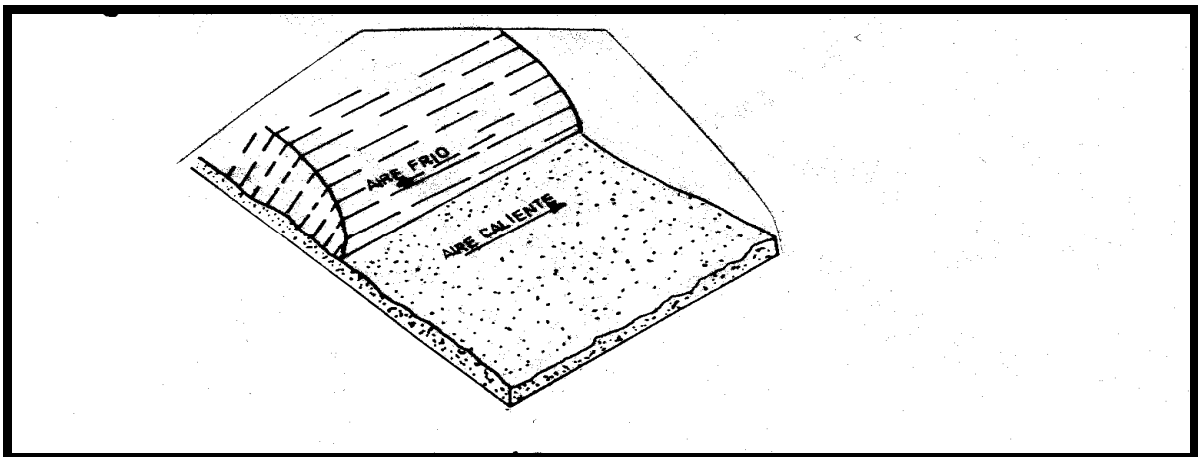


Figura 6. Frente estacionario.

(Fuente: Libro de climatología 1994 Universidad de Chapingo)

b.2) Frente caliente o cálido

Se presenta cuando la masa de aire caliente avanza hacia la fría, subiendo sobre ella en una pendiente que va del 1% al 2%. La aparición de nubes del género cirros, son indicadores de la llegada del frente cálido, a los cirros les siguen después la formación de los cirrostratos, altostratos, cúmulos y por último los nimbostratus, que dependiendo de la altura sobre el nivel del mar y la latitud, llegan a originar lloviznas o nevadas que puedan durar minutos, horas, incluso días. Este frente termina de pasar al dejar de llover o nevar con lo cual el cielo se despeja iniciándose así un ascenso de la temperatura y un descenso de la presión atmosférica.

La figura 7 muestra un frente caliente o cálido.

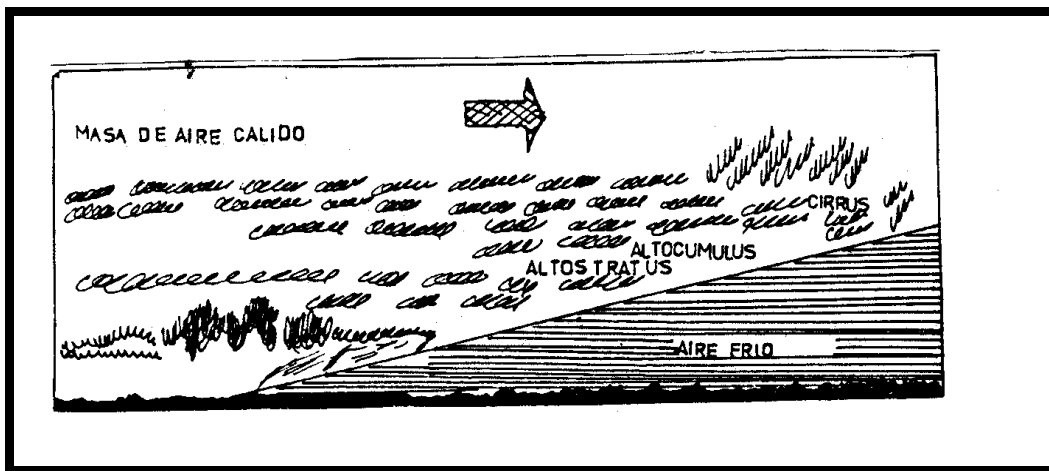


Figura 7. Frente cálido
(Fuente: Libro de climatología 1994 Universidad de Chapingo)

b.3) Frente frío

Se presenta cuando la masa de aire frío avanza hacia la caliente desplazándola al ser empujada por debajo, abrigándola así al ascender varios kilómetros. Debido a su menor densidad, al elevarse el aire caliente, se provoca el enfriamiento y con ello la condensación del vapor de agua la formación de nubes del género cumulonimbus y finalmente la precipitación. En este caso se originan tormentas, granizadas y descargas eléctricas con fuertes vientos.

La figura 8 muestra un frente frío

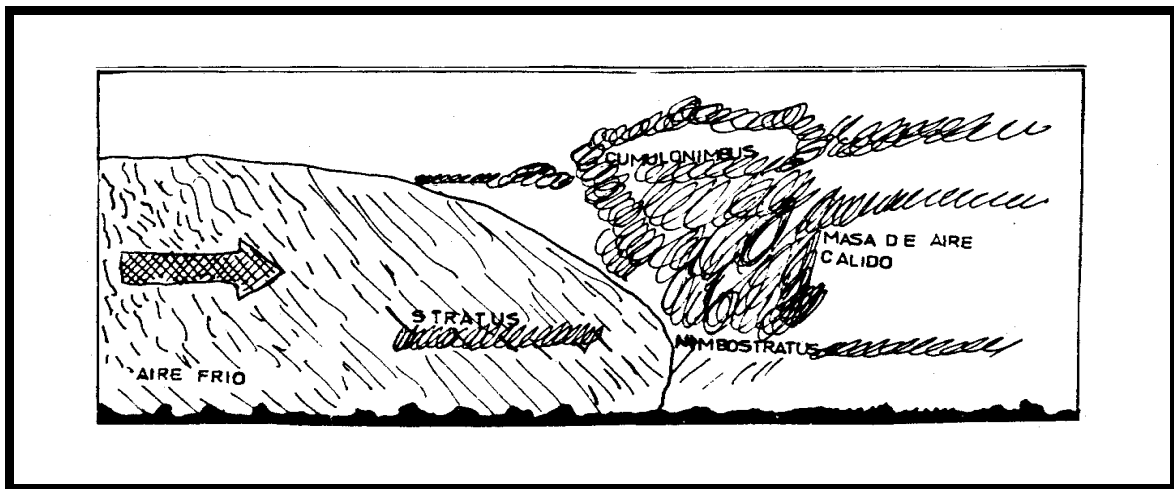


Figura 8. Frente frío
(Fuente: Libro de climatología 1994 Universidad de chapingo)

b.4) Frente ocluido

Es un frente frío sólo que el desplazamiento del aire caliente es a una velocidad de aproximadamente a 50 km/h con lo cual se originan ciclones que se caracterizan por correr los vientos de afuera hacia adentro, girando en el hemisferio norte hacia la izquierda y en el hemisferio sur hacia la derecha. También se caracterizan por presentar, en la zona central del ciclón, una presión baja y por tanto alta temperatura, en este caso el estado del tiempo es violento con fuertes vientos y lluvias torrenciales acompañadas de descargas eléctricas.

La figura 9 muestra un frente ocluido.

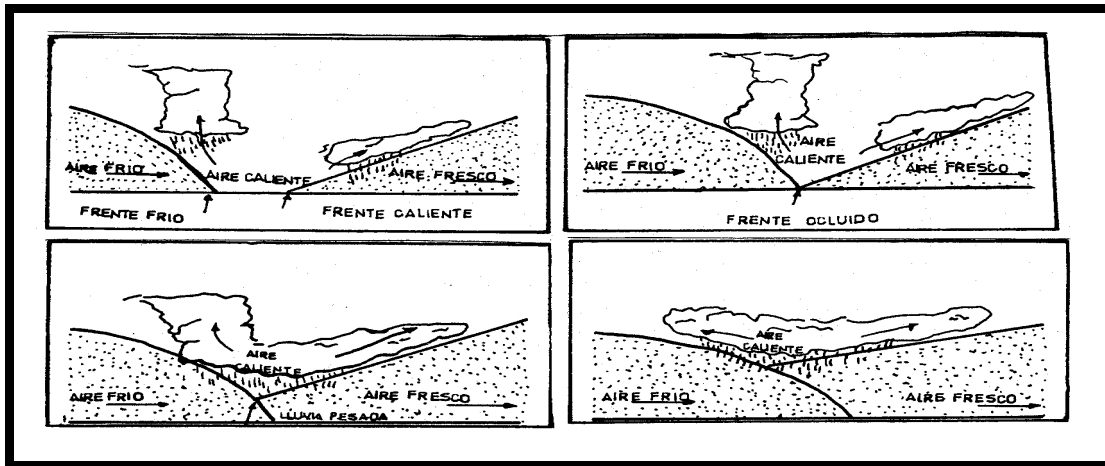
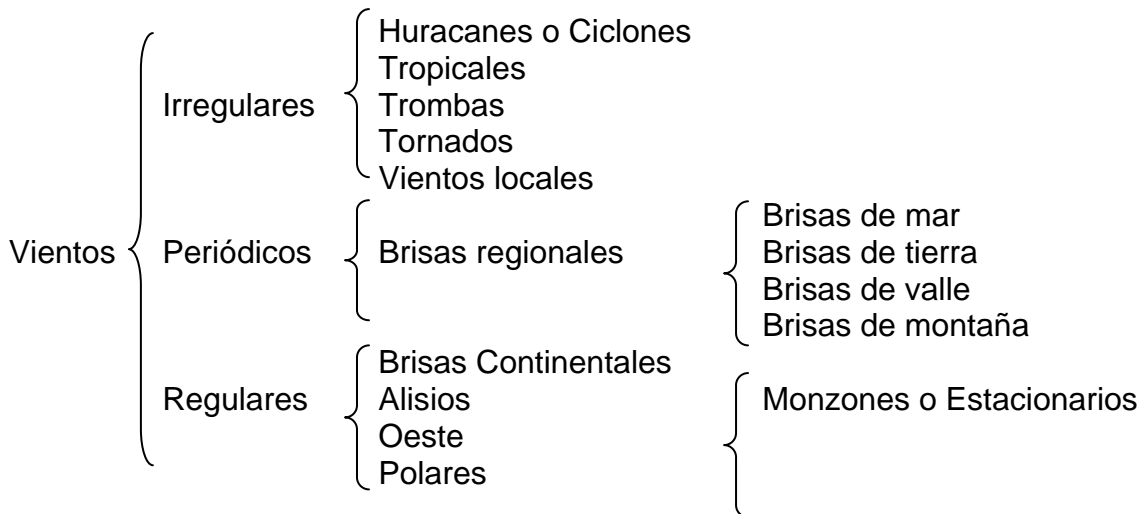


Figura 9. Frente ocluido
 (Fuente: Libro de climatología 1994 Universidad de Chapingo)

c) Tipos de vientos

Por la dirección en que soplan los vientos que se originan sobre la superficie de la tierra, así como por su frecuencia de aparición, se clasifican de la siguiente manera.



Los mayores perjuicios y daños se deben por un lado a la violencia de los vientos que pueden alcanzar velocidades de 200 a 300 km/h, capaces de arrasar construcciones y de derribar árboles mientras que otra parte de los daños causados se le atribuye a las inundaciones que ocasionan las olas de 6m. de altura.

Esto último favorece principalmente la inundación en las zonas costeras, mientras que en el interior de los continentes, las inundaciones se deben a los desbordamientos de ríos y depósito de almacenamiento de agua (presas), como consecuencia de la cantidad de agua precipitada.

d) Formación de un huracán

Los huracanes se forman y se desarrollan durante el verano y el otoño cuando la superficie de las aguas oceánicas alcanzan temperaturas de alrededor de 29°C.

En esta época las corrientes de aire tibio y húmedo tropical que están por encima de esta agua también alcanzan su máxima expansión y se elevan tan alto (de 3 a 15 km), como su temperatura lo permita formándose una corriente convectiva que mueve además un volumen grande de nubes de género cúmulos que producen algunos aguaceros a un centenar aproximadamente de kilómetros del centro de baja presión.

Donde la corriente convectiva comienza a elevarse se crea una zona de baja presión y entonces el aire circundante que está a mayor presión se dirige hacia esta zona reemplazando así el aire caliente que asciende. Si en la zona de baja presión, el aire comienza a circular enrollándose como un torbellino o espiral de nubes debido a la fuerza de coriolis, se dice que hay un movimiento ciclónico con lo cual se inicia el nacimiento de un huracán.

En esta etapa de su evolución, este fenómeno recibe el nombre de depresión tropical que se caracteriza porque los vientos giran a una velocidad de alrededor de 55 km/h; si durante su desplazamiento a lo largo de su camino las condiciones siguen siendo propicias, es decir, aguas oceánicas tibias y lejanas de los continentes, se incrementará la velocidad del viento y al pasar de 55 a 100 km/h, la depresión se convierte en una tormenta tropical que en la mayoría de los casos sólo llegan a esta fase desapareciéndose posteriormente.

En esta etapa de desarrollo ya se puede observar desde arriba el remolino o torbellino de nubes perfectamente bien formado, con un centro circular vacío llamado ojo del huracán, cuyo diámetro varía de 25 a 100 km. Si la temperatura superficial del mar que la tormenta tropical va encontrando en su camino, no desciende, ésta se transforma en huracán al adquirir el viento una velocidad igual o mayor de 117 km/h. y es a partir de este momento cuando el fenómeno se le bautiza con un nombre de mujer o de hombre.

En la parte más alta del remolino la corriente de aire se dispersará y en su base arrastra al interior del embudo más aire de las capas inferiores como si se tratara de un tiro de una gigantesca chimenea, en la que el agua del mar actúa como combustible siendo así como succiona enormes cantidades de aire y de vapor que saldrán por la parte superior. En la periferia del torbellino que rodea al ojo, los vientos pueden alcanzar velocidades de hasta 300 km/h; la masa de nubes que se desarrollan verticalmente y que son dispersadas en la parte superior del torbellino son las responsables de los aguaceros intensos que se originan a unos cuantos kilómetros del ojo del huracán.

La condensación del vapor de agua en las nubes y la posterior precipitación liberan el llamado calor latente de evaporación, el cual actúa como una fuente de energía primaria en el desarrollo del huracán y sólo morirá al moverse sobre superficies de agua fría o sobre la superficie terrestre que presenta zonas mucho más frías que las existentes en el mar.

e) Regiones Donde Se Originan Los Huracanes

Las regiones oceánicas donde se han registrado con mayor frecuencia el nacimiento de los huracanes a nivel mundial se encuentran localizadas aproximadamente entre los 6 y 15 ° de latitud.

1. Región suroeste (SW) del Océano Pacífico a la altura de la isla de Filipinas es en este lugar donde se ha observado el mayor número de huracanes que se desplazan hacia China, Corea y Japón. Cuando nacen al noroeste (NW) y más alejados de Filipinas llegan a desviarse hacia las costas de México afectando principalmente los estados de Guerrero y Michoacán; ya que más hacia el norte generalmente los huracanes regresan nuevamente hacia el mar o mueren antes de llegar a tocar a tierra por lo que únicamente se llegan a sentir en Jalisco, Nayarit, Sinaloa y Baja California.
2. El segundo lugar lo ocupa la región sur del Océano Índico favoreciéndose con ellos parte de la India, Arabia y el Occidente de África.
3. En tercer lugar se encuentra la región norte de Australia misma que ha sido fuertemente dañada en más de una ocasión por los huracanes que llegan a morir al tocar tierra en dicho continente.
4. Por último se tienen los que nacen en la región occidental del continente Africano y que afectan a Centroamérica, México y principalmente a los Estados de Norteamérica.

La figura 10 muestra las regiones donde se originan los huracanes y sus trayectorias típicas.

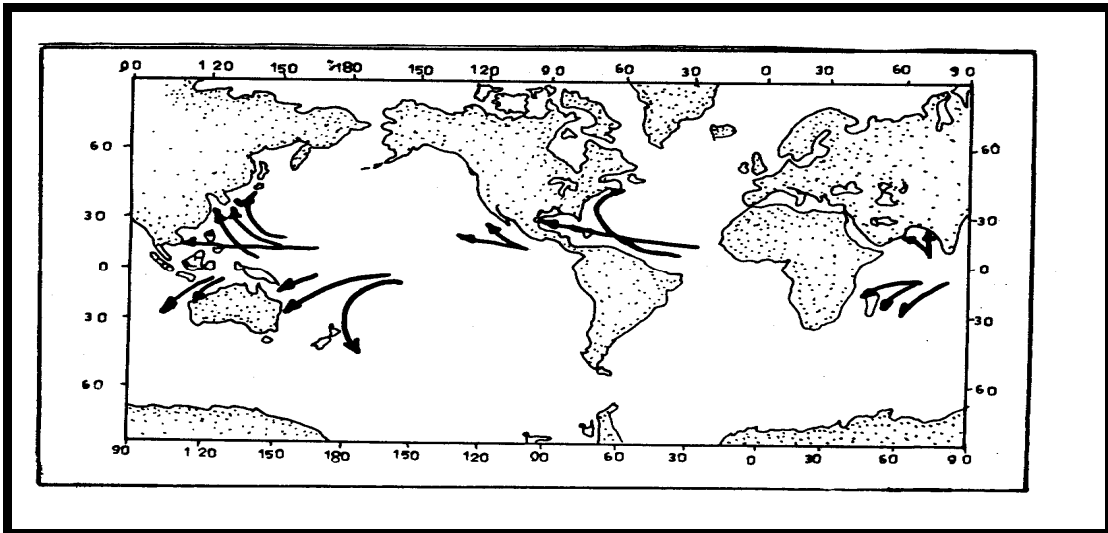


Figura 10. Regiones donde se originan los ciclones y trayectorias típicas.
(Fuente: Apuntes de meteorología 1990 O.M.M)

La figura 11 muestra el número de ciclones que afectaron las costas de México de 1962 a 1984.

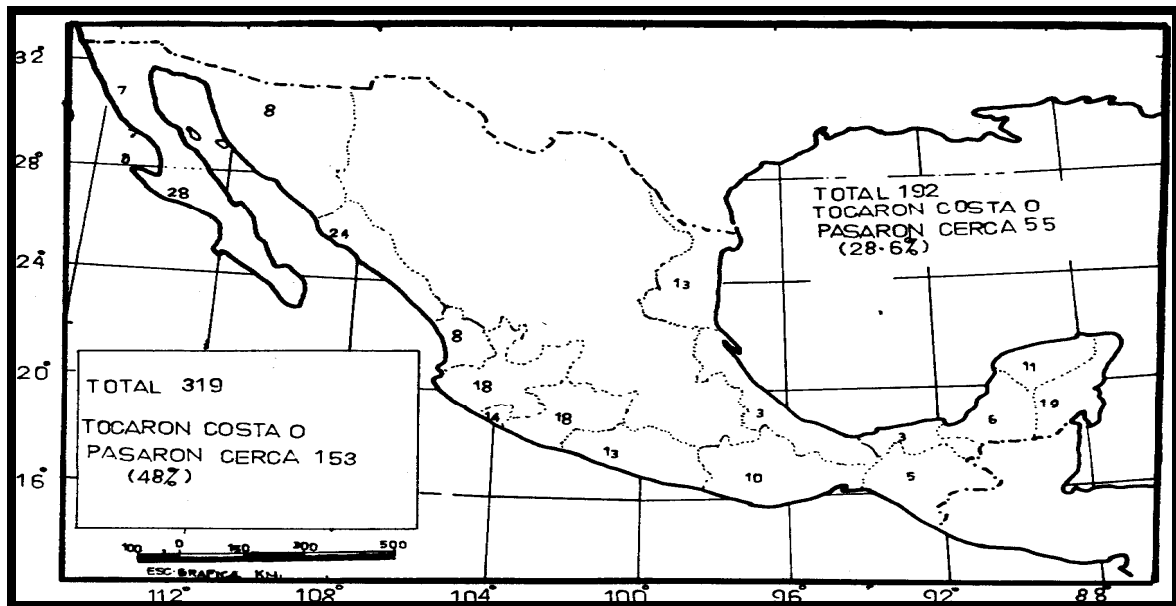


Figura 11. Número de ciclones de los años 1962-1984.
(Fuente: Servicio Meteorológico Nacional 1986 C.N.A.)

Al observarse el mapa anterior se pueden apreciar los estados de la República Mexicana más afectados por los huracanes así como la frecuencia de aparición y trayectoria que estos siguen concluyéndose lo siguiente:

- Del lado del Océano Pacífico, se presentó la mayor actividad ciclónica siendo casi el doble de la que ocurre en el Océano Atlántico.
- Los estados de la República Mexicana más afectados por el lado del Océano Pacífico, son Guerrero y Michoacán que en promedio reciben 4 ciclones por año, mientras que por el lado del Océano Atlántico sólo llega a tocar tierra dos ciclones por año.
- Del lado del Océano Atlántico se afecta principalmente a los estados de Yucatán Quintana Roo, Veracruz y Tamaulipas.

f) Trombas

Son remolinos semejantes a los ciclones pero de un diámetro mucho menor que estos cuando se producen en la superficie de la tierra se llaman tornados.

g) Tornados

Se forman en las llanuras extensas al chocar dos masas de aire con temperaturas diferentes los vientos llegan a virar con una velocidad ascendente de hasta 800 km/h capaces de derribar casas, levantar techos de lámina, producen desgarramientos de ramas, la caída de árboles. Tienen diámetros pequeños (200 m en comparación con los de un huracán) y el tiempo de duración es de sólo algunos segundos o minutos.

h) Vientos locales

Se originan por el desigual calentamiento que se produce en determinadas épocas del año en algunas localidades con topografía irregular por ejemplo los vientos cálidos húmedos que son obligados a subir a una montaña por el lado de barlovento llega a un momento en el que el vapor de agua, que llevan se condensa formándose así las nubes del género cúmulos y cumulonimbus que al seguir ascendiendo llega el momento en que precipitan la humedad, que estas contienen, en forma de lluvia para posteriormente descender secos y calientes por el lado de sotavento donde se forman torbellinos o remolinos de aire capaces de bajar un avión cuando estos llegan a invadirlos.

i) Vientos periódicos

Son los que soplan la mitad del tiempo en una dirección y la otra mitad en dirección opuesta, estos se originan por el desigual calentamiento que ocurre a nivel regional o continental y como ejemplo se tienen los siguientes.

j) Brisa de mar

Se originan por la diferencia de temperatura que se presenta entre la tierra y el mar, la tierra se calienta y se enfría más rápido que el agua, razón por la cual durante el día, el aire que está en contacto con el suelo se calienta y se eleva siendo sustituido por la brisa del mar, que se caracteriza por ser un viento frío y húmedo.

k) Brisa de tierra

Cuando el calor disminuye la tierra se enfría más rápido que el mar, entonces la brisa invierte su dirección y sopla desde las 6 de la tarde aproximadamente hasta las 9 o 10 de la mañana de la tierra al mar.

l) Brisa de valle o montaña

Éstas se desarrollan de una forma similar a la de las brisas de mar y tierra en el día será brisa del valle cuando el aire fresco del valle sopla hacia la montaña reemplazando el aire caliente de la ladera, después de ocultarse el Sol, la ladera de la montaña se enfría con mayor rapidez que el valle, siendo entonces cuando la dirección del viento se invierte para originar la brisa de montaña.

La figura 12 muestra los diferentes tipos de vientos periódicos que existen.

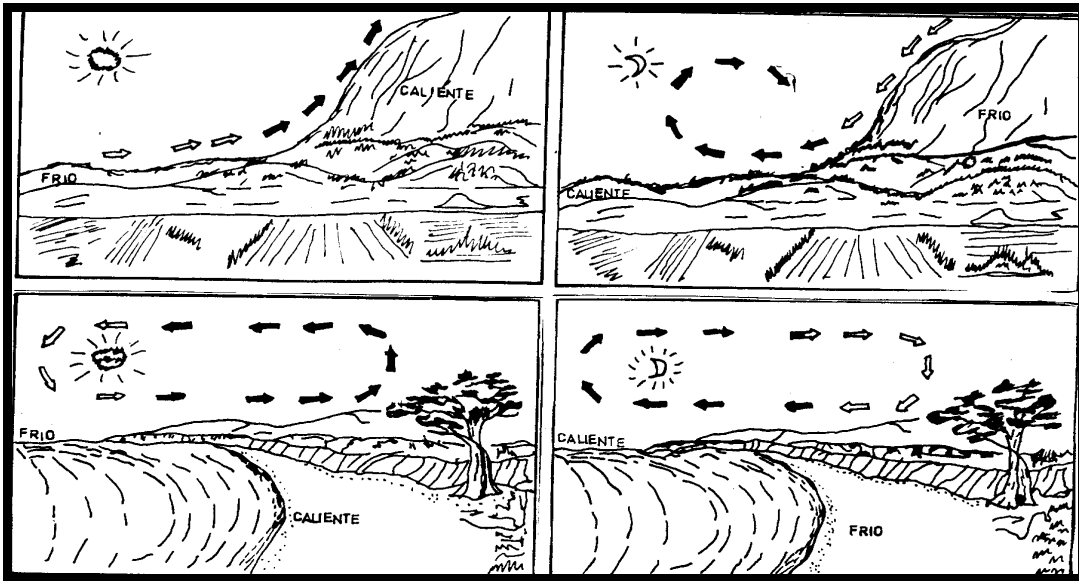


Figura 12. Vientos periódicos
(Fuente: Libro de Climatología 1994 Universidad de Chapingo)

m) Monzones

Son los vientos periódicos que adoptan el nombre de la estación del año en que aparecen y se originan por el desigual calentamiento que se produce entre los continentes y el mar por ejemplo:

m.1) El monzón del verano

Sopla durante esta estación, del mar hacia los continentes, estos vientos se caracterizan por ser cálidos y húmedos que llevan desde Abril a Octubre la humedad del mar hacia los continentes y en el caso particular de México se manifiesta con las lluvias que se originan durante el periodo temporal.

m.2) Monzón de invierno

Sopla en dirección opuesta al de verano es decir del continente al mar. Estos se caracterizan por ser fríos y secos desde Octubre al mes de Abril no es que estos vientos no invierten su dirección del día a la noche sino de verano a invierno.

n) Vientos regulares

Son los que soplan durante todo el año en una misma dirección.

A.7) Circulación general de la atmósfera

Es el conjunto de sistemas de vientos y corrientes de aire que se presentan en la troposfera debido a las diferencias de presión atmosférica que se originan en ella. También se pueden definir como el comportamiento general que tiene el

viento desde la superficie terrestre hacia el límite superior de la troposfera y parte de la estratosfera inferior, la circulación general de la atmósfera, está ligada a las principales zonas de precipitación y también define las grandes regiones climáticas que conforman la tierra en términos generales los vientos se comportan con las siguientes leyes:

1. Los vientos siempre se mueven de las áreas de mayor presión a las de menor presión.
2. La velocidad es mayor a medida que aumenta la diferencia de presión entre ambos lugares.
3. Por el efecto del movimiento de rotación de la Tierra los movimientos se desvían al oeste, cuando se dirigen hacia el ecuador y hacia el este cuando se dirigen hacia las altas latitudes.

La figura 13 muestra el comportamiento de los vientos en todo el planeta.

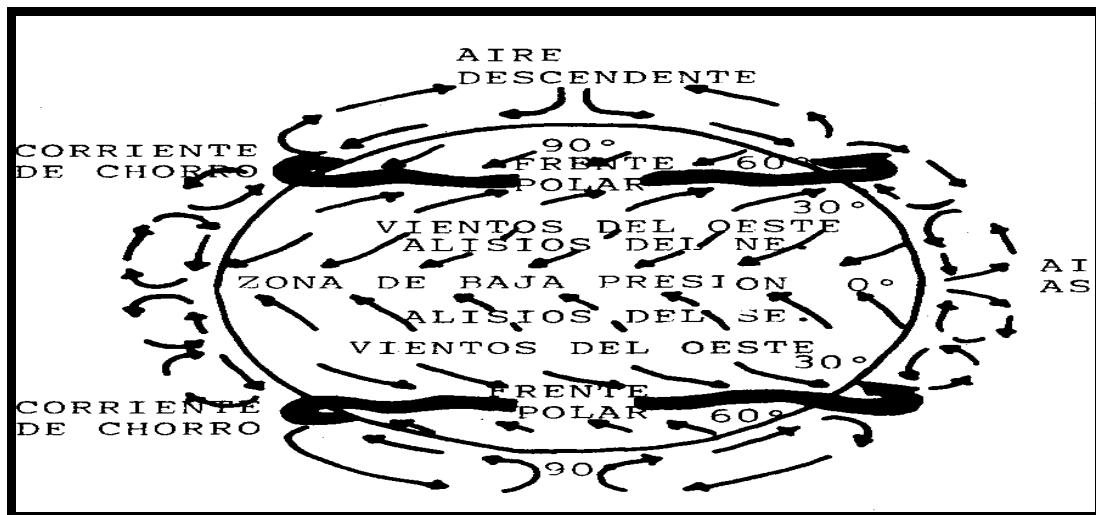


Figura 13. Distribución de los vientos en todo el planeta.
(Fuente: Apuntes de Meteorología 1990 O.M.M)

a). Regiones de las corrientes ascendentes ecuatoriales

Debido al calentamiento que se presenta en el ecuador se origina a lo largo de él una zona de baja presión, el aire se calienta y tiende a elevarse, pero en una determinada altura se enfría y desciende en los trópicos y entonces cada hemisferio funciona como si fuese una inmensa célula convectiva y la humedad que contiene se condensa creando nubosidad y precipitaciones abundantes.

b).Región de las corrientes descendentes subtropicales

En el límite superior de la troposfera llega un momento en que el aire ecuatorial no puede seguir subiendo y se dispersa horizontalmente hacia el norte y sur, como ya no puede descender sobre el mismo lugar, lo hace sobre la superficie de la Tierra en forma oblicua y a una latitud de 30°, formándose así la región de las corrientes descendentes subtropicales a partir de esta región anticiclónica o de alta presión, una parte del aire regresa al ecuador con una dirección noreste dando origen a los vientos alisios del noreste en el hemisferio norte a los alisios del suroeste en el hemisferio sur siendo en esta faja donde se presentan los desiertos del mundo.

La otra parte del aire se dirige hacia la región subpolar de baja presión que se encuentra a los 60° de latitud, toma una dirección suroeste en el hemisferio norte y noroeste en el hemisferio sur; dando origen a los vientos denominados del oeste o contralisios.

El contenido de humedad que llevan los vientos alisios del oeste o contralisios depende del tipo de superficie por donde pasen, es decir, al pasar por una superficie cubierta de agua, recogen humedad y por tanto, serán vientos húmedos de lo contrario serán vientos secos; por ejemplo se sabe que una parte de los vientos alisios del noreste atraviesan el Océano Atlántico, cargándose así de humedad que posteriormente descargarán en el lado este de la sierra madre oriental de la República Mexicana; lo cual explica el porqué llueve más en las costas del Atlántico que en las del Pacífico.

Lo mismo se puede decir de los vientos del oeste, que llevan humedad del océano a una buena parte del noroeste de Estados Unidos, Irlanda, Isla Esmeralda, Portugal, España y Francia.

c) Región subpolar o frente polar

Es la zona de baja presión donde convergen los vientos del oeste o ascendentes con los circumpolares o descendentes, las corrientes polares descendentes o circumpolares, obligan al aire ascendente a enfriarse produciéndose precipitaciones generalmente en forma de llovizna o nieve.

Este aire, al llegar a la parte superior de la atmósfera, se bifurca yéndose una parte hacia el polo para alimentar a las regiones de calmas polares y otra emigra hacia las corrientes descendentes subtropicales.

d) Región de calmas polares

Es la zona de alta presión, donde se originan los vientos polares que se caracterizan por ser fríos y secos con una tendencia siempre descendente llegando en ocasiones a invadir la zona ecuatorial donde llega a originarse por la influencia de estos vientos las llamadas heladas de advección.

e) Corrientes de chorro

Son ríos de vientos muy fuertes de tipo ciclónico que se presentan en la parte superior de la troposfera (10 a 17 km de altura) circulando de oeste a este.

Por su gran concentración y la velocidad que llega a alcanzar de 200 a 600 km/h se ha llamado chorro polar y el chorro subtropical que separa respectivamente, el aire frío, templado y caliente.

Los cambios en las corrientes en chorro, también producen variaciones climatológicas importantes por ejemplo: se menciona que en 1987 hubo una corriente en chorro rápida que originó un huracán en el sur de Gran Bretaña y en el oeste de Francia.

Después de haber analizado el comportamiento del viento en la atmósfera y su clasificación y distribución en el planeta tierra. Se concluye que el viento es un agente atmosférico muy dinámico y desde luego se encuentra en contacto directo con la superficie terrestre ya que la atmósfera terrestre está compuesta de aire y el viento es el aire en movimiento; los vientos se consideran generalmente como corrientes de aire que se mueven mas o menos paralelos a la superficie de la Tierra, con frecuencia su flujo es turbulento moviéndose hacia arriba o hacia abajo, según sean las condiciones atmosféricas prevalecientes. Por ello el estudio del viento como agente de erosión en la superficie terrestre es de suma importancia.

A.8) Erosión por el viento

La acción de la radiación solar genera la energía que origina el viento.

Esta energía deriva del Sol, establece la dirección y la velocidad de los vientos, parte de esta energía se gasta en transportar el vapor de agua desde el océano a la tierra donde cae como lluvia.

La actividad geológica del viento es muy eficaz en lugares que carecen del manto vegetal, con considerables variaciones de temperaturas diarias estacionales.

La quinta parte de la tierra firme está constituida por regiones desérticas y semidesérticas.

La actividad geológica del viento está determinada por las grandes velocidades que llega a desarrollar éste. Testimonio de la fuerza del viento, son las destrucciones provocadas por las tempestades.

Los huracanes y los tornados, son capaces de elevar y transportar a grandes distancias; arena, cantos rodados y rocas bastante grandes.

Como agente de transporte y por consiguiente de erosión y sedimentación, la acción del viento es muy conocida, sobre todo donde los materiales sueltos de la superficie terrestre no se hallen protegidos por una cubierta de vegetación.

El viento actúa como agente destructor de las rocas originales y después transporta y acumula los productos de la destrucción. El viento destruye las rocas que están en la superficie mediante la acción de la velocidad eólica y la acción de la arena y del polvo que transporta.

El sopleo y la dispersión de las partículas sólidas de las rocas realizados por el viento, se denomina deflación; este proceso que lleva a cabo el viento, puede arrancar sedimentos deleznable y secos y así rebajar la superficie del terreno llevándose a cabo la deflación.

Cargado con los gramos de arena ya adquiridos por la deflación, el viento llega a ser, cerca del suelo, un poderoso agente de pulimento o abrasión.

La erosión resultante se denomina abrasión del viento, a causa de los innumerables impactos, los mismos granos son pulimentados y redondeados.

Otro tipo de actividad destructora desempeñada por el viento, es el desgaste y la destrucción de las superficies duras de las rocas mediante la arena y otro tipo de material fragmentado que transporta el viento esta destrucción de las rocas se llama corrosión.

La corrosión se manifiesta de diferentes formas, según sea la dureza de las rocas y el carácter del material que transporta el viento, las superficies de las rocas se cubren de rayas, surcos, etc.

Los productos resultantes de la actividad del viento se desplazan a grandes distancias cuando la fuerza del viento es suficientemente grande, las partículas pequeñas de rocas originales se transportan en estado de suspensión y los grandes fragmentos se desplazan por arrastre.

Existen testimonios de que los vientos alisios han trasladado polvo desde el Sahara, a través del Océano Atlántico hasta 2500 Km de distancia.

Los fragmentos con dimensión hasta de 0.005mm los transporta fácilmente el viento hasta varios miles de kilómetros de distancia y los de 0.5 y 2 mm pueden ser alejados del lugar del yacimiento original hasta en cientos de kilómetros.

Según cálculos, el volumen del polvo levantado por una tormenta media alcanza 25 kilómetros cúbicos lo cual equivale a 50 000 millones de toneladas.

Los vientos no tienen el empuje y la firmeza de los grandes ríos de modo que la acción del viento, en conjunto, es menos importante que el de las corrientes.

A pesar de esto la actividad del viento es muy importante en las regiones áridas donde hay abundancia de restos de rocas y muy poca vegetación y donde el trabajo de las corrientes es mínimo, en estas zonas el viento tiende a compensar la reducción del trabajo de las corrientes y a complementar su actividad, pero la acción del viento puede ser significativa en otras regiones pues hasta en los sitios más húmedos hay una estación seca favorable a la acción del viento y el polvo del viento puede ser llevado a ellas a pesar del clima húmedo predominante.

Por tanto, las regiones en que se acumulan los depósitos eólicos se llaman desiertos.

Los desiertos están situados generalmente en zonas de climas secos con bruscas variaciones de temperatura y según el relieve pueden ser montañosos o llanos según el carácter de los procesos predominantes y del material eólico, los desiertos se dividen en pedregosos, donde predomina la deflación, arenosos arcillosos donde predomina la acumulación.

a) Erosión por deflación

Las tierras con poca vegetación o los campos arados o recién sembrados son los que están sujetos a este tipo de desgaste, en el transcurso de poco tiempo el viento puede llevarse algunos centímetros de suelo los efectos de esta erosión son las cuencas de deflación, gravas retrasadas y pavimento desértico.

b) Loess

Debido a la textura y a sus componentes minerales los Loess constituyen un suelo fértil y de fácil trabajo.

El Loess es una combinación de polvo y limo llevada por el viento sedimentado del aire por la lluvia y retenida por la acción protectora de las hierbas, la hierba crece un poco más por encima del material recogido durante el año

precedente, dejando atrás un sistema de ramificación de raíces en inmensas extensiones se acumulan centenares de metros, habiendo quedado enterrados paisajes completos, el material en sí es amarillo muy finamente granulado y desprovisto de estratificación aunque es muy friable y poroso.

Las sucesivas generaciones de raíces herbáceas representadas actualmente por tubos estrechos ocupados por carbonato cálcico lo hacen bastante coherente para mantenerse de pie en murallas verticales que no se derrumban, el tránsito a lo largo de los caminos pone en libertad las partículas de este material el viento levanta nubes de polvo y los caminos se deterioran en tal forma que se convierten en desfiladeros de paredes empinadas y cañones.

c) Dunas

Al ser llevada la arena suelta por el viento y al encontrar una obstrucción como un canto, un montón de hierbas o un arbusto reduce el poder transportador del viento y origina el depósito de parte de su carga de esta manera se forman pilas de arena llevadas por el viento que se llaman dunas.

Las dunas son frecuentes a lo largo de las costas marítimas arenosas y de las orillas de los lagos contiguas a las llanuras de corrientes de gradación que corren a través de zonas arenosas próximas a algunos de los sitios cubiertos por arena, a las areniscas blandas geológicamente jóvenes y fácilmente desintegrables de algunas partes de las grandes llanuras y en zonas desérticas arenosas de hecho donde hay arena suelta en abundancia tienden a formarse dunas, sobre todo si la dirección del viento es muy persistente.

En su estado primitivo una duna es un montón ovalado de arena sobre el cual el viento sopla suave y libremente, pero rápidamente un descenso de la velocidad tiene lugar en el lado opuesto debido al aire quieto en la zona protegida lo que se llama sombra del viento como la altura de la duna aumenta y su vértice avanza más de prisa que la base a sotavento se forma una cresta y un declive fuerte que se llama cara deslizante con los granos que caen del viento frenado detrás de la cresta los bordes laterales de la duna en construcción, pueden ser empujados por el viento y producir extensiones de alas o de cuerno en esa dirección.

Las dunas pueden recorrer muchos kilómetros desde la fuente original de la arena y muy lejos de la obstrucción que les dio origen cuando no tienen obstáculos.

Generalmente las dunas son de altura moderada y en zonas grandes no suelen exceder de 6 a 9 metros pero algunas alcanzan elevaciones de cientos de metros.

d) Desiertos

Los desiertos son estructuras que se derivan de la influencia del clima y no son resultado de un proceso geológico particular, sin embargo, tiene una asociación especialmente estrecha con el trabajo del viento.

La mayoría de las regiones áridas, comprenden fajas angostas ubicadas en los trópicos de cáncer y capricornio en todas estas áreas los vientos predominantes lo mismo del sur que del norte son muy secos, pues pierden su humedad desde muy lejos en las costas occidentales de las fajas desérticas, los mismos vientos que producen lluvias copiosas en otras latitudes son

refrescados aquí por las corrientes oceánicas frías y por ello quizá sueltan poca agua al moverse tierra adentro. También hay desiertos en el lado a sotavento de las montañas o en el corazón de los continentes; los vientos por lo general dejan caer casi toda su humedad antes de llegar a regiones tórridas.

e) Distribución de los desiertos

Los 7 grandes desiertos tropicales están entre las latitudes 35° Norte y 32° Sur y a lo largo de franjas tropicales de alta presión y zonas adyacentes ventosas donde el aire descendente se calienta y seca estos desiertos. y son: el Sahara, el Thar de la India occidental, el Kalahari del suroeste de África, el arábigo, el Victoriano de Australia , el Atacama de Sudamérica, el Sonora del suroeste de los Estados Unidos y noroeste de México.

El Kalahari y el Atacama están favorecidos por corrientes oceánicas frías en las costas occidentales adyacentes.

Los principales desiertos de latitud media están en los continentes lejos del océano.

f) Características del desierto

La lluvia en el desierto no es escasa sino irregular e insegura, pueden ocurrir inundaciones a intervalos desde pocos a muchos años.

El cielo es generalmente claro y el sol abundante, la temperatura media anual en los desiertos tropicales es muy alta pero los cambios estacionales son moderados.

Los desiertos costeros de Kalaharí y Chile tienen veranos frescos.

Los desiertos de latitud media de Asia Central tienen inviernos fríos debido al aire claro, la insolación durante el día y la radiación de noche que son muy eficaces y así temperaturas con cambios de -4°C a 10°C son frecuentes y pueden ocurrir ocasionalmente cambios mayores hasta de 27°C o más. Durante el día. De acuerdo con estos días, estos desiertos van de cálidos a calientes y las noches son frescas, la humedad relativa es baja quizá del 10 al 30%; los vientos arremetidos y tumultuosos son frecuentes por la tarde y al oscurecer, bajo ciertas condiciones; los vientos fuertes pueden persistir varios días y noches la topografía de los desiertos varía con montañas mesetas, llanuras, colinas y valles.

La superficie del suelo de los desiertos es variada, algunas son expansiones de rocas sólidas, otras son gravas y otras arenas; muchas tierras bajas están recubiertas de arcillas o de sales depositadas desde playas temporales de lago.

g) Trabajo del viento en el desierto

En el desierto, el trabajo de erosión lo hace el viento y los movimientos de masa por gravedad, sin embargo, el trabajo del viento se limita a las partículas finas.

Las tormentas de polvo y arena que se producen en los desiertos duran a veces varios días y recorren cientos de kilómetros testimoniando así el poder

de deflación y de transporte del viento en esos sitios. Las oquedades, gravas y pavimentos desérticos que quedan atrás aportan una evidencia más.

Los gruesos depósitos de loess del norte de China se construyeron durante centurias por el polvo transportado de los desiertos del interior de Asia lo que demuestra el efecto acumulativo de los vientos.

Así, los vientos son importantes como agentes erosivos en la superficie terrestre. El planeta Tierra está inmerso en una gran masa de aire y el viento es el aire en movimiento que afecta directamente a la superficie terrestre.

Es importante tener en cuenta el trabajo de estos, a lo largo de la historia del planeta, desde su formación hasta su evolución en el transcurrir de los tiempos geológicos y lo que ha representado en la distribución de las diferentes zonas geográficas y climáticas del planeta.

No cabe duda que este ciclo prevalecerá por mucho tiempo todavía. Este viajar y viajar del viento seguirá siendo ininterrumpido, ayudando al equilibrio de este planeta llamado Tierra.

A.9) El Agua

a) Precipitación

Se denomina precipitación al agua que cae en forma sólida o líquida desde las nubes hasta la superficie de la tierra.

Para que las gotas de agua que forman las nubes lleguen a precipitarse se requiere que éstas aumenten de tamaño y que el aire situado debajo de las nubes no sea demasiado cálido, ni muy seco ya que de no ser así, las gotas de agua que indican la caída pueden volver a evaporarse.

Las gotas de agua o cristales de hielo, aumentan de tamaño inicialmente en las nubes y durante su caída, debido al fenómeno llamado coalescencia o choques accidentales que se repiten varias veces, hasta que llega un momento en el que debido al peso adquirido, las gotas o cristales de hielo se precipitan.

La velocidad inicial del crecimiento de las gotas, depende también del tamaño y tipo de núcleo sobre el cual se estén adhiriendo.

Si la coalescencia es líquida recibe el nombre de colisión, en este caso el choque es entre gotas de agua en estado líquido y cuando el choque es entre cristales de hielo se llama agregación pero si el choque es entre gotas de agua y cristales de hielo el fenómeno presentado recibe el nombre de acreción.

Cuando el tamaño de las gotas llega a tener un diámetro de aproximadamente 0.2 mm es suficiente para que su peso venza las fuerzas de las corrientes de aire ascendentes originándose así lo que se conoce con el nombre de llovizna.

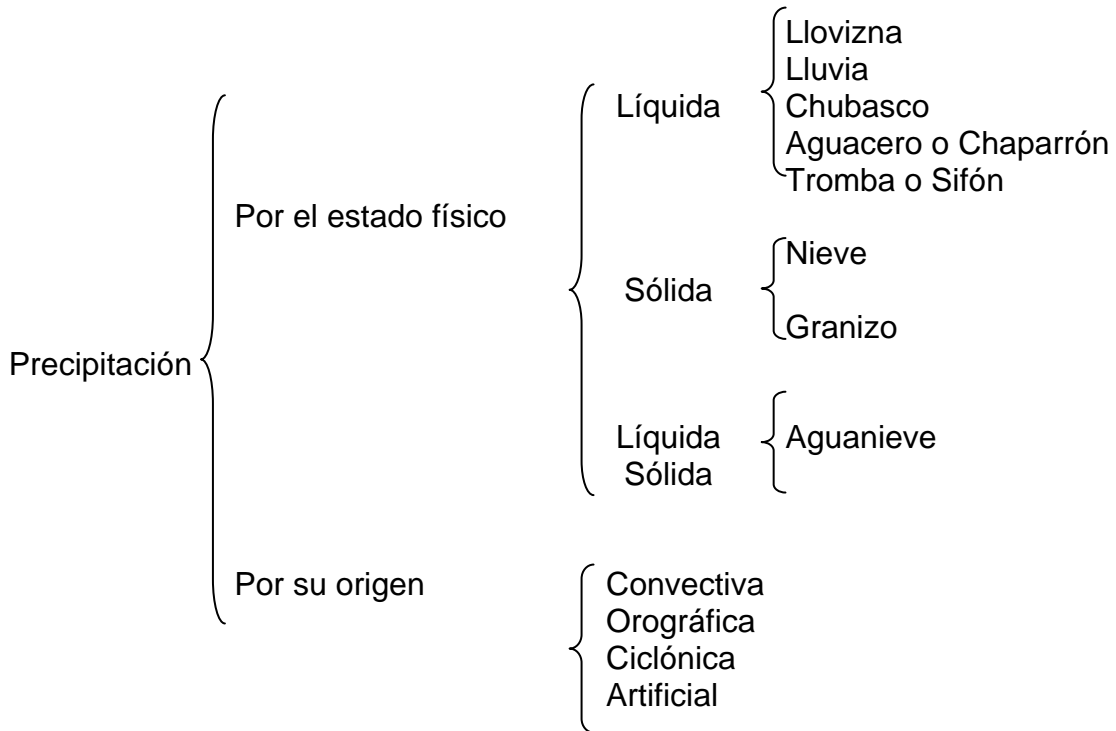
Pero si alcanza un diámetro igual o mayor de 1 mm entonces recibe el nombre de lluvia precipitándose las gotas con una velocidad promedio de aproximadamente 9 m/s.

b) Cantidad de lluvia

Ésta se expresa como altura en milímetros de una capa de agua, que se forma sobre un suelo completamente horizontal e impermeable suponiéndose que sobre dicha capa no se produce ninguna evaporización.

1 mm cúbico de lluvia precipitada equivale sobre la superficie de la tierra a un litro por cada metro cuadrado por ejemplo si se precipitan 3000mm³, esto equivale a 3000 lt/m².

Tipos de precipitación



c) Llovizna

Es la precipitación lenta y uniforme de las gotas que tienen un diámetro menor de 0.5 mm provenientes de las nubes estratiformes.

d) Lluvia

Precipitación uniforme de las gotas que tienen diámetro que varía entre 0.5 y 2 mm originadas de las nubes cumuliformes de gran extensión, por lo que llegan a prolongarse por varias horas.

e) Chubasco, aguacero o chaparrón

Es la precipitación repentina de gotas muy grandes, de un diámetro menor de 5 mm con abundantes descargas eléctricas, también se caracterizan porque terminan en forma brusca y durante el periodo corto que duran pueden variar violentamente su intensidad, las nubes que las producen son las de desarrollo vertical.

f) Tromba o sifón

Se forman sobre los lagos y el mar donde absorben el agua en forma de un torbellino procedente de cumulonimbus y el lugar donde la descargan, lo hacen en forma de un huracán en pequeño (50 m de diámetro aproximadamente) provocando inundaciones donde ocurre.

g) Nieve

Este tipo de precipitación ocurre cuando se registran temperaturas inferiores a cero grados centígrados en la nube cumulonimbus sólo así se inicia la agrupación de los cristales de hielo en forma de copos que caen lentamente originando lo que comúnmente se conoce con el nombre de nevada.

h) Granizo

Es la precipitación de agua congelada que se encuentra en las nubes cumulonimbus mientras los cristales de hielo son arrastrados por las corrientes ascendentes y descendentes que se originan en el interior de estas nubes se les unen nuevas gotas de agua que se congelan aumentándose así el tamaño del granizo, hasta que alcanza el peso suficiente para precipitarse. Cuando las gotas congeladas llegan a tener un diámetro menor de 5 mm reciben el nombre de granizo y cuando son mayores se llaman pedriscos.

i) Aguanieve

Es una precipitación donde se mezclan el agua y la nieve.

j) Precipitación convectiva

Se origina al elevarse una masa de aire caliente y húmedo, este aire al subir se enfría y el vapor de agua se condensa formando nubes cumulonimbus que al sufrir nuevos enfriamientos provocan la precipitación.

k) Precipitación orográfica

Se presenta en las regiones montañosas cercanas al mar, cuando una masa de aire cargada de humedad es obligada a elevarse por la interposición de una barrera montañosa, se enfría inicialmente a razón de 1 grado centígrado por cada 100 m de altura disminuyéndose así su capacidad de retención de humedad pero desde el momento en que se forman las nubes se enfría solamente a razón de 0.5 grados centígrados por cada 100 m de elevación. Estas nubes situadas en las laderas de barlovento son las que originan las lluvias .

l) Precipitación ciclónica

Se origina al ser obligada a elevarse la masa del aire caliente, durante el desarrollo de un ciclón. En México coinciden con período de lluvias y el 60% de la precipitación de la zona del norte y centro, es de este tipo.

m) Lluvia artificial

Es la estimulación artificial de la lluvia siempre y cuando se encuentre el medio natural favorable esto sólo es posible si se encuentra en la atmósfera suficiente cantidad de vapor de agua con capacidad de condensarse para que así se formen las nubes sobre las cuales actúa el hombre adelantando el proceso natural de la lluvia.

n) Características generales de la precipitación

En esta sección se definen algunos aspectos geográficos de tipo general de la República Mexicana, los cuales tienen una fuerte influencia en la precipitación que ocurre en el país.

En general los principales cambios del clima no son debidos sólo a la latitud sino también debidos a las grandes variaciones en altitud que originan condiciones muy especiales en los cambios y distribución de los elementos climáticos. Por su latitud, una gran parte del país se encuentra cerca de la zona intertropical, pero a pesar de ello, las temperaturas de muchas de estas zonas no son tan elevadas como deberían de ser al estar en dichas zonas gracias a la altitud tan variable que existe en el país, con un relieve muy complicado e irregular formado por la sierra madre oriental y occidental, la altiplanicie mexicana, las amplias llanuras costeras tanto del golfo como del pacífico, el eje volcánico transversal, las sierras mixteca y chiapaneca, las penínsulas de Yucatán y de Baja California y las grandes cuencas existentes en el territorio nacional.

Aunado a las características anteriores se tiene que la superficie terrestre mexicana se encuentra rodeada por muchas zonas marinas cuyo principal efecto se traduce en la precipitación por ser los mares una fuente de humedad que afecta positivamente a la formación de la precipitación, por ejemplo, el Golfo de México que es una gran extensión de agua genera la producción de humedad misma que es transportada por los vientos provenientes de él hacia la superficie; al verse obligados a ascender por las laderas montañosas que se inclinan hacia él, producen abundante precipitación en esta región y queda aun suficiente humedad que pasa a los valles y montañas interiores produciendo precipitaciones considerablemente abundantes en regiones donde el clima de otro modo sería seco.

o) Datos de precipitación

Entre los aspectos de mayor relevancia a ser considerados sobre los datos de precipitación, se tienen los siguientes:

o.1) Cantidad total anual de lluvia y su distribución sobre la superficie terrestre

Existen diversos factores que influyen en este aspecto teniéndose principalmente la presencia de regiones de convergencia o divergencia de los vientos que afectan debido al desplazamiento anual de las fajas de insolación, de presión y de vientos lo que genera un desplazamiento en las zonas lluviosas hacia los polos en verano y hacia el Ecuador en invierno. El contenido de humedad de los vientos dependen de la superficie sobre la cual soplan; si hay una larga trayectoria sobre el mar, recogerán humedad de él y por lo mismo serán vientos húmedos, en tanto que si se originan sobre un continente serán vientos secos, la capacidad del viento para contener vapor de agua en su seno, al depender de la temperatura será mayor para el aire caliente y menor para el frío; una masa de aire caliente al saturarse originará precipitación mucho más abundante que aquella que produzca una masa de aire frío, al saturarse. Otro factor importante es la distancia de los lugares a los océanos, que son las principales fuentes de humedad (no obstante, no son determinantes en la cantidad de lluvia, pues depende también de la dirección de los vientos, de las condiciones de estabilidad o inestabilidad del aire y, principalmente, del relieve). La existencia de barreras montañosas es sumamente importante en la cantidad total anual, ya que el aire sufre un considerable levantamiento gracias a lo cual el enfriamiento adiabático de éste es muy rápido e intenso en las laderas expuestas a los vientos y húmedos, en tanto que en las laderas interiores el aire tiende a ser descendente y a calentarse adiabáticamente, lo que se refleja para este último caso es una disminución considerable en la cantidad de lluvia total anual, el efecto de las montañas obstaculizando el acceso de los vientos es conocido como sombra pluviométrica.

o.2) Origen o tipo (convectivo, orográfico o frontal)

El primer tipo se da por el enfriamiento adiabático del aire que al ascender debido al calentamiento de la superficie donde se encuentre, forma nubes que pueden extenderse hasta varios kilómetros de altura; estas son del tipo cumulus y cumulonimbus portadoras de precipitación que puede ser abundante. Este tipo de precipitación por convección es típico del verano (de la estación más calurosa del año), en las horas más calientes del día; cubren generalmente zonas de escasa extensión, debido a la corta superficie que estas nubes suelen cubrir y, como el aire sufre un ascenso rápido, también precipita su humedad rápidamente generando aguaceros intensos y de corta duración.

La precipitación de tipo orográfico ocurre cuando el aire es forzado a ascender al soplar sobre colinas altas o barreras montañosas, sufre enfriamiento adiabático y genera así la precipitación en sitios donde existe una barrera montañosa cerca de la costa donde los vientos soplan del mar a tierra con un ángulo recto a la franja costera (perpendicular a la montaña), Es donde existe la condición ideal para la generación de abundantes lluvias del tipo orográfico; tales lluvias serán más intensas en la zona próxima al punto en que inicia el nivel de consideración; este tipo de precipitación es más variable que la anterior dándose el máximo (en regiones monzónicas) en la época del año en que el viento sopla de mar a tierra (normalmente en el verano y principios de otoño).

La precipitación frontal o ciclónica se presenta en las zonas de baja presión (ciclones) donde el aire tiende a converger, encontrándose grandes masas de

aire que se superponen y forman frentes; entonces el aire más caliente se eleva oblicuamente sobre el aire frío en forma lenta, enfriándose por igual lentamente, en comparación con el aire que asciende por convección, resultando así una precipitación con mayor tiempo de duración y con una cobertura de mayor extensión, este tipo de precipitaciones es típico de las latitudes medias, dándose para nuestro país principalmente en el Golfo de México durante el invierno, por la presencia de nortes.

o.3) Periodicidad estacional o distribución en el año.

Se encuentra dividido en tres grupos principales, según su latitud; regímenes pluviométricos en bajas latitudes (entre los paralelos 30° N y 30° S) en latitudes medias (entre los 30° y 70° de latitud) y en las altas latitudes (de los 70° a los polos); en cada caso los factores que propician la precipitación varían, dependiendo de la situación geográfica de cada sitio, según su posición en el globo terráqueo. En general los factores que mayormente facilitan la precipitación en dichas zonas son los movimientos de los vientos (dirección, convergencia o divergencia, ascendentes o descendentes), la proximidad de las corrientes oceánicas y sus correspondientes temperaturas, la convección dada por el

calentamiento solar, las calmas subtropicales, las perturbaciones ciclónicas tropicales, así como la humedad de la atmósfera.

Dependiendo de las combinaciones de los factores anteriores, se tendrán las lluvias de verano, invernales, los climas secos, los monzones y la periodicidad, irregularidad o escasez de las lluvias.

o.4) Variabilidad anual y estacional

Dado un mes o un año cualquiera, raras veces es igual la cantidad de lluvia que cae en el mismo mes de otro año o en un año cualquiera, llamándose a esta característica variabilidad de la lluvia, ésta aumenta generalmente al aumentar la sequedad de un clima, siendo muy difícil predecir la cantidad de lluvia que podrá caer en un mes o en un año determinado para lugares con climas secos.

p) La precipitación en el espacio

En general, la precipitación es mayor cerca del Ecuador y disminuye al aumentar la latitud sin embargo, la irregularidad y orientación de las isoyetas en los mapas de precipitación media anual del mundo indica que la distribución geográfica de la precipitación depende de factores más relevantes que la distancia del ecuador.

La figura 14 muestra el mapa de isoyetas anuales para la República Mexicana (Arbingas, 1975).

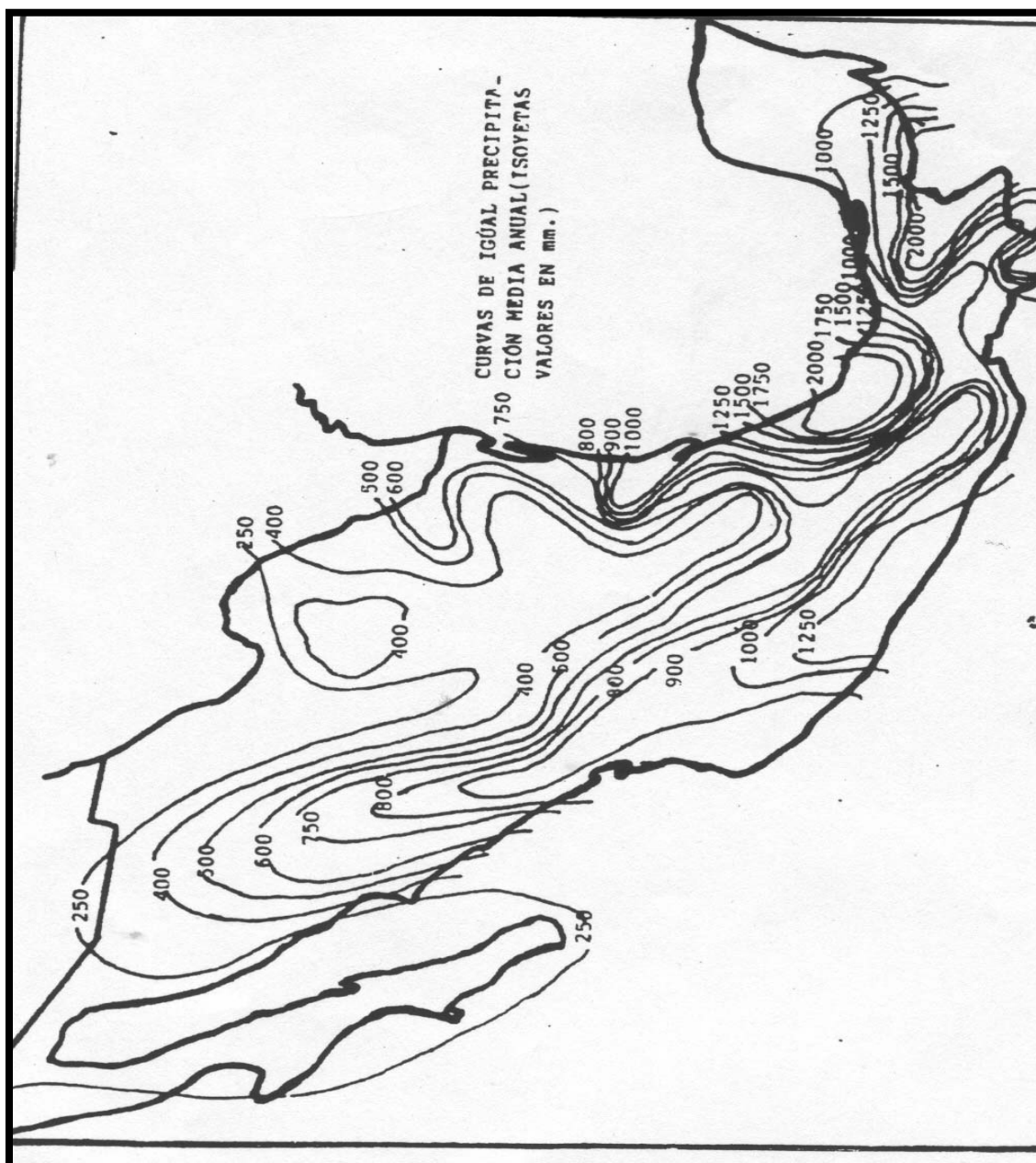


figura 14. mapa de isoyetas de la República Mexicana
(Fuente: Servicio Meteorológico Nacional 1975 C.N.A.)

Es notorio en esta figura la diferencia que existe en la distribución de la lluvia de unas regiones a otras, la zona más lluviosa se encuentra aproximadamente al sur del paralelo 22° N y comprende las pendientes montañosas de las porciones central y sur del país que se inclinan al Golfo de México y que se encuentran expuestas a los vientos húmedos del mar, asociados con los alisios, nortes y los ciclones tropicales (García 1986)

La altiplanicie mexicana en tanto presenta en su parte norte una basta zona de escasas lluvias su aridez es debida a la situación que guarda con respecto a la faja subtropical de alta presión y a la orientación general de las sierras que la limitan y la aíslan de los mares (García 1986).

La región mas seca del país se ubica en la porción noroeste de la llanura costera del pacífico (García 1986), menciona que la deficiente precipitación en esta área es debida a que se encuentra dentro de la faja subtropical de altas presiones, lo que aunado a su escasa altitud hace que los vientos dominantes sean descendentes y secos.

Lo anterior muestra que la distribución de la lluvia es muy irregular y que además de la latitud existen otros factores importantes, tales como la dirección de los vientos dominantes, la distancia al mar y la orografía principalmente (Ortiz 1987).

q) La precipitación en el tiempo

En lo que se refiere a la distribución de la precipitación en el tiempo, aun cuando se han realizado un gran número de trabajos al respecto (Linsley, et.al, 1977), no se ha podido demostrar en forma definitiva la existencia de ciclos persistentes en las irregularidades de precipitación en el tiempo, exceptuando los cambios diurnos y estacionales.

En México, la distribución anual de la precipitación tiene gran variación y su ocurrencia en la mayor parte del país es en el verano, sin embargo, dentro de este mismo periodo presenta diferencias en su distribución habiendo variabilidad a nivel mensual, lo que hace difícil la predicción de lluvias, esta variabilidad aumenta por lo general al aumentar la sequedad de un clima.

La figura 15 muestra la presentación esquemática de climas de la República Mexicana

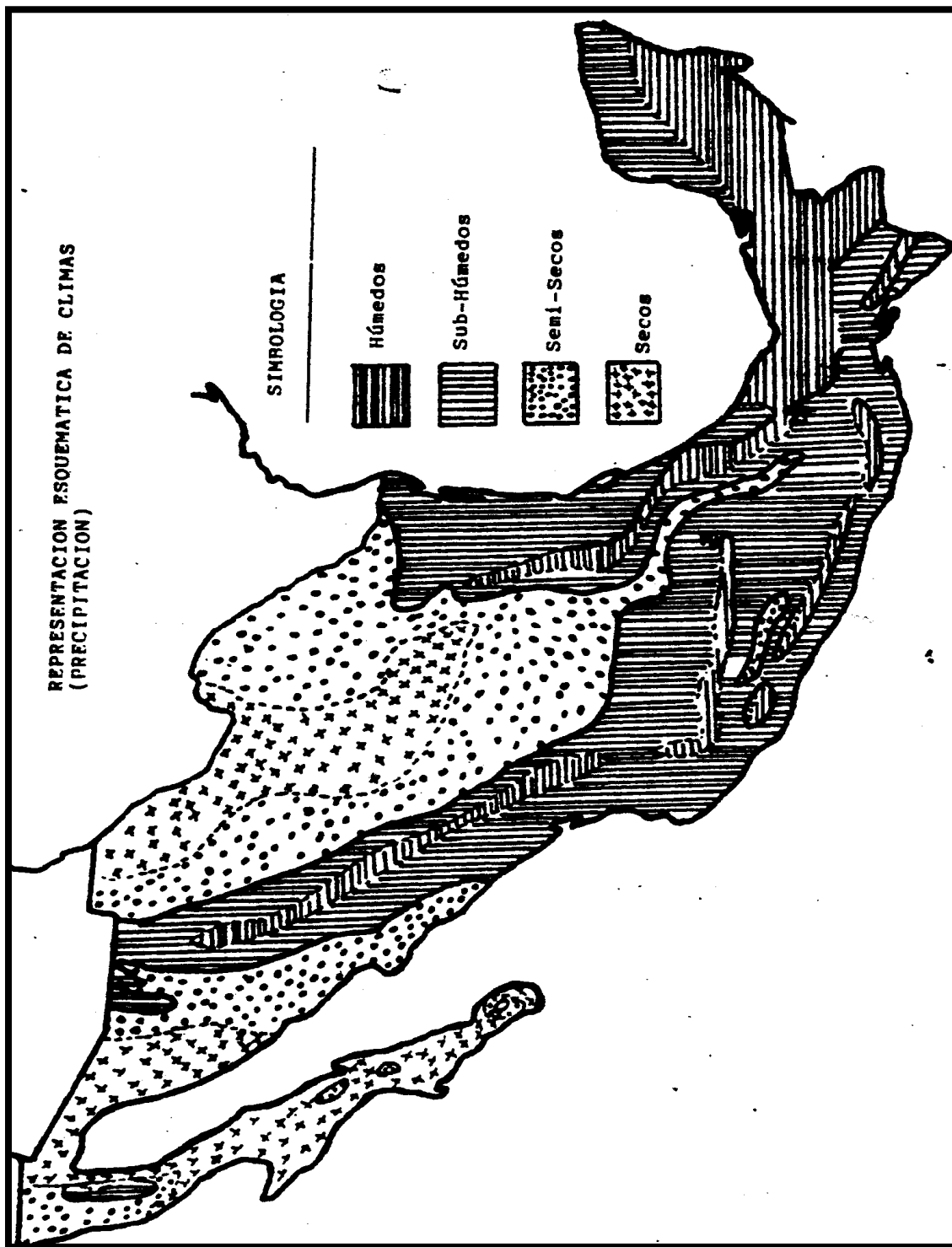


Figura 15. Distribución de Climas de la República Mexicana
(Fuente: Servicio Meteorológico Nacional 1986 C.N.A.)

r) Clasificación de la precipitación

Clase de precipitación	Nubes que la producen	Diámetro de las gotas	Carácter de la precipitación			

LLUVIA	As y Ns	Mayor o igual 0.5 mm	LLUVIA LIGERA apenas apreciable hasta 2.5 mm por hora	LLUVIA MODERADA A de 25 mm hasta 7.6mm por hora	LLUVIA FUERTE de 7.6 hasta 20.0 mm por hora	
LLOVIZNA	Sc St y niebla	Menor o igual a 0.5 mm	LLOVIZNA LIGERA la visibilidad es mayor a 1 Km	LLOVIZNA MODERADA cuando la visibilidad fluctúa entre los 500 y 1000 m	LLOVIZNA FUERTE cuando la visibilidad es menor de 500 m	
CHUBASCO O CHAPARRÓN	Cu y Cb	Mayor o igual a 1.0 mm	CHUBASCO LIGERO desde trazas inapreciables hasta 2 mm por hora	CHUBASCO MODERADO O desde 2 mm hasta 10 mm por hora	CHUBASCO FUERTE desde 10 mm hasta 50 mm por hora	CHUBASCO VIOLENTO cuando la precipitación es mayor de 50 mm por hora

La lluvia y el chubasco se caracterizan por ser continuas o intermitentes.

- a) Se dice que es intermitente cuando cesa la precipitación por períodos cortos.
- b) Será continua cuando la precipitación dura un tiempo de 30 minutos.

A continuación se analizarán los procesos por los que las corrientes degradan a la superficie terrestre.

s) Corrientes y erosión laminar.

En pendientes suaves la escorrentía toma forma de una corriente laminar o en hojas. Cuando una película de agua se desliza hacia abajo continuamente aunque el efecto de erosión de tal corriente puede parecer despreciable, estudios cuidadosos del suelo, sin campos cultivados, han mostrado que esta corriente laminar es la causa del movimiento descendente de toneladas de materiales del suelo.

t) Arrollamiento.

En declives desiguales, la escorrentía sigue las depresiones iniciales y de este modo se reúnen riachuelos. Estos riachuelos modifican el declive original

ensanchando sus cauces dando origen a los arroyos, aunque la corriente laminar prevalezca en la salida a falta de irregularidades iniciales de un declive.

Una concentración de la escorrentía puede traducirse en una erosión diferencial de los materiales húmedos o blandos, que correrán más lejos que los más resistentes, esta erosión puede originar arrollamiento.

A.10) Erosión por el agua

a) Métodos de erosión por corriente

1) Desgaste mecánico del lecho de la corriente.

La acción corrosiva o abrasiva del agua es ligera. El poder corrosivo del agua de un río varía como el cuadrado de la velocidad de la corriente, por ejemplo, si la velocidad de la corriente se dobla, arrancará dos veces más granos de arena que los que arrancaba en el período anterior, durante el mismo tiempo y depositará cada grano sobre una superficie del lecho del río.

Hay que considerar también otros factores como el tipo y cantidad de material

transportado y el carácter y estructura de la roca a través de la que excava el

canal; La acción friccionadora de arena, grava y lodo, llevados por la corriente.

Y La atricción, desgaste abrasivo de los fragmentos en tránsito por rodamiento, molienda o impacto de unas rocas sobre otras.

2) Corrosión, es la acción disolvente del agua, sobre los minerales de las rocas, el agua químicamente pura no existe en condiciones naturales, debido a su poder disolvente el agua se está cargando siempre con impurezas, algunas de las cuales aumentan su poder disolvente.

Una corriente puede parecer pequeña, pero la cantidad total de material disuelto de este modo y llevada al mar es grande. Casi 5 billones de toneladas métricas de material sólido se estima que se disuelve en los continentes, pero la mayor parte de esto se debe al agua superficial.

b) Acción hidráulica

Todos los medios mecánicos de erosión por el agua misma sin ayuda de herramientas se incluyen en estos términos. Estos métodos son el escoriado de material flojo por la corriente que pasa sobre él. Así como el efecto del impacto del agua, sobre un banco de corriente y la pérdida de aristas y separación de bloques agrietados por presión hidráulica.

c) Fuentes de materiales

Los materiales que lleva una corriente son su carga, esta carga se deriva de varias fuentes que son las siguientes:

1) La mayor parte de la carga procede de la meteorización de las rocas de las laderas de sus corrientes tributarias por corriente laminar y arrollamiento. Durante una lluvia la escorrentía inmediata es barrosa, con productos de erosión cuando circula entre arroyos, o cuando lava las laderas de las colinas, donde hay campos arados en las faldas de las laderas. numerosos arroyuelos llevan el material sin consolidar hacia las corrientes más grandes.

2) También parte de la carga de una corriente procede del material de

alteración situados en sus bancos o lechos.

3) También puede aportarse material por caída o deslizamiento dentro del río, desde bancos inclinados donde fue llevado por la gravedad.

4) En las regiones donde existe poca vegetación, las partículas de tierra son movidas por el viento, y la arena y el polvo pueden caer a la corriente.

5) Una gran cantidad de corrientes, que deben su origen a la fusión del hielo glacial son turbias y están cargadas de lodo, el hielo y el agua de su fusión llevan polvo de roca, producido por el molido de las rocas que contenía el hielo.

6) En las regiones de actividad volcánica, grandes cantidades de polvo y ceniza se descargan en la atmósfera y parte caen en corrientes, o es llevada a ellas por riachuelos durante una lluvia posterior.

7) Los materiales solubles son suministrados en grandes cantidades por el agua superficial.

8) Las corrientes reciben un pequeño porcentaje de su carga del choque de bloques flotantes de hielo, con las paredes del canal y por las perturbaciones que resultan de las raíces de los árboles y del trabajo de animales y plantas.

d) Métodos de transporte

Las corrientes mueven su carga por:

- a) Empuje y arrastre de piezas angulosas.
- b) Rodando cantos rodados a lo largo de sus lechos.
- c) Por suspensión de pequeños granos de arena.
- d) Disolviendo y llevando en solución los compuestos más solubles.

e) Velocidad y transporte

La velocidad de una corriente está determinada por los siguientes factores: Talud o gradiente del lecho, la forma y configuración de las paredes del valle, volumen de agua y la cantidad de sedimentos que el agua lleve.

Como el movimiento del agua se debe a la gravedad, es obvio que a mayor caída por kilómetro, mayor velocidad, la inclinación generalmente decrece, desde aguas arriba, hacia la desembocadura de la corriente y por tanto la velocidad disminuye también. La inclinación media de los grandes ríos de todos los continentes es de 38 cm por kilómetro, en muchos de los ríos navegables es de 20 cm/km

Las irregularidades de las paredes del cauce y del fondo, hacen que el agua esté sometida a fricción y se deduce que cuanto más uniforme y estrecho sea un cauce menor será la pérdida de energía por fricción.

Un lecho de corriente que está obstruido con cantos, o con filos rocosos del suelo, ofrece obstáculos que disminuyen la velocidad de la corriente.

Un aumento de volumen acelera el ritmo de una corriente, pues implica aumento de la profundidad del agua, sin aumentar mucho la fricción, así la velocidad varía de una vez a otra como varía su fuente de suministro de agua, en muchas regiones esta variación es periódica.

La siguiente tabla muestra las velocidades que las corrientes fluviales deben tener para poder transportar materiales de tamaños diferentes.

COMPETENCIA DE CORRIENTES	
Material Transportado	VELOCIDAD DE LA CORRIENTE EN m/s
Arena Fina	0.2
Arena Media	0.3
Arena Gruesa	0.4
Grava Granulada	0.6
Grava en Guijarros	1.6
Grava en Cantos	11.7

f) Cantidad de carga

La cantidad de material transportado por un río no es constante, debido a las variaciones en el volumen de agua, la velocidad de la corriente y cantidad de restos de rocas suministrados por los afluentes.

g) Grado de denudación

El grado de denudación es mayor en la región de principio de la corriente algo menor sobre los declives más suaves y menor en las zonas de nivel próximo a la línea de costa. En una zona grande, el grado de erosión de la corriente viene influido por varios factores como la velocidad, el volumen de agua, la naturaleza y cantidad de carga y el carácter de las rocas o suelos sobre los que corre en el origen de la corriente. Y la inclinación del cauce. La velocidad y la capacidad de transporte es mayor en el origen que cerca de la desembocadura, las rocas sedimentarias sobre todo aquellas cementadas con carbonato de calcio, son mucho más sensibles a la erosión que las grandes rocas ígneas. Las capas delgadas de sedimentos y la presencia de juntas y fisuras, favorecen la erosión rápida.

h) Valles

Gran parte del agua que cae como lluvia corre sobre la superficie donde ha caído. Si esta superficie tiene un perfil suave y uniforme el agua corre en forma laminar y no se originan arroyos, sin embargo tales superficies son raras.

Las ligeras irregularidades llevan a la formación de arroyos que erosionan pequeños surcos. Los arroyos se unen para formar riachuelos y estos unidos forman torrentes que crean gargantas profundas y cañones que pueden transformarse en amplios valles con suaves declives.

i) Ensanchamiento de un valle

La ampliación de un valle se realiza en su mayor parte por arriba. Muchas corrientes nacen cerca de sus lugares de desagüe y aumentan en longitud, cortando las laderas, lo que amplían la zona que drenan, este proceso continúa hasta que la corriente alcanza un obstáculo, como una formación rocosa resistente o un punto en que la falta de talud o los afluentes del lado opuesto, detienen su avance.

Esta zona entre corrientes o líneas de separación constituye la divisoria o interfluvio, si la erosión en los dos lados es igual, se establece una división fija, aunque la lluvia continua tienda a rebajarla.

Su posición geográfica queda invariable, cuando la erosión en un lado es más rápida que en el otro, la divisoria avanza lentamente, hacia el lado de denudación más lenta.

Si en su migración una corriente encuentra un lago, la cuenca de éste se convierte en una parte del sistema fluvial y la corriente que penetra en el lago viene a ser tributaria del mismo, el abandono del lago por la corriente se retrasa ya que este desciende hasta el nivel de la cuenca del lago y lo drena.

j) Profundización de un valle

Un valle se hace más profundo cuando aumenta su longitud por medio de una corriente, abriéndose en retroceso y cuando su cauce desciende, durante cada sucesivo descenso. La barranca capta más agua superficial y es lavada más profundamente.

Se producen arroyos laterales y se convierten en tributarios que a su vez también los tienen y el agua superficial de una gran zona sale directamente

por un canal principal, así la erosión principal del canal aumenta, pues aumento de volumen quiere decir aumento de velocidad y por tanto mayor poder de erosión. Mientras el valle es somero, su agua queda reducida a la que entre cuando llueve cerca.

Las corrientes que corren únicamente durante la estación de lluvias se llaman corrientes intermitentes.

Cuando un valle se hace mas profundo, el fondo de su cauce se acerca al nivel bajo, el cual es el espacio entre los poros de las rocas y se llena de agua, es decir, es el nivel de aguas freáticas y, después que el fondo del valle penetra en este nivel, su reserva de agua aumenta lo bastante para que exista corriente, aún en periodos de sequía. Las corrientes que tienen sus valles por debajo del nivel de aguas freáticas son permanentes.

k) Ciclo de erosión

Una zona de tierra recientemente levantada marca el punto de arranque de la historia de un sistema de drenaje fluvial.

Naturalmente cuando esa zona es drenada, el proceso de erosión produce una serie de cambios en la topografía. Estos cambios están determinados en parte por la altitud de la zona elevada y el carácter y relación estructural de la formación rocosa.

El ciclo de erosión se divide en tres estados: juventud, madurez y vejez.

K.1) Estado juvenil

La mayor parte de las corrientes juveniles son rápidos que corren en cañones en forma de V, o gargantas con laderas escarpadas. Los taludes son pronunciados porque no ha pasado suficiente tiempo para ampliar los valles, no han tenido tiempo de erosionar extensamente pueden tener rápidos y cascadas a lo largo de su curso, las divisorias son amplias y poco drenadas.

K.2) Estado de madurez

Como la erosión continúa, la topografía cambia también hasta que los rasgos de juventud desaparezcan de diferentes formas y surgen valles con laderas redondeadas y las vertientes redondeadas, superiormente ocupan el lugar de los perfiles agudos y rectos de la edad juvenil; como las corrientes tributarias de aguas arriba han sido cortadas, las divisorias son más estrechas y la región se convierte en otra finamente dividida por una red compleja de valles. Este tipo de topografía es muy accidentada.

K.3) Estado de vejez

Por el proceso de erosión continuo, el accidentado relieve del estado de madurez se reduce gradualmente y los canales profundos se transforman en amplios valles con vertientes suaves y divisorias bajas. El perfil es rebajado hasta que las corrientes pierden su vigor y depositan más bien que erosionan.

Los valles llegan a ser poco profundos, debido a los depósitos y a las corrientes que oscilaban de un lado a otro. Producen meandros sobre las superficies de sus propias llanuras aluviales, así una zona terrestre convertida de este modo en planicie de suaves perfiles de edad topográfica senil se llama penillanura. Con frecuencia colinas aisladas o montes de rocas más resistentes emergen sobre el nivel general de la penillanura se llaman montes nómadas o testigos.

I) Cursos de corrientes

El curso seguido por una corriente en su camino hacia el mar debe su posición y su orientación a uno o más de los siguientes factores:

- 1) Declive original y las irregularidades naturales de la superficie.
- 2) Erosión diferencial.
- 3) Juntas.
- 4) Fallas.
- 5) Plegamientos.

La posición de un valle resulta con frecuencia afectada por la dirección de las grietas o fisuras de las rocas de fondo de la zona que drena; guiados por esas juntas durante la erosión las corrientes, sobre todo las tributarias, desarrollan un típico drenaje angular. En las regiones donde ha habido fallas en gran escala muchos valles siguen en grandes distancias, la línea de las fallas, puesto que las rocas fracturadas son poco resistentes a la erosión, en algunos sitios se hundieron bloques estrechos de la corteza terrestre, para formar cuencas de tipo valle que después se convierten en cauce de corrientes.

A.11) Ambientes de depósito

a) Lugares de depósito

Los depósitos de las corrientes, o aluviones se pueden acumular en gran número de lugares tales como los pies de declives fuertes en los cauces, sobre todo las llanuras aluviales y en la desembocadura.

b) Formas de los depósitos de corrientes

Las formas principales son: Conos y abanicos aluviales, llanuras aluviales a pie de monte, rellenos de cauce y barras, llanuras aluviales, terrazas aluviales y deltas.

b.1) Conos y abanicos aluviales

Donde una corriente que desciende por un declive fuerte sale de las montañas a una planicie o a un amplio valle, su velocidad disminuye de repente y gran parte de su carga se deposita y desparrama en forma de abanico en la abertura del barranco a través del cual fluye la corriente. Cuando el depósito se amplía, su espesor aumenta en la entrada del valle y se forma una estructura en forma de cono. El declive de la superficie del cono varía con el tamaño y la velocidad de la corriente y la clase del sedimento transportado; en general, los materiales

grandes tiendan a apilarse en forma de conos y los finos a aplanarse como abanicos.

b.2) Llanuras aluviales a pie de monte

Donde las corrientes descargan una cerca de otras, sobre la misma llanura, pueden unirse sus abanicos y formar una capa continua de sedimentos agregados a lo largo de la base de la serie montañosa. Eventualmente estos sedimentos pueden construir una llanura aluvial a pie de monte llamado a veces un abanico compuesto aluvial.

b.3) Depósitos de cauce y barras

Los depósitos formados en un cauce presentan generalmente gran variedad de formas, pero se agrupan llamándolas tan solo barras o simplemente depósitos de cauce.

Algunas barras tienen montículos de grava y arena que forman bajos, sumergidos en las corrientes; algunos son islas por lo menos en niveles bajos del agua, otros son acumulación delante o detrás de obstrucciones y otros depósitos dejados en el borde del canal.

En los ríos, en las épocas de lluvias, las barras están sujetas a cambio en su posición o alteraciones en su forma. Algunas pueden ser destruidas completamente y otras pueden aparecer en otros sitios.

b.4) Llanuras aluviales

En épocas de inundación cuando el volumen de una corriente es grande, lodo, y arena son depositados sobre el nivel del curso o llanura aluvial, sobre el que corre el río durante la época de las lluvias; la capa de aluviones aumenta en su espesor y la altura del plano de fondo aumenta también hasta que, con el hundimiento del canal por erosión, dicho fondo llega a ser tan alto que ya no es sobre cubierto por la corriente mas que en períodos de inundaciones.

Generalmente, las llanuras aluviales son superficies planas interrumpidas por desprendimientos por lo que las llanuras estrechas sobre declives escarpados tienen una topografía característica de canales y barras. Las superficies de otras llanuras muestran una combinación de hoyos poco profundos y trincheras bajas.

b.5) Terrazas aluviales

Una corriente que ha aumentado la altura de su valle hasta una profundidad considerable. Puede excavar parte de los depósitos que dejo anteriormente los sedimentos aluviales se disponen entonces en una o mas terrazas o planos estrechos que bordean los lados del valle, tales terrazas son restos de antiguas llanuras aluviales, debajo de las cuales las corrientes que las formaron, tallan sus canales para crear nuevas llanuras a niveles inferiores.

Los principales factores que favorecen la formación de terrazas son: elevación y rejuvenecimiento de la corriente, pérdida parcial de carga y capacidad renovada para mayor erosión aguas abajo, falta de suministro de sedimentos aguas arriba, cambio de una cantidad pequeña de sedimentos gruesos por una

grande de sedimentos mas finos, eliminación de meandros y consiguiente aumento de la velocidad.

b.6) Deltas

Cuando los ríos cargados con sedimentos entran en una masa de agua tranquila como un lago o una bahía en el mar, la velocidad se interrumpe repentinamente y sigue una depositación rápida de sedimentos, donde las corrientes costeras no son lo bastante fuertes para transportar la carga que ha llevado el río, o donde la configuración de la costa protege la desembocadura del río de las corrientes rápidas de las mareas. Los restos que el río lleva, se acumulan cerca de su desembocadura y construyen un delta.

Donde un río desemboca en el mar, el agua dulce tiende a flotar en el agua salada del mar hasta que se mezclan ambas. Donde agua dulce con sedimento fino en suspensión se mezclan con el agua de mar, las sales de esta hacen que el sedimento se deposite.

Un delta consiste en una serie de capas sucesivas de detritus llevados de tierra y esparcidos sobre una zona en forma de abanico.

El ritmo de crecimiento de los deltas varía con el tamaño y la velocidad de los ríos y con la naturaleza geológica de sus cuencas de drenaje.

b.6.1) Partes de un delta

1) Un margen marítimo, o parte sumergidas que reposan sobre el contorno continental marino.

2) Una parte terrestre que no está sumergida pero que está cubierta con sedimentos de agua dulce.

Así pues, se puede dar cuenta de la importancia que tiene la acción de la erosión por las aguas de los ríos y la precipitación pluvial.

Estos hacen un efecto demoledor constante en la superficie terrestre ocasionando la disgregación de bastante material derivado de la destrucción de las rocas.

La lluvia y las corrientes erosionan continuamente la tierra, las corrientes erosionan por corrosión. Corrosión y acción hidráulica. obtienen sus cargas por erosión directa.

Se ha visto en el estudio de la erosión por el agua que corre, que algunos de los efectos del trabajo de las corrientes son destructivos, como la erosión del suelo y las inundaciones. Otros benefician suministrando agua, arena y grava, enriqueciendo algunos suelos para la agricultura.

A.12) El agua en la atmósfera

Por la influencia de la luz solar, el agua del mar se evapora y el vapor de agua es transportado por la circulación atmosférica que reina sobre las extensiones oceánicas. Después, este vapor de agua, puede condensarse y originar nubes, que a su vez ocasionan precipitación de lluvias o de nieve. En la tierra esta agua discurre por los arroyos y ríos que la transportan nuevamente al mar, de esta forma se establece un ciclo perpetuo de la circulación del agua.

Si estos procesos físicos se detuviesen, la vida en la tierra no pudiera continuar en las mismas condiciones que en la actualidad.

A.13) Ciclo del agua

El aire transporta en su seno importantes cantidades de vapor de agua. Este vapor penetra en la atmósfera por el proceso de la evaporación resultante del calentamiento del agua de los mares por la radiación solar.

La atmósfera puede transportar este vapor de agua sobre las superficies continentales, donde en forma de nubes y de ahí las precipitaciones que desde las nubes caen a la tierra, forman los ríos o discurren por el suelo para finalmente desembocar en el mar.

El conjunto de estos procesos constituye el ciclo del agua que consta de tres fases esenciales que son:

- Evaporación del agua de los océanos.
- Transporte del agua por el aire para dar lugar a precipitaciones en la tierra.
- Corrientes de agua hasta los océanos.

La figura. 16 presenta las diferentes fases del ciclo del agua.

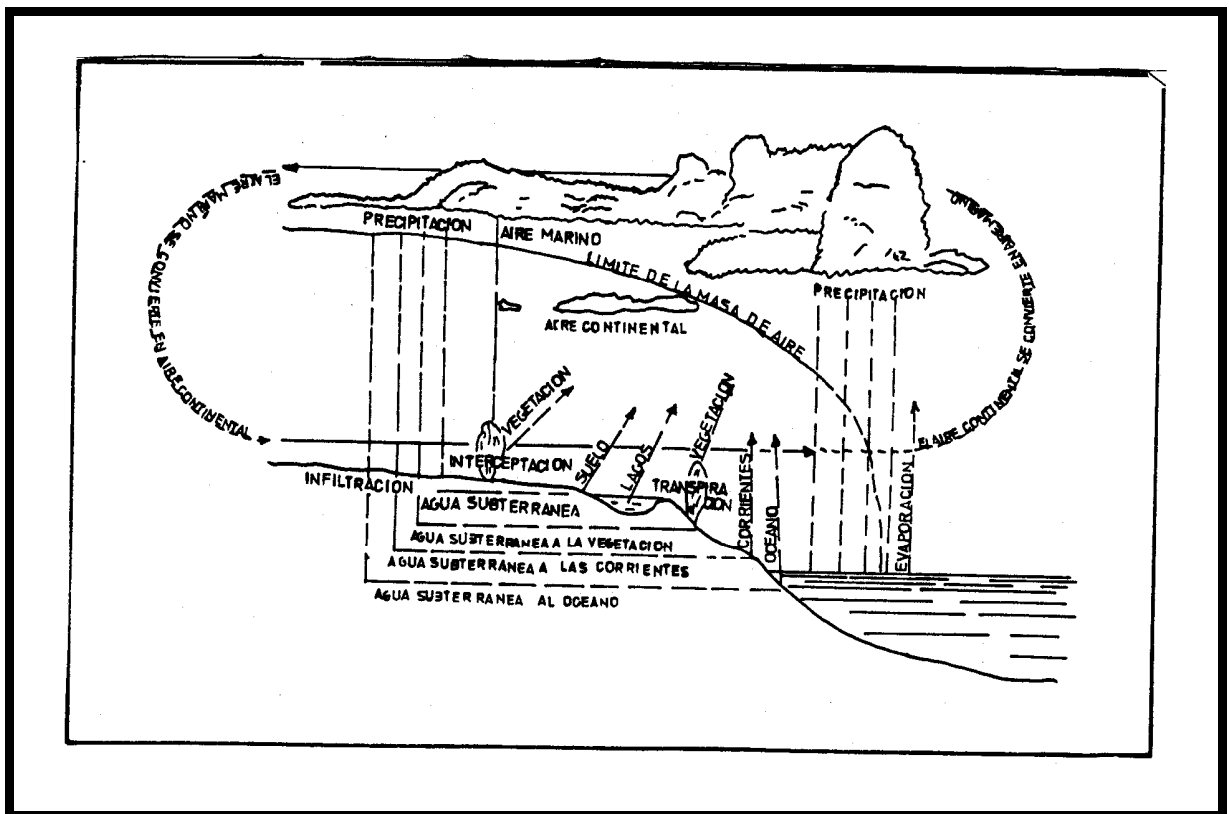


Figura. 16. Ciclo del Agua
(Fuente: Apuntes de Meteorología 1990 O.M.M)

a) El proceso de evaporación

Las moléculas de un líquido se encuentran en estado de continua agitación, algunas de estas moléculas, las más rápidas son susceptibles de evadirse del líquido y penetrar en el aire situado sobre él. Este proceso constituye la evaporación.

Si nos exponemos al viento, experimentamos una sensación de frescura mucho mayor estando mojados que secos, a medida que el agua se evapora las moléculas de vapor ejercen presión sobre la atmósfera, esta presión se convierte en parte de la presión atmosférica total. Cuanto más numerosa sea la cantidad de moléculas de vapor de agua en el aire, la presión de vapor será más elevada.

Si en igual cantidad de tiempo la presión de vapor aumenta hasta un estado en el que penetran en el líquido tantas moléculas como salen de él, se alcanza un estado de equilibrio y la evaporación se interrumpe, la presión de vapor en la que se produce este equilibrio se define como presión de vapor saturante.

Al calentar el agua líquida, la energía cinética de las moléculas aumenta y éstas son susceptibles de evadirse en mayor cantidad; la presión de vapor saturante es pues mayor sobre el agua caliente que sobre la fría. La temperatura del agua regula la velocidad de evaporación.

La temperatura del aire afecta igualmente a la evaporación, si la temperatura del aire aumenta, el aire caliente es susceptible de contener mayor cantidad; de vapor de agua y la evaporación es más activa.

Cuando el aire es seco se mueve sobre una superficie de agua. Este aire puede reemplazar al ya saturado, entonces pueden evadirse moléculas de agua en el aire seco, de tal forma que el proceso de evaporación continúa.

La velocidad de evaporación está afectada por el movimiento del aire sobre la superficie del agua. La ropa tendida en un cable se seca más rápido cuando hace viento.

b) Evaporación y ebullición

Es necesario hacer la distinción entre evaporación y ebullición.

La evaporación se produce en la misma superficie del líquido y se puede dar a cualquier temperatura, siempre que el aire situado sobre el líquido no este saturado.

La ebullición se produce al contrario, en todo líquido a la vez; basta para darse cuenta con observar las burbujas que suben del fondo del líquido. En el caso de la ebullición, el paso del estado líquido al estado de vapor se efectúa siempre a una temperatura determinada. Un líquido comienza a hervir cuando su presión saturante es igual a la presión exterior que se ejerce sobre su superficie.

c) Condensación

El proceso inverso a la evaporación es la condensación, mediante este proceso el vapor de agua se transforma en agua líquida. En la atmósfera la condensación no se produce sino en presencia de partículas minúsculas denominadas núcleos de condensación, formados por polvo, humos, sal marina. Las gotitas de agua se forman generalmente sobre estos núcleos cuando la humedad relativa esta próxima a 100%, para esto la humedad relativa es la relación entre la masa de vapor de aire.

Si se enfría una muestra de aire húmedo a presión constante, se puede alcanzar la temperatura a la que se satura este aire. Esta temperatura se denomina; temperatura de punto de rocío o simplemente punto de rocío.

d) La condensación en la atmósfera

La condensación del vapor de agua en la atmósfera es siempre el resultado de un enfriamiento en el aire.

El enfriamiento del aire ascendente es el responsable de la mayoría de las condensaciones que se forman en la atmósfera. Durante su expansión adiabática el aire ascendente se enfría, si éste es suficiente para que la temperatura del aire alcance su punto de rocío, se satura y todo enfriamiento posterior tiene por efecto el producir la condensación sobre los núcleos disponibles. La casi totalidad de las nubes son el resultado de la condensación del aire ascendente.

El nivel hasta el cual debe elevarse el aire húmedo para producir la condensación se denomina nivel de condensación. Las bases de las nubes se sitúan pues a este nivel,

el efecto de la condensación y la liberación del calor latente provocan a menudo como resultado el calentamiento del aire que desciende después de haber franqueado una cadena de montañas.

Durante su movimiento ascendente por los flancos de la montaña el aire se enfría y puede alcanzar su nivel de condensación, entonces está saturado, y la condensación forma nubes lo que da lugar a la liberación del calor latente y el recalentamiento del aire. Si se forman precipitaciones, el aire descendente de la otra ladera de la montaña es más seco y su nivel de condensación a sotavento de la misma es más elevado que su nivel de condensación a barlovento. Así resulta que la temperatura del aire es más elevada a sotavento de la montaña y este aire sopla en forma de viento cálido y seco. El enfriamiento y la condensación pueden producirse igualmente cuando se encuentran dos corrientes de aire de distinta dirección. Se desarrolla entonces una zona de convergencia en cuyo seno está una parte del aire obligada a elevarse, pudiendo provocar la condensación del vapor del agua y del aire ascendente y la formación de precipitaciones.

En las regiones tropicales el mal tiempo está asociado frecuentemente a zonas de convergencia entre dos corrientes de aire húmedo de distintas direcciones.

Las bajas presiones ecuatoriales son con frecuencia sede de una importante convergencia, debido al hecho de que los vientos alisios de cada hemisferio convergen en esta región. Esta zona se llama zona de convergencia intertropical, en su vecindad se originan a menudo fuertes lluvias y tormentas.

e) Nubes

Una nube es una acumulación de vapor de agua, generalmente el vapor de agua no se ve y si por alguna causa este vapor de agua se condensa o licúa en pequeñas gotas de agua líquida, o se solidifica en pequeños cristales de hielo, y estos se acumulan, se hacen visibles y constituyen una nube.

Por tanto una nube es la acumulación de pequeñas gotas de agua o de pequeños cristales de hielo.

Las nubes se forman de dos maneras diferentes:

1° que la temperatura del aire baje de forma que pueda producirse la condensación del vapor de agua. Esto se consigue de dos formas: por elevación del aire caliente hacia zonas más altas y frías de la atmósfera, o por colisión frontal de dos masas de aire, una caliente y otra fría.

2° Que existan partículas de polvo, o polen o cristalitos de sal, en suspensión, para que actúen como núcleos de condensación o cristalización, facilitando la formación de las gotas de agua.

Las nubes pueden formarse y desplegarse en todos los niveles de la troposfera. Desde las nieblas, a nivel de la superficie terrestre, hasta las altas nubes de hielo, a más de 10 km. De altura, se encuentra toda una gama de nubes.

e.1) Clasificación de las nubes

Si se clasifican las nubes en función de su forma, encontramos tres grandes grupos:

Estratos (St): Son nubes que forman capas superpuestas. Suelen encontrarse a baja altura. La niebla es su manifestación más conocida. Aparecen con más frecuencia en invierno.

Cumulus(Cu): El nombre cúmulo proviene del latín cumulus, y significa montón. Se forman al elevarse rápidamente masas de aire caliente, por lo que son típicas del verano. Son nubes muy espesas y formas variadas que se asemejan a masas de algodón.

Cirros(Ci): La palabra cirro proviene del latín cirrus, que significa rizo o fleco. Los cirros suelen aparecer en verano. Son nubes muy altas, de aspecto fibroso y con penachos.

Cuando un estrato o un cúmulo adquieren coloración grisácea se denominan nimboestratos(Ns) o cumulonimbus(Cb), respectivamente, y ambas suelen conducir precipitaciones. Precisamente la palabra nimbo procede del latín nimbus, que significa nube de agua.

Se puede también clasificar a las nubes en función de la altura que ocupan en:

Nubes altas: Están a alturas superiores a los siete mil metros. Son puras nubes de hielo con temperaturas por debajo de los 35 grados bajo cero. Sus contornos son indefinidos.

Nubes medias: Se localizan entre los dos mil y los siete mil metros de altura. Son nubes mixtas de hielo y agua líquida, con temperaturas que llegan hasta los 35C° bajo cero.

Nubes bajas: Se encuentran por debajo de los dos mil metros de altura. Son nubes de agua líquida con temperaturas que van desde algunos grados por encima de 0 °C hasta 10 °C bajo cero y contornos perfectamente delimitados.

Combinando las dos clasificaciones anteriores encontramos las especies nubosas fundamentales que se establecen en el siguiente cuadro.

Cirros Cirros cúmulos Cirrosestratos	Nubes altas (de hielo)
7 kilómetros	
Alto cúmulos Altoestratos Nimboestratos	Nubes medias (mixtas)
2 kilómetros	

Cúmulos	
Cúmulonimbos	
Estratos	Nubes bajas(de agua)

Por último las nubes se pueden clasificar considerando el mecanismo que origina su formación. De esta forma encontramos también tres tipos de nubes diferentes:

Frontales: Originadas por colisión frontal de dos masas de aire, una fría y otra caliente. En la masa caliente, que se enfría se forma la nube.

Orográficas: Se producen cuando una masa de aire choca con una formación montañosa y asciende por su ladera. El enfriamiento producido en la ascensión origina la nube.

De convección: Formadas cuando una masa de aire sufre un calentamiento fuerte y como consecuencia de ello asciende hacia capas mas altas de la atmósfera donde se enfría y origina la nube.

En la atmósfera se pueden observar nubes de tipos muy diferentes según la naturaleza de los movimientos que han dado lugar a su formación.

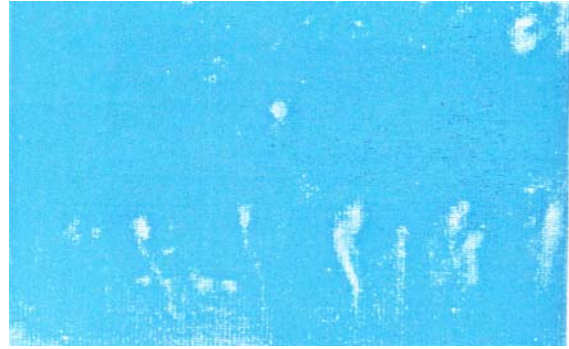
Las nubes están formadas por gotas de agua o de cristales de hielo, o de una combinación de ambos. Antes de producirse una precipitación las gotas de agua deben agruparse en grandes gotas o en grandes cristales, no todas las nubes dan lugar a precipitaciones. Las gotas de agua pueden formarse en nubes calientes o en nubes frías. Son nubes calientes cuando la temperatura de la nube sea en toda ella superior al punto de congelación del agua (cero grados centígrados). En una nube caliente no existe ningún cristal de hielo y las gotas de lluvia se forman partiendo de las gotas de nubes por medio de un proceso llamado coalescencia. En este proceso las gotas nubosas son transportadas hacia arriba por las corrientes ascendentes. A pesar de que su movimiento es caído con respecto al aire, las gotas más gruesas caen más rápidamente que las de menor tamaño y entran en colisión con estas; entonces se fusionan y dan lugar a gotas más gruesas, todo lo cual constituye el proceso de coalescencia. Cuando las gotas adquieren un tamaño suficiente caen en forma de gotas de lluvia continuación se describen los diferentes géneros de nubes que se forman en la atmósfera.

Cirrus: Nubes separadas en forma de filamentos blancos y delicados, o de bancos, o de franjas estrechas, blancas del todo o en su mayor parte. Estas nubes tienen un aspecto delicado, sedoso o fibroso brillantes continuación se establecen los diferentes tipos de nubes Cirrus

.e.2) Tipos de nubes



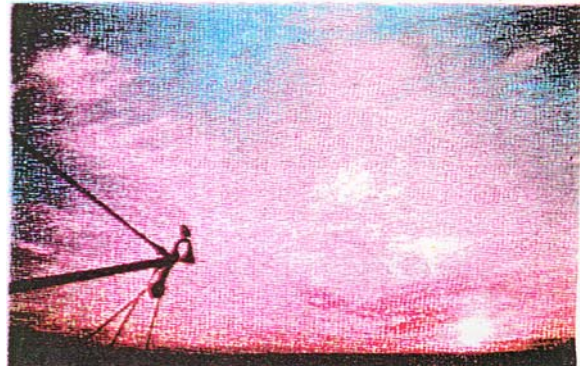
CIRRUS FIBRATUS



**CIRRUS SPISSATUS en manchones
encendidos**



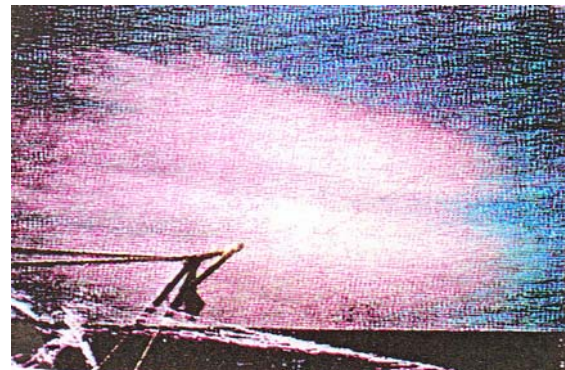
**CIRRUS SPISSATUS
CUMULUNIMBOGENITUS**



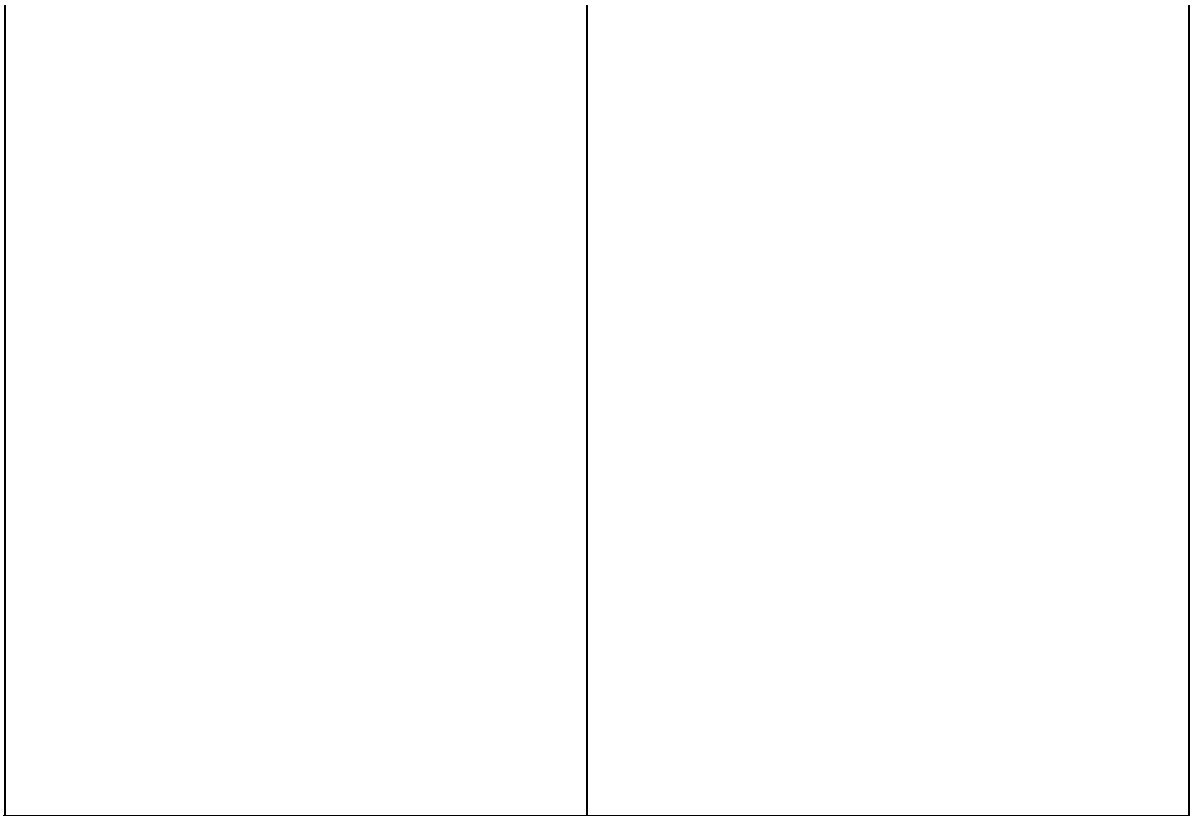
CIRRUS ENCINUS O FIBRATUS



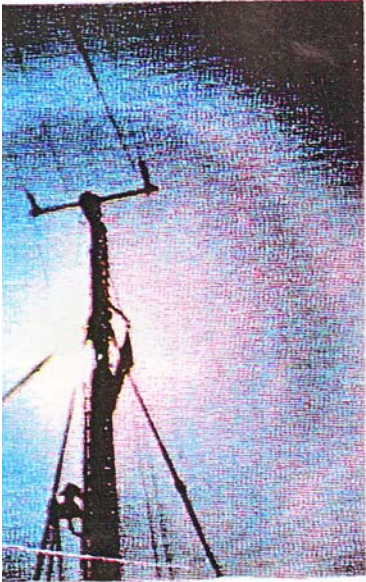
CIRRUS



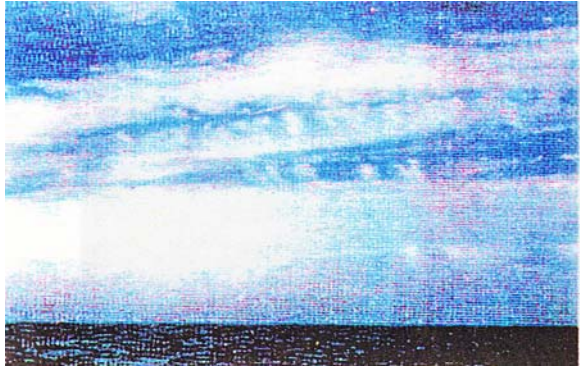
**CIRRUS FRECUENTEMENTE EN
BANDAS**



--	--



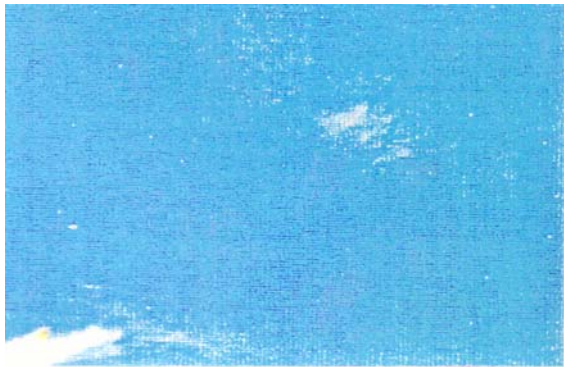
CIRRUSTRATUS



CIRRUSTRATUS



CIRRUCUMULUS



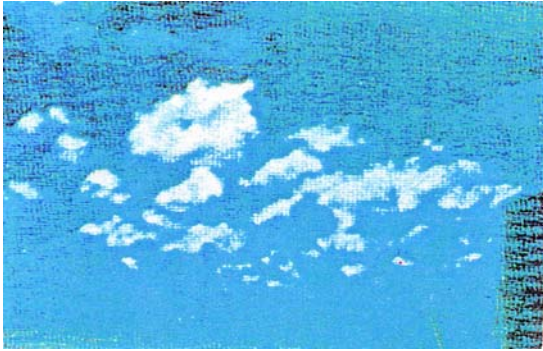
CIRRUCUMULUS

Cirrustratus: Velo nuboso transparente fino y blanquecino, de aspecto fibroso o liso, que cubre total o parcialmente el cielo, dejando pasar la luz del sol y la luna.

No precipitan y por lo general producen fenómenos de halo (solar o lunar).

Cirruscumulus: Banco, manto o capa delgada de nubes blancas, sin sombras propias, compuestas de elementos muy pequeños en forma de glóbulos de ondas, unidos o no y dispuestos más o menos regularmente. Son señales de corrientes en chorro y turbulencias.

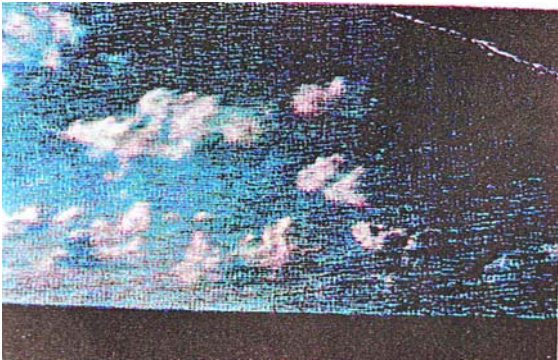
A continuación se muestran las nubes tipo Altocumulus y cumulus.



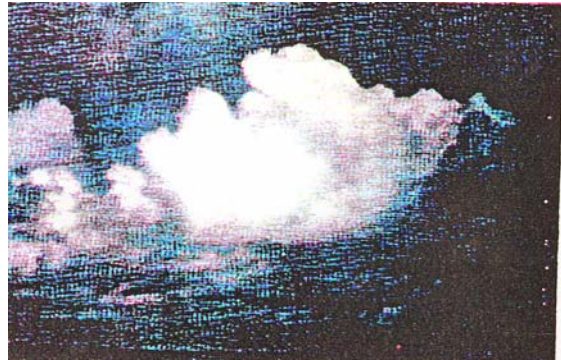
FRACTOCUMULUS



CUMULUS HUMILIS



CUMULUS MEDIOCRIS



CUMULUS CONGESTUS



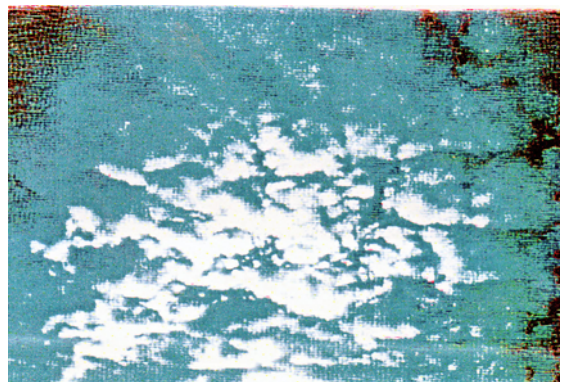
CUMULONIMBUS



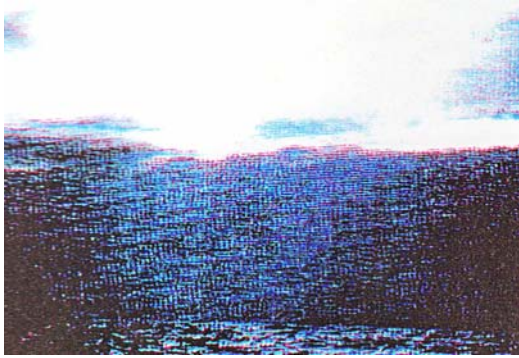
STRATOCUMULUS
COMULUGENITUS



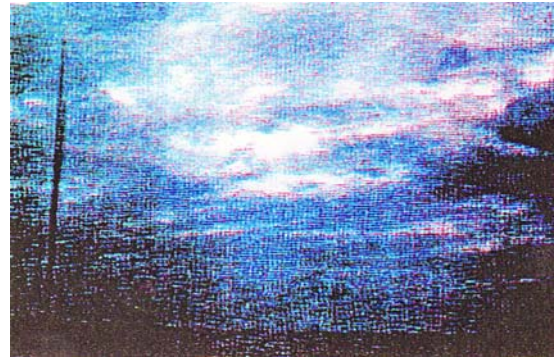
STRATOCUMULUS
CUMULUGENITUS



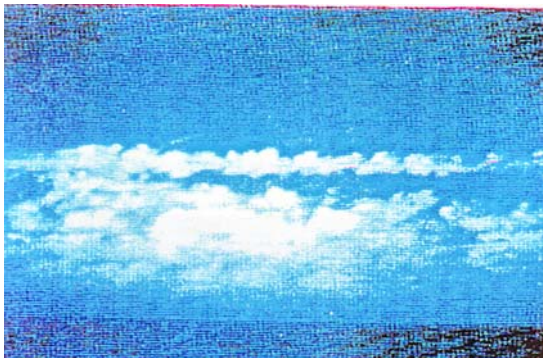
STRATOCUMULOS



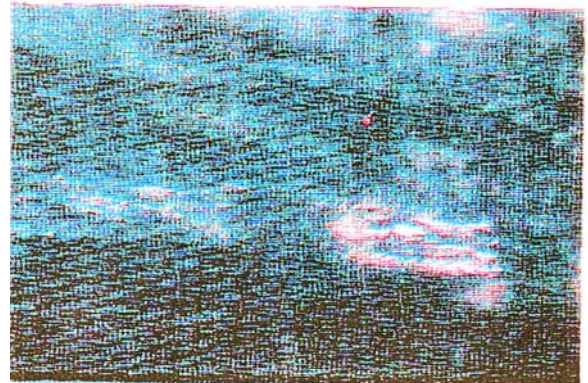
ALTOCUMULUS TRASLUCIDOS U
OPACOS



ALTOCUMULUS CON ALTOSTRATUS O
NIMBUSTRATUS



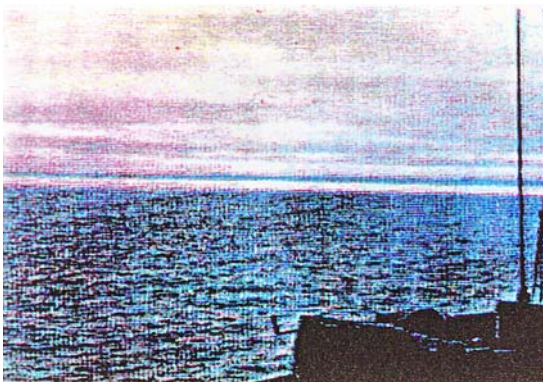
ALTOCUMULUS CASTELLANUS O
FLOCCUS



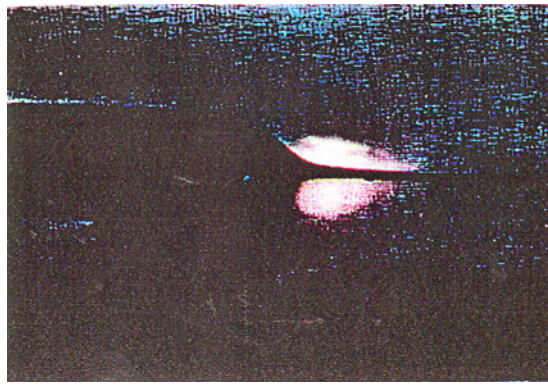
ALTOCUMULUS que dan al cielo caòtico

Altostratus: Banco, manto o capas de nubes blancas o grises, o a la vez blancas y grises, que tienen, generalmente sombras propias, en forma Algodonada, aspecto a veces, parcialmente fibroso o difuso, aglomerados o no.

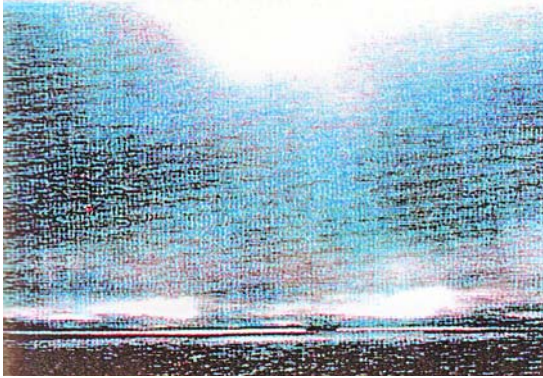
Cumulus: Nubes aisladas, generalmente densas y de contornos bien delimitados, Que se desarrollan verticalmente en protuberancias, cupulas o torres cuya grumosa parte superior se asemejan a menudo a coliflor a una palomita de maíz, Las porciones de estas nubes iluminadas por el sol son casi siempre blancas y brillantes; su base relativamente oscura, es casi siempre oscura. Son muy frecuentes sobre tierra durante el día y sobre el agua en la noche. Pueden ser de origen orográfico o térmico (convectivas). Presentan precipitaciones en forma de aguaceros.



STRATOCUMULUS OPACUS



STRATUS



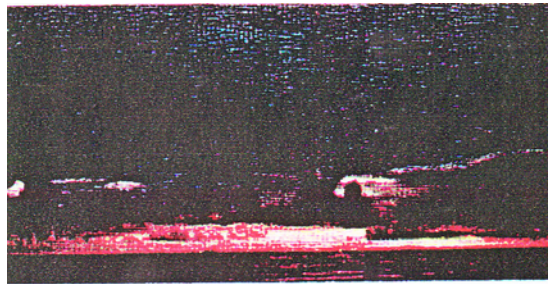
STRATUS NEBULUS



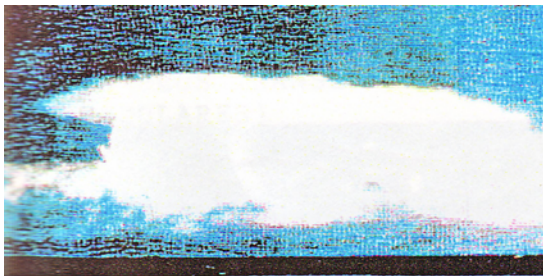
STRATUS FRACTUS O CUMULUS
FRACTUS de mal tiempo



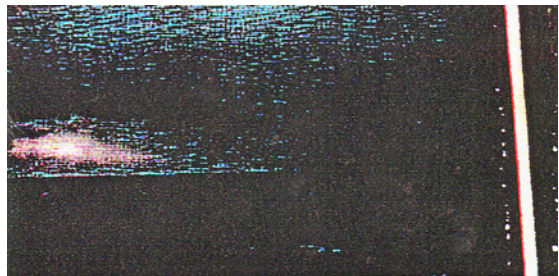
FRACTOCUMULUS de mal tiempo



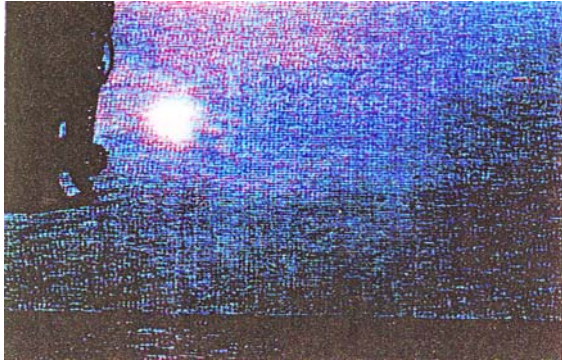
CUMULUS Y STRATOCUMULUS



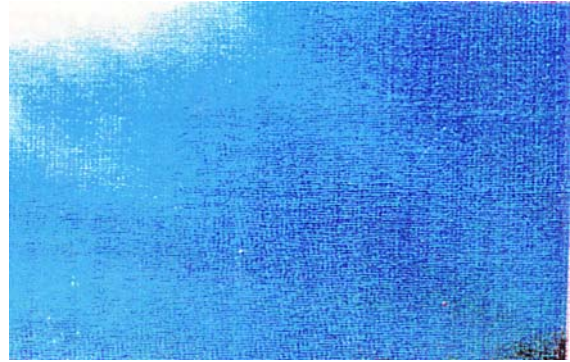
CUMULUNIMBUS CAPILLATUS



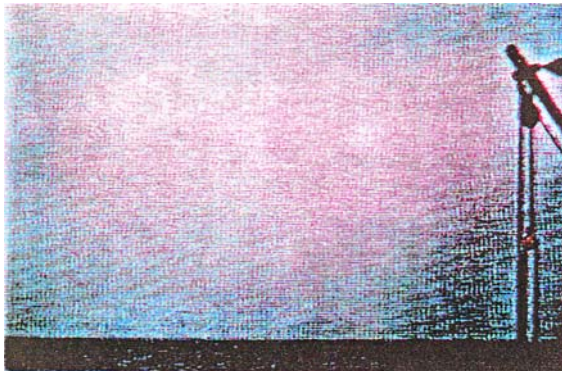
CUMULUNIMBUS PRECIPITATIO



ALTOSTRATUS TRASLUCIDOS



ALTOSTRATUS OPACUS



NIMBUSTRATUS



ALTOCUMULUS TRASLUCIDOS



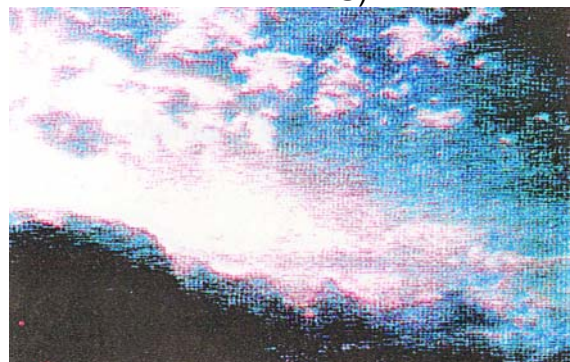
ALTOCUMULUS (LENTICULARES) TRASLUCIDOS



ALTOCUMULUS TRASLUCIDOS (EN BANDAS)



ALTOCUMULUS TRASLUCIDOS U ALTOCUMULUS CUMULUGENITUS OPACUS



STRATOCUMULUS: Banco, manto o capa de nubes grises, o blanquecinas, o ambos colores a la vez, que tienen casi siempre partes oscuras, de aspecto no fibroso. Dentro de esta nube los aviones experimentan cierta turbulencia.

STRATUS: Nubes muy bajas, originándose desde alturas cercanas al suelo hasta los 800mts. Se presentan en capas nubosas generalmente grises, con bases uniformes, Cuando el sol es visible a través de la capa su contorno se distingue con facilidad. El stratus no produce fenómenos de halo, salvo en algunas ocasiones a muy bajas temperaturas. Aparecen con frecuencia en las mañanas sobre zonas montañosas. Las nieblas y neblinas son stratus que se forman sobre el suelo. La precipitación que produce es de tipo llovizna.

CUMULUSNIMBUS: Nube densa y potente, de considerable extensión vertical en forma de montaña o de enormes torres. Una parte de su región superior es generalmente lisa, fibrosa o estriada y casi siempre aplanada, esta parte se extiende frecuentemente en forma de yunque o de vasto penacho. Son las nubes que originan las tormentas, tornados, granizos. La base se encuentra entre 700 y 1500 ms. Y la altura superior de la nube puede llegar a 24 y 35 kilómetros de altura.

Están formadas por gotas de agua, cristales de hielo, gotas superenfriadas, focos de nieve y granizo. La turbulencia en los alrededores de estas nubes es muy fuerte, motivo por el cual los aviones deben evitarlas.

ALTOSTRATUS: Manto o capa nubosa grisácea o azulada de aspecto estriado, fibroso o uniforme, que cubre totalmente o parcialmente el cielo y que presenta partes suficientemente delgadas para dejar ver el sol, al menos vagamente, como a través de un cristal sucio. Está compuesta por gotas de agua y cristales de hielo; no forman halos precipitan en forma leve y continua.

NIMBUSTRATUS: Capa nubosa gris frecuentemente sombría, cuyo aspecto resulta velado por las precipitaciones más o menos continuas de lluvia o de nieve, las cuales en la mayoría de los casos llegan al suelo. El espesor de estas capas es en toda su extensión suficiente para ocultar completamente el sol. Produce precipitación intermitente y algunas veces intensa.

Éstos son los tipos de nubes que se forman en la troposfera.

f) Fase del ciclo del agua relacionado con el mar

A continuación se tratarán los efectos del viento sobre las corrientes oceánicas en toda la tierra. Durante miles de años, los hombres que vivían en la costa obtenían la sal para su cocina mediante la evaporación o la ebullición del agua del mar; en la actualidad se sabe que el agua del mar contiene un gran número de sales en disolución, entre estas sales, la más corriente es cloruro de sodio o

sal común, que constituye aproximadamente el 85% de los materiales disueltos.

g) La salinidad

Es el número de gramos de materiales disueltos en 1000 gramos de agua de mar en término medio, la salinidad del agua de mar es de 35 gramos por kilogramo, es decir, el 3.5% de su peso aproximadamente.

Los ríos que discurren sobre la tierra transportan al mar una gran cantidad de materiales disueltos. A diferencia de las partículas procedentes de la erosión del suelo y de las rocas que transportan los ríos que quedan depositados en forma de sedimentos en los fondos marinos las materias disueltas se presentan en forma de iones suspendidos en el agua.

El 99% de las sales marinas están constituidas por seis tipos de iones solamente y son los siguientes.

ION	PORCENTAJE APROXIMADO
COLORO	55
SODIO	30
SULFATO	8
MAGNESIO	4
CALCIO	1
POTASIO	1

La composición de las sales disueltas en el agua de mar, difiere de la composición media de la corteza terrestre, por dos razones:

En primer lugar algunos elementos se disuelven más fácilmente que otros. En segundo lugar ciertos compuestos químicos son eliminados de los océanos por organismos vivos, las conchas y los esqueletos de muchos organismos que viven en el mar contiene calcio y sílice que han recibido del agua del mar. Las plantas marinas y los animales se sirven igualmente de ciertos elementos procedentes de las aguas oceánicas. El sodio y el cloro son muy solubles en el agua y son apenas utilizados por las plantas y animales marinos, por esta razón se acumulan en el agua del mar con una rapidez mayor que los demás iones.

Aunque este proceso viene sucediéndose durante muchos milenios, los mares podrían contener aún mayor cantidad de sodio y cloro.

En realidad el agua del mar podría disolver mayor cantidad de toda clase de iones exceptuando el calcio. En las aguas cálidas cerca de los ríos, el agua de mar alcanza a veces su punto de saturación en calcio, se observan, entonces depósitos de carbonato de calcio y estos sedimentos pueden dar origen a arrecifes calcáreos.

h) Intercambio de materiales terrestres entre el mar y la atmósfera.

Entre los océanos y la atmósfera se produce un intercambio de materiales terrestres, de este modo cierta cantidad de sal marina pasa del mar a la

atmósfera cuando las olas del mar proyectan al aire gotas de agua, las más pequeñas se evaporan a veces en el aire dejando unos pequeños cristales de sal, que son trasladados a distancia por los vientos; estos pequeños cristales se convierten en los núcleos de condensación en los que el vapor de agua se condensa para formar nubes.

Igualmente se realiza un intercambio de gases en la superficie que limita mares y atmósfera, el oxígeno y el gas carbónico son los más importantes de estos gases, siendo necesarios para el mantenimiento de la vida en los océanos del mismo modo que sobre la tierra.

Los animales necesitan oxígeno para vivir y expulsan gas carbónico, los peces y demás especies marinas consumen pues, el oxígeno atmosférico; por el contrario, las plantas marinas rechazan el oxígeno cerca de la superficie del mar y una parte de este oxígeno se escapa al aire siendo el resto transportado a la profundidad por las corrientes oceánicas.

El agua es una de las sustancias más importantes del intercambio entre el mar y la atmósfera. Más del 80% del vapor de agua atmosférico procede de los océanos por evaporación. Ésta es especialmente rápida cuando la temperatura del mar es superior a la del aire.

Una gran cantidad de este vapor de agua se condensa después y cae sobre el mar en forma de precipitación. La mayoría de las precipitaciones que se producen sobre el continente tienen origen oceánico.

La salinidad del agua de mar en superficie, naturalmente está afectada por la pérdida o ganancia de agua que resulta del proceso de evaporación y de precipitación. El agua que se evapora del mar no contiene sales en solución, de modo que la salinidad de las aguas superficiales del mar es por término medio, más elevadas en aquellas latitudes donde la evaporación es mayor que la precipitación.

Así se puede explicar porque la salinidad de las aguas de superficie es mayor en las cercanías de las franjas de alta presión subtropical de cada hemisferio.

i) Proceso de intercambio de energía

Además de los intercambios de los materiales terrestres en la superficie de separación entre océano y atmósfera, se producen igualmente intercambios de energía. La evaporación del agua precisa un aporte de energía y esta energía se transfiere a la atmósfera en forma de calor latente del vapor de agua.

La mayor parte de este vapor de agua se condensa después y libera su calor latente en el aire situado sobre los océanos, aunque el agua condensada puede volver enseguida al océano, en forma de precipitación, la energía liberada subsiste en la atmósfera, en forma de calor, ello representa la fuente de una gran cantidad de energía que produce vientos y tempestades.

Los mares cubren alrededor del 71% de la superficie del globo terrestre, de modo que una gran parte de la radiación de corta longitud de onda procede del sol y es absorbida por los océanos que a su vez irradian una gran parte de esta energía en forma de radiación terrestre, de gran longitud de onda.

Esta radiación no se propaga en la atmósfera tan fácilmente como la radiación solar incidente, el vapor de agua y el gas carbónico que contiene la atmósfera absorbe la radiación de gran longitud de onda. Esta energía se utiliza para calentar el aire.

En una latitud baja en las proximidades del ecuador, el sistema tierra atmósfera absorbe más energía que la que emite hacia el espacio, así pues la superficie del océano es cálida en las regiones intertropicales, en las altas latitudes existe un déficit de energía y las temperaturas de las superficies del mar son bajas en las regiones polares.

Los primeros metros de agua en las superficies de los mares absorben la mayor parte de la radiación de onda corta, una parte de este calor es transportado a la profundidad como resultado de la agitación debida a los vientos y a las olas. Existe pues una capa superficial en cuyo seno la temperatura es mas o menos uniforme, esta capa se puede extender hasta una profundidad de 200 a 300 m.

Por debajo de esta capa la temperatura desciende rápidamente durante centenares de metros, porque las aguas cálidas de la superficie no alcanzan esta profundidad.

El limite a partir del cual la temperatura varía rápidamente con la profundidad se llama termoclina.

Por debajo de la termoclina se produce un descenso más gradual de la temperatura, sin embargo, incluso en regiones tropicales, la temperatura del agua de los mares, a un kilómetro de profundidad no se eleva sino algunos grados por encima de 0°C.

Los intercambios de materiales y de energía que se han tratado, constituyen importantes eslabones de la cadena de acontecimientos que implica la circulación de la atmósfera y de las aguas.

j) El viento y las corrientes marinas

Los mares nunca están en reposo, además de las mareas y las olas, las grandes masas de agua de los océanos están en movimiento.

En ausencia de otros influyentes, las diferencias de temperatura y la fuerza de gravedad bastarían para poner en movimiento las aguas oceánicas, sin embargo la atmósfera está en movimiento y los vientos empujan delante de ellos, a las aguas superficiales de los mares.

Las principales fuerzas motrices de las corrientes marinas encuentran su origen en la fuerte acción reciproca que se ejerce entre el océano y los sistemas de circulación atmosférica, en definitiva, la energía necesaria para animar los movimientos de la atmósfera y de los mares procede naturalmente de la radiación solar.

La acción de los vientos sobre los océanos está regida por la gravedad. El calentamiento del océano, en las cercanías del Ecuador y su enfriamiento en las regiones polares originan diferencias de temperatura y por la acción de la gravedad, se desarrollan corrientes de convección, como consecuencia de la tendencia de las aguas frías y densas al tomar un movimiento descendente, forzando así aguas más cálidas y menos densas a que suban a la superficie.

Lo mismo que en el caso de los vientos la dirección de las corrientes oceánicas, está afectada por la rotación de la tierra, para un observador terrestre las aguas del océano siguen una trayectoria curva, debido al efecto de coriolis, todo objeto en movimiento libre, en la superficie del globo está afectado por esta fuerza aparente debida a la rotación de la tierra.

Con relación al objeto en movimiento la fuerza de coriolis tiene por efecto desviar las corrientes marinas, hacia su derecha en el hemisferio norte y hacia

su izquierda en el hemisferio sur, al principio el agua comienza a moverse en la dirección del viento, pero inmediatamente es desviada por la fuerza de coriolis, la magnitud de esta desviación depende de varios factores entre ellos la resistencia debido al rozamiento interno del agua.

El efecto combinado de los vientos y de estas fuerzas directrices produce un sistema interconectado de corrientes girando en el sentido de las manecillas de un reloj y en sentido inverso, considerando que la tierra se mueve de este a oeste partiendo del Ecuador.

En la figura 17 se presenta un esquema de las características principales de las corrientes oceánicas mundiales.

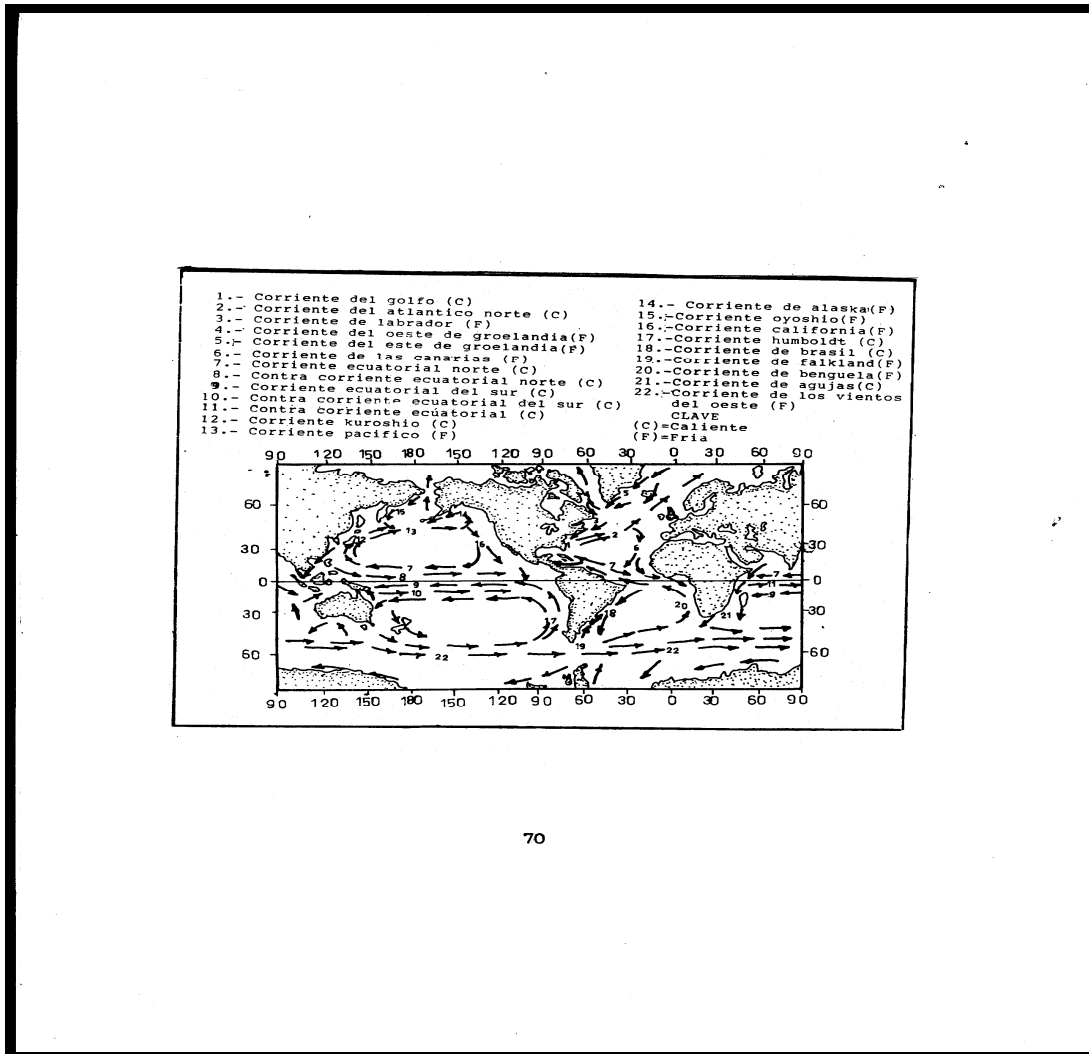


Figura 17. Corrientes oceánicas mundiales
(Fuente: Apuntes de Meteorología 1990 O.M.M)

k) Esquema general de las corrientes oceánicas

Las corrientes oceánicas, al igual que la circulación atmosférica, transportan calor desde las regiones ecuatoriales hacia los polos, sin embargo, las corrientes que van hacia el ecuador transportan agua fría de las altas a las bajas latitudes.

En las latitudes próximas al ecuador, la fuerza motriz de los océanos está constituida en cada hemisferio por el sistema de alisios, éstos son los vientos más regulares de la tierra y su misión es la de empujar el agua de los océanos del este hacia el oeste dando así su origen a las corrientes oceánicas más fuertes, las corrientes ecuatoriales norte y sur.

El agua tiende a acumularse en la parte occidental de los océanos y la pendiente de los océanos y la pendiente de la superficie, de los mismos es de 1 cm por 200

km como término medio, mientras soplan los vientos las aguas oceánicas discurren remontando esta pendiente sin embargo, en el seno de las bajas presiones ecuatoriales, los vientos son variables y débiles generalmente, en ausencia de viento que la retenga, el agua refluye en sentido opuesto es decir del oeste a este y desciende la pendiente, ésta es la contracorriente ecuatorial; donde se desarrolla con más fuerza es en la zona oriental del océano pacífico, aunque también ocurre en los demás océanos.

Estos sistemas oceánicos y atmosféricos de bajas latitudes tienden a desplazarse hacia el norte o hacia el sur, cuando las bajas presiones atmosféricas sufren su oscilación anual, las variaciones estacionales de la trayectoria aparente del sol determinan la localización de las regiones de máximo calentamiento o por término medio, este ecuador térmico se sitúa un poco al norte del ecuador geográfico, los sistemas de circulación atmosférica y oceánica se centran en él.

Las corrientes ecuatoriales norte y sur que discurren hacia el oeste son desviadas por las barreras continentales, la corriente ecuatorial norte gira hacia el norte a lo largo de las costas orientales de los continentes del hemisferio norte del mismo modo, las corrientes ecuatoriales del sur, se desvían hacia el sur a lo largo de las costas orientales de los continentes del hemisferio austral, estas corrientes transportan así el calor hacia el polo.

En las latitudes medias los vientos del oeste empujan a las aguas oceánicas del oeste hacia el este, su influencia es particularmente importante en el hemisferio sur, donde los vientos del oeste son fuertes y regulares, en este hemisferio existen, a estas latitudes, pocos continentes que pueden desviar las aguas oceánicas, de manera que éstas giran alrededor de la tierra, en una corriente continua, estas corrientes del oeste en latitudes medias reciben el nombre de derivas de los vientos del oeste.

Las corrientes oceánicas son relativamente comparadas con el movimiento del viento, en algunas zonas oceánicas se observa un ascenso de aguas profundas conocidas con el nombre de upwelling cuando los vientos soplan hacia el ecuador, a lo largo de las costas occidentales de los continentes.

Las aguas superficiales son arrastradas hacia las bajas latitudes al mismo tiempo la fuerza de coriolis desvía las aguas de la costa, Resultando así que el agua fría de la profundidad, sube para reemplazar a las de la superficie.

El upwelling puede tener importantes consecuencias económicas por ejemplo, parte de la corriente del oeste del pacífico sur es desviada hacia el ecuador, en las proximidades de la punta de América del sur, se llama corriente del Perú o corriente de Humboldt.

La corriente de Humboldt sigue la costa occidental del continente hasta llegar a unos grados del Ecuador, donde gira hacia el oeste y se une a la corriente

ecuatorial sur, en el lado que mira a la costa, las aguas superficiales se apartan de la misma por el influjo de la fuerza de coriolis y son reemplazados por las aguas frías que emergen de las profundidades.

Este upwelling trae consigo fosfato y otros minerales fertilizantes que alimentan a una de las poblaciones de vida marina más ricas del mundo.

Poderosas flotas pesqueras operan en esta zona y millones de aves viven de los peces de la corriente de Humboldt.

Sin embargo, algunos años ocurre el desastre; la corriente de Humboldt, se debilita o se desplaza hacia alta mar de modo que en las zonas costeras cesa el upwelling, las temperaturas de superficie de las aguas litorales se elevan anormalmente y con frecuencia se establece una corriente de agua superficial cálida procedente del norte, es ésta una situación desastrosa para los peces y demás organismos vivos, mueren de hambre miles de aves.

El upwelling no se produce únicamente en la corriente de Humboldt, se presenta igualmente en las regiones costeras de California, de Australia occidental del Vietnam y del suroeste de África.

I) Corrientes debidas a las diferencias de densidad

En el año de 1952, el oceanógrafo americano Townsend Cromwell, descubrió una nueva corriente principal a la profundidad de unos 50 m por debajo de la corriente ecuatorial sur, esta corriente de Cromwell, fue descubierta en el Pacífico, cerca de la longitud 150° y desde allí fue seguida durante más de 5000 km, su anchura es de unos 400 km y discurre hacia el este, es decir en sentido opuesto a la corriente ecuatorial sur, la corriente Cromwell, es tan grande y poderosa que tiene bastante importancia.

Se cree que estas diferencias de densidad tienen efecto en la creación de corrientes de escasa velocidad en las profundidades, la densidad del agua de mar depende de la temperatura y de su salinidad, la transferencia de energía o de materia en los límites de separación de océanos y atmósfera modifica la densidad del agua del mar.

De este modo se puede obtener de manera indirecta una gran cantidad de datos sobre las corrientes oceánicas, en profundidades midiendo la temperatura y la salinidad a distintas profundidades igualmente se mide el contenido de oxígeno porque este debe de ser transportado hasta las mayores profundidades para que la vida marina pueda subsistir.

Todo el fondo de los mares está lleno de agua fría cuya temperatura no se eleva sino algunos grados arriba de 0° C, incluso bajo las aguas superficiales cálidas en las regiones tropicales, esta agua fría debe de proceder de la Antártida y Groenlandia a partir de estos dos sumideros el agua fría se extendería sobre el fondo del océano.

En torno a la Antártida se encuentran las aguas de mayor densidad, el hielo del mar al igual que la evaporación deposita la sal en el agua que permanece líquida, por consiguiente, en el momento en que se forma hielo en la superficie aumenta la salinidad de las aguas restantes, una elevada salinidad y unas temperaturas muy bajas se traducen en una fuerte densidad del agua, esta agua densa se hunde lentamente en las profundidades y se desplaza hacia el ecuador.

En el Ártico el agua fría relativamente dulce y ligera debido a la desembocadura en el mar de grandes y pequeños ríos, discurre en superficie

hacia el sur, al encontrarse con aguas cálidas y menos densas de la deriva de los vientos del oeste del hemisferio norte, se sumerge y continua su desplazamiento hacia el sur a gran profundidad.

La figura 18 muestra las características principales de estas corrientes oceánicas en profundidad.

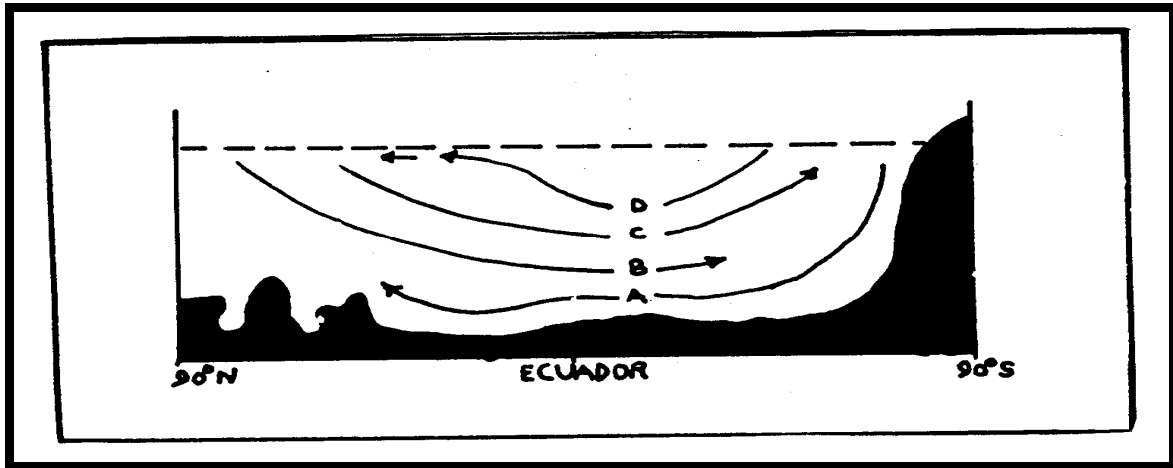


Figura 18. Corrientes oceánicas en profundidad
(Fuente: Apuntes de Meteorología 1990 O.M.M)

La corriente Antártica de fondo (A), se desplaza lentamente en dirección norte, atravesando el ecuador y remontando a veces la corriente de fondo del Atlántico norte (B), que se desliza por encima de su travesía hacia el atlántico, la corriente atlántica intermedia (C) sube a las zonas del Antártico norte con las corrientes de superficie. Otra corriente importante es la intermedia antártica (D) se desplaza hacia el norte a partir del antártico y atraviesa el ecuador a una profundidad del orden de 2 km o incluso cuando llega el océano atlántico, emite lenguas de aguas relativamente frías, de poca salinidad bajo las aguas superficiales saladas y cálidas del mar de los sargazos.

Otro intercambio importante de aguas es el que tiene lugar entre el Mediterráneo y el Atlántico norte como consecuencia de la fuerte evaporación, el Mediterráneo es uno de los mares más salados del mundo; durante el invierno las aguas saladas densas se sumergen y escurren hacia el océano a una velocidad tal que el aporte procedente de las lluvias y de los ríos resulta insuficiente para sustituirla.

Entonces en el estrecho de Gibraltar se produce un fuerte intercambio de agua, las de superficie del Atlántico norte discurren hacia el mediterráneo en forma de corriente poco profunda con un caudal aproximado de 2 000,000,000 kilogramos de agua por segundo, por debajo del estrecho de Gibraltar discurre una corriente de agua salada hacia el océano Atlántico y se extiende en la zona sureste de este océano, a una profundidad media.

Las aguas profundas de los demás océanos son menos conocidas que las del atlántico presentan igualmente una estratificación de sus aguas sobre la mayoría de los océanos, las aguas superficiales calentadas por el sol y por la atmósfera están separadas de las aguas profundas por una delgada capa limite, el limite en el cual la temperatura varía rápidamente con la profundidad es la termoclina, tiende ésta a bloquear los movimientos verticales del agua en muchas regiones de los océanos.

Los diversos procesos físicos que ocurren en los océanos influyen indirectamente en la transferencia de agua en la superficie de separación, océano atmósfera, el agua que se evapora de la superficie de los mares a la atmósfera puede caer posteriormente sobre las superficies continentales en forma de precipitación, aporta así un suplemento de agua dulce para las necesidades de la humanidad.

m) Fase del ciclo del agua relacionado con el continente

El hombre depende para subsistir de un abastecimiento adecuado de agua dulce, es pues, normal que se interese por las corrientes de agua, y por su almacenamiento en la tierra, por esta razón, dentro del ciclo general del agua se fijará la atención en la importante fase relativa al agua en la tierra.

n) Precipitación de agua sobre las regiones continentales

Habiendo estudiado ya la fuente de aguas oceánicas a continuación se estudiará la caída de ésta sobre las regiones continentales.

Cuando el aire húmedo se enfría, puede llegar a alcanzar el estado de saturación, un enfriamiento posterior provoca la condensación del vapor de agua en forma de gotas en las nubes, niebla, rocío o incluso en forma de escarcha.

La presencia de cristales de hielo en una nube puede desencadenar precipitaciones, el tamaño de las partículas que constituyen estas precipitaciones y su naturaleza sólida o líquida depende de su formación.

El hombre encuentra en las precipitaciones de lluvia o nieve la fuente principal para su aprovisionamiento de agua dulce, sin embargo en algunas regiones, el rocío se forma cuando la humedad del aire se condensa sobre objetos sólidos tales como plantas y rocas, y este rocío puede constituir una parte significativa muy importante del agua recogida en tales lugares, en otras regiones las nieblas densas pueden ser una fuente de humedad, las gotas de agua de niebla recogida por los árboles y arbustos se escurren hasta el suelo, proporcionando humedad suficiente para las necesidades de la vegetación en las zonas costeras poco lluviosas suministrando una cantidad de agua suplementaria que permite el crecimiento de los bosques densos en otra parte del mundo.

Las precipitaciones no sólo se producen en formas diferentes, sino que además son muy variables de un lugar a otro, de un mes a otro e incluso de un año a otro, grandes cantidades de agua caen, a veces en un tiempo muy corto, como sucede en las tormentas, mientras que en otras ocasiones la llovizna puede caer durante todo un día, sin que la cantidad de lluvia exceda algunos milímetros.

o) Almacenamiento del agua

Casi los dos tercios del total de las precipitaciones que alcanzan la tierra vuelven a la atmósfera por evaporación del suelo y de las plantas, el resto se infiltra en el suelo o corre sobre su superficie. Eventualmente la totalidad del agua vuelve a los océanos, a través de la atmósfera o bien por corrientes de agua de los arroyos y ríos, no obstante el retorno del agua al océano se puede retardar, lo que permite al hombre disponer de agua dulce para su vida diaria.

Las mayores reservas de agua dulce de la tierra están almacenadas en forma de hielo, en los glaciares de regiones antárticas y de Groenlandia, el volumen de hielo de la superficie del globo sobrepasa los 25 millones de kilómetros cúbicos.

Gran cantidad de agua se almacena también en los campos de nieve de las regiones polares o montañosas, la mayor parte de la nieve cae en los límites marginales de las regiones polares y funde en primavera, gran parte de esta agua de fusión corre por arroyos y lagos, particularmente si el suelo está helado bajo la nieve.

El agua está también almacenada dentro del suelo, penetra a través de sus poros hasta que alcanza la roca subyacente, el substrato rocoso puede presentar grietas y espacios porosos y en las oquedades del substrato rocoso, el agua así almacenada constituye una importante fuente de humedad en regiones poco lluviosas.

El agua almacenada en lagos es de gran valor económico en la mayor parte de las regiones del globo, suministra agua dulce a las ciudades y es un gran recurso para la economía agrícola y ganadera, en regiones adecuadas se han creado lagos artificiales, represando a los ríos y constituyendo así una reserva suplementaria de agua dulce.

p) El desplazamiento del agua en el suelo

El agua se infiltra en el suelo, a través de sus poros, esta infiltración se efectúa rápidamente en la arena, porque los poros entre sus granos son grandes.

En otros suelos como los arcillosos, que tienen poros muy pequeños, el agua penetra muy lentamente, y un exceso de ella no puede penetrar hasta que la masa de agua, subyacente se haya infiltrado.

Generalmente el agua es retenida por las arcillas por cohesión, adhesión y atracción molecular y se desplaza muy lentamente.

Es condición indispensable a toda infiltración que los poros estén conectados entre sí, en un suelo desnudo de vegetación, con frecuencia los espacios porosos de su capa superficial se rompen, a causa de la caída de gotas de lluvia, y entonces algunas partículas del suelo tapan los poros y forman una capa de tierra compacta que reduce la velocidad de infiltración.

Si el suelo está cubierto de vegetación, este efecto de las gotas de lluvia se reduce, ya que las hojas de las plantas reciben el impacto de las gotas de lluvia protegiendo los poros del suelo y permitiendo así una infiltración del agua en lugar de favorecer su escorrentía, por tanto la presencia de vegetación reduce la erosión y las inundaciones.

q) El almacenamiento del agua en profundidad

El agua que penetra a través de los grandes poros se llama agua de gravedad, esta agua se acumula y llena todas las oquedades y espacios porosos a cierta profundidad, el nivel por debajo del cual las rocas y el suelo están saturados de agua se llama nivel de la capa freática se dice que las rocas situadas bajo el nivel de la capa freática están en la zona de saturación.

En otras regiones el agua contenida en el suelo fluye directamente en el seno de las corrientes de agua e incluso alimenta una corriente durante los períodos secos, en este caso el nivel de la capa freática desciende.

En las regiones áridas, la capa freática está situada, a veces a un nivel inferior a las del lecho de las corrientes de agua de la propia región, entonces se desplaza en sentido opuesto, el agua va del río al substrato rocoso, hasta que produce la sequía total de la corriente.

r) Corriente a cauce abierto

Cuando empieza a llover, la lluvia penetra en los poros del suelo y a medida que los poros se llenan, comienza la escorrentía superficial, dirigiéndose hacia el lecho de un arroyo o de un río; simultáneamente el agua infiltrada en el suelo penetra más profundamente debido a la gravedad y alcanza progresivamente la capa freática, por lo que cada vez mayor cantidad de agua corre subterráneamente hacia los arroyos y ríos.

El agua después de las escorrentías superficiales y subterráneas se vierte en las corrientes, pero algún tiempo ha transcurrido necesariamente entre el momento de la lluvia en el instante en que llega a las corrientes existentes, ocurre a veces que la lluvia cesa antes de que un curso de agua haya alcanzado su nivel máximo.

Más de la mitad del caudal total anual de la mayoría de los ríos procede de aguas subterráneas que son importante elemento regulador de sus caudales.

Así mismo, en gran parte de los continentes, el agua almacenada en lagos y terrenos pantanosos es elemento regulador del caudal de los cursos de agua y mantiene dicho caudal a nivel casi constante.

s) Evaporación y transpiración

Casi dos tercios de las precipitaciones recibidas en las superficies continentales son así devueltas a la atmósfera por evaporación y transpiración. La cantidad de agua evaporada depende en gran manera de la energía suministrada, la temperatura del aire da una indicación de la energía solar recibida.

El hombre se adapta a su medio ambiente y lo modifica de acuerdo con sus necesidades, por ello a menudo, se hace necesario modificar la economía del agua sobre el continente.

En la actualidad 361 000 kilómetros cúbicos de agua se evaporan anualmente del mar, representando una capa de un metro de espesor para todo el océano, únicamente vuelven al mar 324 000 kilómetros cúbicos de manera que un sobrante neto de 37 000 kilómetros cúbicos debe ir a otra parte, una parte más pequeña de agua 62 000 kilómetros cúbicos se evapora anualmente de los continentes, esta cantidad es en realidad más pequeña que la precipitación total anual. Sobre la tierra firme y el hielo de 99 000 kilómetros cúbicos el excedente total anual neto de evaporación oceánica cae entonces sobre los

continentes y dado que cada año cae más nieve y lluvia de lo que puede evaporarse de los continentes, se infiltran y fluyen anualmente 37 000 kilómetros cúbicos de agua al mar.

Gran parte del agua evaporada de los continentes, no es evaporada simplemente de las superficies expuestas de lagos y corrientes, sino que es utilizada por las plantas y animales.

Los glaciares almacenan grandes cantidades de agua en los continentes retirándola temporalmente del ciclo hidrológico, si los glaciares actuales se derritieran el nivel del mar se elevaría a unos 60 metros y sumergiría las áreas pobladas más densamente de la tierra. En los últimos 2 000 000. de años más o menos los casquetes de hielo continentales se han desarrollado y derretido repetidamente, trastornando temporalmente el ciclo hidrológico durante una edad de glaciación máxima, la cantidad de hielo de glaciación en la tierra puede haber sido 3 veces más grande que el volumen del hielo actual, y el nivel del mar pudo haber descendido hasta 140 metros, dejando expuesta la mayor parte de las plataformas continentales, todos estos aspectos del ciclo hidrológico se relacionan con la geomorfología, pero un aspecto en particular se debe destacar, la altura continental media es de 823 metros sobre el nivel del mar.

Es así como el ciclo hidrológico contribuye al modelaje de la superficie terrestre en una forma constante bien definida.

Hasta aquí se ha analizado el ciclo hidrológico en sus tres fases: en el mar, en el continente y en la atmósfera.

El estudio del ciclo hidrológico es de fundamental importancia para la comprensión precisa del comportamiento del agua en la naturaleza y la influencia que esta tiene en la relación atmósfera y superficie terrestre.

También el estudio del ciclo hidrológico tiene importancia para el establecimiento de criterios bien ubicados y definidos para el almacenamiento del agua con fines económicos en beneficio y confort de la humanidad.

El ciclo hidrológico es constante agua que cae, es agua que sube, éste seguirá con su dinamismo ininterrumpidamente mientras que la temperatura promedio de la tierra sea mantenida dentro de la amplitud en que el agua permanezca líquida y exista hielo y nieve y se encuentre en la atmósfera en la fase de vapor.

Así pues mientras la tierra mantenga la misma posición respecto al sol y conserve la misma distancia, el ciclo hidrológico seguirá efectuándose continuamente en el transcurrir de los tiempos venideros.

Capítulo II

B.1) Aguas subterráneas

Hasta aquí se han estudiado las características y estructuras de la atmósfera, los procesos de meteorización, la actividad del viento, la actividad geológica del agua y el ciclo del agua.

Todo esto tiene una relación directa en las aguas subterráneas ya que éstas están debajo de la superficie terrestre, pero se origina de la interacción existente entre la atmósfera, el agua y la superficie terrestre.

En primer término existe una relación muy vinculada con la lluvia y la superficie terrestre.

Ya se ha visto que la atmósfera, es una mezcla de aire, donde se llevan a cabo los procesos de evaporación, condensación y precipitación.

Estas tres fases del estado del agua en la atmósfera, prácticamente representan el motor que activa el proceso que da lugar a las aguas subterráneas.

Por tanto hay que considerar que para que existan las aguas subterráneas es necesario la descarga de agua por parte de la atmósfera sobre la superficie terrestre.

Así pues se debe de considerar la meteorología como una ciencia que tiene mucha relación con la geohidrología, ya que ambas están muy unidas entre sí por todos los procesos que comparten.

El ingeniero geólogo dedicado a la geohidrología no debe de analizar nada más de la superficie de la tierra hacia abajo; sino que también debe de analizar de la superficie de la tierra hacia arriba, ya que combinando observaciones atmosféricas y geológicas, se puede llegar a encontrar mejores resultados, ya que estas dos ciencias están muy ligadas entre sí, tal como la lluvia y los acuíferos. Es importante hacer notar que la fuente de agua subterránea más importante es la meteorológica, sobre todo el agua que cae de la atmósfera en forma de lluvia o de nieve.

Las aguas subterráneas constituyen el recurso natural más importante que se extrae anualmente de debajo de la superficie terrestre y es indudable que no hay otro recurso natural más esencial para la vida.

El agua es la sustancia más importante que se encuentra en la naturaleza, su fórmula química es H_2O y las propiedades de esta molécula están relacionadas con su estructura simétrica, misma que le confiere cualidades que le hacen ser una de las principales sustancias para la vida en el planeta. Mientras transita de uno de sus estados físicos a otro como líquido, como gas o como sólido, está distribuida siempre de modo equilibrado en el mar, en la tierra, en los casquetes polares y en la atmósfera.

El agua de los océanos cubre las dos tercias partes de la tierra, es decir, 361 millones de kilómetros cuadrados, de los 510 que forman la superficie total, el volumen de agua que existe en los mares y océanos se estima en 1400 millones de kilómetros cúbicos.

El agua de los ríos y lagunas, así como la del subsuelo (la de los denominados acuíferos) es la fuente principal de agua dulce y su volumen ocupa cerca de 5 millones de kilómetros cúbicos, aunque esta cantidad varia de acuerdo con la

época del año y representa un porcentaje aproximado de 0.35% del total del agua en el mundo.

El volumen de agua que escurre de los principales ríos del mundo se estima en 12.5 billones de metros cúbicos al año.

Como ya se ha mencionado el agua en su estado sólido se encuentra principalmente en los dos casquetes polares que cubren una superficie aproximada de 15.3 millones de kilómetros cuadrados equivalente al 3% de la superficie total de la tierra. Se estima que el volumen de hielo contenido en los glaciales es del orden de 34 millones de kilómetros cúbicos de agua los que representan un 2.15% del total del agua de la tierra.

El agua en su estado gaseoso se presenta en la naturaleza como vapor de agua, el cual en su mayoría procede de la evaporación de la superficie de los océanos.

La cantidad media anual de agua que se evapora se ha calculado en 316 billones de metros cúbicos; la mayor parte del agua evaporada regresa a la tierra en forma de precipitación pluvial.

A continuación se establece la distribución del balance de agua en el mundo, para conocer y ubicar a las aguas subterráneas ante el contexto global.

Reservas hídricas de la superficie del globo según R. I. Nace

Balance de agua en el mundo			
Localización	Volumen en km³	Volumen en km³	Volumen total en %
Océanos		1300000000	97.2
Glaciales y casquetes polares		28500000	2.15
Agua atmosférica		12700	0.001
Agua continental		8290000	0.65
Lagos de agua dulce	123000		0.009
Lagos salados y mares interiores	100000		0.008
Cursos de agua	1230		0.0001
Total	224230		0.017
Aguas subterráneas			
Agua próxima a la superficie	65000		0.005
Agua hasta 800 m	4000000		0.314
Agua profunda	4000000		0.314
Total	8065000		0.633
Totales	8289230	1336800000	

Aguas saladas

Las aguas saladas con los océanos y accesoriamente los lagos salados y mares interiores representan el 97% de las reservas de agua.

Aguas dulces

Las aguas dulces representan aproximadamente el 2.8% de las reservas totales, pero los glaciares y los casquetes polares almacenan ya 2.15% de las reservas totales del globo y 77% o sea, las tres cuartas partes de las aguas dulces.

Aguas de los continentes

Excluyendo los glaciares, las aguas de los continentes representan aproximadamente 0.65% menos del 1% del total de las reservas terrestres.

B.2) Importancia de la meteorología en el descenso del agua subterránea

Al estudiar las aguas subterráneas de una determinada zona, es importante hacer un reconocimiento del tipo de precipitación, cantidad de lluvia que ha caído y la frecuencia en que ha estado presente a lo largo de un período determinado en una zona o en una región dada.

Ya que esto depende de la cantidad de agua contenida en el subsuelo de dicho lugar, se ha mencionado algo muy importante cantidad y tipo de precipitación que actúa en un lugar determinado.

Por ejemplo, en los lugares donde llueve continua y constantemente el agua subterránea se encuentra a muy poca profundidad.

En cambio en lugares donde llueve muy escasa y esporádicamente, por ejemplo en los desiertos, el agua generalmente está profunda, y es poca la que se encuentra cerca de la superficie por que hay poca lluvia.

Otro factor meteorológico que influye en el descenso del agua subterránea, es el ritmo de precipitación.

Cuanto más rápido cae la lluvia menos agua se sumerge en el suelo, pues la superficie se satura pronto o escurre; lo mismo ocurre con la fusión de la nieve, cuanto más rápido sea el ritmo de fusión, menos agua entra en el suelo, sobre todo en un suelo helado.

Todo esto aunado con el declive superficial, cuanto más pronunciado es el declive, mayor cantidad de agua corre, cuanto más llano es el suelo, mayor es la cantidad de agua que se introduce bajo la superficie, por que la corriente superficial se retarda y el agua tiene más tiempo para introducirse en el suelo.

También hay que considerar la cantidad y el tipo de vegetación.

Las plantas y las materias orgánicas derivadas de las mismas, detienen el curso del agua superficial, y por tanto más agua entra debajo de los bosques y las praderas, detienen las corrientes, retrasan la evaporación y aumentan la infiltración.

Otro factor meteorológico que influye directamente en el descenso de agua subterránea es la humedad atmosférica, si la humedad es baja inmediatamente después de una lluvia gran parte del agua caída se evapora antes de penetrar

en la tierra, esto sucede en regiones áridas, donde después de fuertes lluvias la mayoría del agua se evapora y pasa otra vez a la atmósfera.

Como se puede apreciar el vínculo atmósfera y superficie terrestre es muy fuerte debido, a que los procesos llevados a cabo en la superficie terrestre dependen en gran medida de la aportación atmosférica y la transpiración de las plantas.

Es importante mencionar que la evaporación y la transpiración de las plantas son factores significativos ya que en algunos lugares las condiciones atmosféricas permiten que la evaporación sea muy intensa y que las reservas de aguas subterráneas sean nulas, en ocasiones se evapora más cantidad de agua que la que se precipita debido a la escasez de precipitación y a la influencia atmosférica.

B.3). Relación existente entre la precipitación y la evapotranspiración y la importancia de éstas en la exploración de aguas subterráneas.

Si se establece el siguiente análisis, teniendo en cuenta el aporte, almacenamiento y pérdida de agua que se producen en determinado lugar y considerando que el modelo ideal de la capacidad de almacenamiento es de 100 milímetros cúbicos es decir 100lt/m², entonces se tiene:

Suponiendo un área de 10000 metros cuadrados de terreno en el cual ha caído una precipitación en el mes de junio de 800 milímetros cúbicos y la evapotranspiración potencial para el mismo mes ha sido de 1250 milímetros cúbicos, resulta que en ese lugar existe un déficit de agua porque existe mayor evapotranspiración que precipitación.

Si se considera la siguiente situación para el mes de julio donde se registran los siguientes datos: cantidad de precipitación igual a 175 milímetros cúbicos y la evapotranspiración potencial es igual a 65 milímetros cúbicos en estas condiciones existe un exceso de agua porque existe mayor precipitación que evaporación.

Considerando el primer supuesto un geólogo explorador de aguas subterráneas se puede dar cuenta que en las regiones secas, la cantidad de precipitación es evidentemente menor que la evapotranspiración, tal que en ese lugar hay un déficit de agua.

Es importante hacer notar que en las regiones tropicales muy húmedas sucede lo contrario, la cantidad de precipitación es evidentemente mayor que la evapotranspiración, por lo que en estos lugares hay un exceso de agua.

Es importante mencionar que en muchas regiones de latitud media se registra una alternancia en exceso y déficit de agua.

Si en una zona de exploración geológica superficial se llevará a cabo un monitoreo

atmosférico adecuado a lo largo de un período determinado, sería de vital importancia para los resultados obtenidos, en lo que se refiere a un proyecto de exploración dado que esta información llevaría a conocer la zona más detalladamente en lo que se refiere a la carga y descarga de agua que prevalece en una determinada zona.

B.4) Cultura meteorológica para un geólogo explorador de aguas subterráneas

A continuación se establece la importancia que tiene la meteorología en la exploración de aguas subterráneas.

Es muy útil en el proceso de exploración de aguas subterráneas, el hecho de que se cuente con información meteorológica estadística de varios años atrás, Para así seguir un criterio más sólido respecto a los antecedentes meteorológicos de la zona, sobre todo se debe de disponer información meteorológica referente a evaporación, precipitación, presión atmosférica, vientos y humedad atmosférica.

Por tanto, un buen estudio geológico y atmosférico de una determinada zona, da la seguridad y certeza de encontrar agua subterránea.

Haciendo la combinación de conocimientos meteorológicos y geológicos de una zona, lleva directamente a tener éxito en todos los aspectos.

El proyecto de exploración se lleva a cabo con mucho detalle, minimizando costos de perforación ya que no se dispondrá únicamente de la información geológica sino la meteorológica siendo las conjeturas más fuertes y más sólidas donde se ubicarán con mucha seguridad las zonas que tengan bastante probabilidad de contener agua subterránea.

Por tanto se debe de tener en cuenta la importancia de la meteorología en la exploración de aguas subterráneas.

Generalmente la incógnita de un Geólogo, cuando por primera vez llega a trabajar a una región en busca de agua se basa en hacerse la pregunta: ¿Cuál fue la última vez que llovió aquí? y recurre siempre al primer poblado cercano de la zona de exploración y se dirige con la persona más antigua a preguntarle este importante dato.

Pero hasta aquí llega su estudio meteorológico, lo basó en una sola pregunta.

Fue buena la pregunta pero se puede observar claramente que su cultura meteorológica es escasa.

Su éxito lo va a basar en su reconocimiento geológico y en las perforaciones, desde luego éstas a costos más elevados debido a que no cuenta con información meteorológica y por tanto, sus deducciones serán poco sólidas ya que carecen de información estadística meteorológica en un determinado periodo dado.

Este Geólogo tal vez tenga éxito, tal vez no, pero éste Geólogo se parece a los zahoríes o a los de la varita, que como se sabe, ellos también aciertan invocándose al más allá.

El Geólogo debe de conocer a fondo los procesos meteorológicos, éste debe de relacionarse profundamente con ellos, los debe de manejar con bastante solvencia y debe estar tan relacionado con ellos que desde el momento en que éste llegue a su campo de trabajo, los pueda intuir, los pueda observar directamente para que sus resultados sean óptimos y más profesionales.

B.5) Elementos meteorológicos que se deben tomar en cuenta en la prospección de aguas subterráneas.

a) Evaporación

La evaporación es el paso lento del agua, del estado líquido al estado de vapor (sin alcanzar la temperatura de ebullición) sólo se produce si la tensión de vapor del medio ambiente es inferior a la tensión de saturación, se lleva a cabo solamente en la superficie del líquido, bajo una determinada presión atmosférica.

Los elementos meteorológicos que influyen en la evaporación son: radiación solar, temperatura del aire, tensión de vapor actual y la velocidad del viento.

La evaporación del aire libre es tanto más intensa si se cumplen las siguientes condiciones:

- a). Cuanto mayor es la superficie del líquido expuesto al medio ambiente
- b). Cuanto más elevada es la temperatura del líquido y del aire
- c). Cuanto más baja es la presión atmosférica.
- d). Cuanto más seco se halla el aire
- e). Cuanto más activas son las corrientes que renuevan la capa del aire que está en contacto con el líquido.

b) Medición de la evaporación

Se mide en tanques expuestos a la intemperie y establecidos en condiciones tales que la evaporación se produzca en ellos de un modo semejante a la de los depósitos o cursos de agua, ya sean naturales o artificiales, como lagos, ríos, presas, canales, etc.

La evaporación es el intervalo de tiempo entre dos observaciones y se expresa en milímetros o en centímetros.

Se obtiene esta cantidad restando el nivel correspondiente a una observación de la anterior.

c) Presión atmosférica

Es la fuerza ejercida por el aire sobre la unidad de área, como las moléculas de aire se desplazan en todos los sentidos, ejercen su presión en todas las direcciones.

Debido a que la presión atmosférica es una fuerza que la atmósfera ejerce sobre un centímetro cuadrado, puede ser valorada como todas las fuerzas en gramos, kilogramos, dinas, etc.

Los aparatos que miden la presión atmosférica reciben el nombre de barómetros.

d) Vientos

El movimiento del aire se realiza casi horizontalmente y se produce entre dos localidades de diferente presión atmosférica, esto se debe a la diferencia de calentamiento entre las localidades.

La localidad con mayor calentamiento tiene el aire comparativamente menos denso.

El gradiente barométrico que se genera de este modo, promueve el movimiento del aire, el cual tiende a igualar las diferencias laterales de temperatura,

presión y humedad relativa que existe en la atmósfera, esta igualdad nunca se alcanza porque continuamente surge y se crean nuevas diferencias.

Esta perturbación atmosférica básica ocurre tanto a escala planetaria, con ritmo estacional, como a escala local con ritmo diario.

A escala planetaria, la desigual distribución de calor y de presiones, se presenta en el fenómeno circulación general de la atmósfera, la cual se caracteriza por presentar vientos convergentes y ascendentes tanto en la zona ecuatorial, como en latitudes medias, y vientos divergentes y descendentes en las regiones subtropicales y polares a escala local, la presencia de lagos, mares y montañas, produce diariamente calentamiento desiguales que se expresan en los típicos vientos conocidos como brisas costaneras y brisas de valles.

Los dos componentes del viento son: dirección y velocidad.

e) Lluvias

Es el fenómeno atmosférico en el cual en ciertas condiciones, varias gotitas pueden reunirse y formar una gota suficientemente voluminosa (entre poco menos 2 mm y poco más de 1 mm de diámetro) que adquiere una velocidad de caída grande que le permita llegar al suelo; se ha calculado que sólo una quinta parte de las nubes da lugar al fenómeno de precipitación.

El contenido de agua líquida en una nube depende de su temperatura y del grado de sobresaturación.

La lluvia se forma por tres mecanismos distintos que son:

a). Por diferencia de la tensión de saturación.

Se funda en que la tensión de saturación del vapor sobre el hielo, es menor que sobre el agua, por tanto, al ponerse en contacto un cristal de hielo con gotitas de nubes subenfriadas (la temperatura bajo cero) se produce la evaporación de ésta y la condensación del vapor sobre el cristal, en consecuencia el cristal de hielo aumentará su tamaño a expensas de gotitas y por último precipitará.

Si en su trayectoria descendente atraviesa capas de aire caliente, licua y llega a la superficie terrestre como gota de lluvia.

b). Por el proceso de coalescencia o choque.

En las regiones tropicales las nubes están constituidas sólo por gotas de agua a temperaturas sobre cero grados, aquí la precipitación se produce debido a que en estas nubes coexisten gotitas de diferentes tamaños, por tanto la velocidad de caída será distinta.

Las gotitas más grandes al caer más rápidamente chocan con otras más pequeñas y por lo general de este choque resulta la unión de ambas el aumento de tamaño de las gotitas de nubes por repetidos choques, lleva al fin a la formación de una gota de lluvia, este proceso es conocido como coalescencia o choques.

c). Por la intervención de la electricidad.

La electricidad también contribuye en la formación de las gotitas de lluvia, se supone que las gotitas que componen una nube están todas cargadas con electricidad del mismo signo, lo que hace que se repelan impidiendo la formación de gotas de mayor volumen.

Si la electricidad desaparece, ya sea por una descarga brusca o por la acción de una nube electrizada con signo opuesto, las gotitas pueden unirse y

precipitarse; esta hipótesis explica por ejemplo la iniciación de lluvias inmediatamente después de los relámpagos.

f) Medición de la lluvia

La cantidad de lluvia se expresa por la altura en milímetros y décimos de milímetros, de la lámina de agua que se formaría en un suelo horizontal impermeable o sin infiltración, sin escurrimiento, superficial y sin que exista evaporación en dicho suelo, si se presentara nieve o granizo, se expresaría en la misma forma, sólo se tendría que esperar que la capa que se formara en el suelo, pasara al estado líquido, una lluvia de 1 mm en un metro cuadrado es igual a un litro de agua.

La intensidad de la precipitación es la cantidad de milímetros precipitados en la unidad de tiempo (segundo, minuto u hora)

El instrumento que sirve para medir la precipitación es el pluviómetro.

g) Humedad atmosférica

La humedad de la atmósfera es el vapor de agua, que en un porcentaje muy variable según el espacio y el tiempo, está presente en la troposfera.

Se tiene que: aire húmedo = aire seco + vapor de agua.

El aire seco y el vapor de agua son independientes entre sí.

Vapor: es el estado de agregación gaseosa de una sustancia en éste caso, el agua.

La importancia del vapor de agua contenido en la atmósfera tiene grandes consecuencias meteorológicas y climáticas a saber:

a). Absorbe selectivamente por medio de varias bandas de absorción a la energía irradiada por la tierra ya que es casi transparente a la radiación solar y por tanto, regula la rapidez de la pérdida de calor. El vapor de agua desempeña también un papel importante en el calentamiento y enfriamiento de la atmósfera, ya que actúa como un abrigo que le impide la pérdida de la energía, absorbe muy fácilmente las radiaciones térmicas.

Por lo que el aire húmedo se calienta más que el aire seco, bajo la acción directa de los rayos solares.

b). La cantidad de vapor de agua en la atmósfera representa una forma de calor latente de condensación que se libera al formarse nubes, un kilogramo de vapor de agua al condensarse o formarse puede calentar o enfriar en un grado de temperatura 2000 metros cúbicos de aire.

c). La cantidad de vapor de agua existente en la atmósfera regula la velocidad con que se evapora el agua de la superficie terrestre y los mares.

d). Por su condensación o congelación produce numerosos fenómenos meteorológicos como: nubes, niebla, nieve, granizo, rocío, etc.

h) Variación del vapor de agua en el aire

Las variaciones más notables de la humedad en el aire, en el tiempo y en el espacio son:

a). La diaria, su marcha diaria es la inversa a la de la temperatura.

- b). La anual, determinada por la variación anual de temperatura y por el régimen pluviométrico.
- c). La causada por la altura, no existen leyes precisas al respecto pero la temperatura disminuye con la altura y en consecuencia la capacidad del aire para mantener vapor de agua.
- d). La causada por la latitud, esta variación es muy irregular con la latitud, disminuye la temperatura del ecuador hacia los polos.

i) Humedad absoluta

Es la verdadera cantidad de vapor de agua contenido en la atmósfera, es el peso del vapor de agua por unidad de volumen, se expresa en cantidad de vapor de agua entre metro cúbico de aire.

j) Humedad relativa o porcentual de humedad

La humedad relativa es la relación expresada en porcentaje entre la tensión de vapor del aire y la que tendría si en las mismas condiciones de temperatura alcanzara la saturación, que también es el cociente entre la tensión de vapor actual y la tensión de vapor a saturación correspondiente a la temperatura de dicha masa de aire.

El aire está saturado de humedad cuando la humedad relativa es de 100% por ejemplo.

Si el aire está a 20°C tiene una tensión de vapor a saturación de 23.37mb y si sólo presenta una tensión de vapor actual de 17.23mb se tiene que; $H R = 17.23/23.37 * 100=74\%$.

k) Déficit de saturación

Es la diferencia entre tensión máxima que puede tener la atmósfera para una temperatura dada y la tensión actual, se expresa en milímetros de mercurio o milibares para el ejemplo anterior.

$$D s = 23.37 - 17.23 = 6.14 \text{mb}$$

l) Punto de rocío

Es la temperatura a la cual el aire queda saturado por enfriamiento, sin adición de vapor de agua, ni variación de presión, toda reducción de temperatura posterior produce condensación, así se forma la niebla y el rocío.

También puede decirse que es la temperatura a la que el vapor de agua de la atmósfera empieza a condensarse.

El contenido de vapor de agua es constante, para cualquier temperatura de punto de rocío independientemente de las temperaturas seca y húmeda, este

concepto es muy útil para expresar la humedad atmosférica ya que se usa para pronosticar la posibilidad de formación de nieblas, nubes, etc.

El instrumento que sirve para medir la humedad atmosférica es el higrómetro.

De esta manera se ha mencionado la importancia que tiene la meteorología para un profesional dedicado a la exploración de aguas subterráneas.

Teniendo una cultura meteorológica adecuada, sus deducciones serán más claras en lo que se refiere a la localización de aguas subterráneas y sus conclusiones serán más exitosas.

m) Estudio meteorológico de superficie de una región dada

A continuación se presenta una recopilación de datos meteorológicos de superficie.

Estos datos dan la evidencia de la importancia que éstos tienen en un balance hídrico general de una región determinada.

Estos datos han sido recopilados de la estación meteorológica ubicada en el Aeropuerto Internacional en la Ciudad de México.

Los datos corresponden a un período de 7 años, desde 1987 hasta 1993.

Estos datos se han tomado y registrado diariamente las 24 horas del día por medio de instrumentos especializados.

En este análisis se han registrado parámetros de precipitación, evaporación, temperatura, humedad relativa y presión atmosférica.

Esta estación es representativa de la cuenca del valle de México.

Según los datos obtenidos existe una precipitación promedio anual de 609.2714286 mm. cúbicos a lo largo de 7 años y una evaporación promedio anual de 1549.92 mm cúbicos lo que indica que la cantidad de evaporación es mayor que la cantidad de precipitación, es decir existe un déficit porque se evapora más agua de la que se precipita.

Estos datos son de fundamental importancia para un estudio de aguas subterráneas, ya que la precipitación y la evaporación son elementos principales y fundamentales del balance hídrico, los cuales un Ingeniero Geólogo explorador de aguas subterráneas debe tener bien presente y tenerlos en cuenta para manejar el balance hídrico de una región dada.

Los datos establecidos en las siguientes tablas corresponden a promedios mensuales y al final de cada año se obtiene el total anual de la precipitación, evaporación, temperatura, humedad relativa y presión atmosférica; se ha obtenido el promedio mensual de cada mes y el promedio anual de cada año, como totales obtenidos.

Se puede observar claramente que la evaporación es mayor que la precipitación, aunque es importante notar que en algunos meses de cada año existe mayor precipitación que evaporación.

En lo que se refiere a la humedad relativa se ha obtenido el promedio mensual, y posteriormente se obtiene el promedio total anual, obteniéndose una humedad promedio a lo largo de los 7 años de 53.7% donde se puede decir que esta región es húmeda ya que presenta más del 50% de humedad.

En lo que se refiere a la temperatura, se ha determinado un valor de temperatura promedio de 16.54°C a lo largo de 7 años.

Es importante hacer notar que en el año de 1893 la temperatura media anual era de 15.4°C ahora es de 16.54°C como se puede apreciar la temperatura a lo largo de 100 años a aumentado 1°C.

Debido a que la población de la ciudad de México era entonces cerca de 300000 habitantes y existían pocas industrias que enturbiaran el aire con sus emanaciones, la contribución de los vehículos de combustión interna actualmente tan importantes para la contaminación atmosférica, era prácticamente nula, A fines del siglo diez y nueve, consecuentemente el aire de la ciudad debió tener una nitidez y transparencia propia de las áreas rurales o no contaminadas, el enturbiamiento gradual del aire por el crecimiento del área urbana se aceleró a partir de la década de los años 40.

En la actualidad la atmósfera de la capital ha alcanzado niveles de contaminación con gases como: monóxido de carbono, bióxido de azufre, óxido de nitrógeno, ozono, etc.

Observaciones meteorológicas de superficie del año de 1987

Mes	Precipitación	Evaporación	Humedad relativa en %	Temperatura	Presión en Mb	Resultados
Enero	0.0	118.0	39	13.6	781.4	Déficit
Febrero	1.7	149.16	39	15.3	780.1	Déficit
Marzo	2.6	183.76	34	17.1	780.0	Déficit
Abril	12.7	171.62	40	17.8	781.1	Déficit
Mayo	36.3	179.80	42	18.2	781.8	Déficit
Junio	97.3	130.84	61	17.9	782.8	Déficit
Julio	135.2	108.64	70	17.5	783.2	Ganancia
Agosto	94.4	144.58	67	18.0	784.1	Déficit
Septiembre	125.0	154.82	61	18.5	783.3	Déficit
Octubre	0.0	154.38	52	15.1	784.5	Déficit
Noviembre	18.9	108.33	51	14.9	783.2	Déficit
Diciembre	0.0	107.98	59	14.8	783.6	Déficit
Totales	524.1	1711.91	51.2	16.5	782.4	Déficit

Aeropuerto internacional de la ciudad de México

Observaciones meteorológicas de superficie del año de 1988

Mes	Precipitación	Evaporación	Humedad relativa en %	Temperatura	Presión en Mb	Resultados
Enero	0.5	109.21	45	12.7	783.5	Déficit
Febrero	13.6	134.55	52	15.2	782.6	Déficit
Marzo	37.8	153.80	58	16.5	782.7	Déficit
Abril	11.1	172.71	54.5	19.2	782.5	Déficit
Mayo	56.2	178.09	56	19.7	783.2	Déficit
Junio	144.0	141.52	68	18.6	782.9	Ganancia
Julio	106.0	122.95	73	17.6	784.5	Déficit
Agosto	135.6	128.27	66	17.8	782.3	Déficit
Septiembre	89.4	122.23	56	17.2	781.3	Déficit
Octubre	4.7	114.32	79	15.9	783.2	Déficit
Noviembre	7.9	99.96	46	15.4	783.2	Déficit
Diciembre	0.0	90.6	53	13.4	784.3	Déficit
Totales	606.8	1568.21	58.8	16.6	783.01	Déficit

Aeropuerto internacional de la ciudad de México

Observaciones meteorológicas de superficie del año de 1989

Mes	Precipitación	Evaporación	Humedad relativa en %	Temperatura	Presión en Mb	Resultados
Enero	0.5	94.85	42	14.5	783.5	Déficit
Febrero	0.0	76.89	47	14.3	783.0	Déficit
Marzo	9.7	183.3	31	15.4	781.3	Déficit
Abril	8.5	152.44	40	17.0	781.9	Déficit
Mayo	41.2	189.52	47	19.3	782.4	Déficit
Junio	150.4	143.36	60	18.5	781.9	Ganancia
Julio	56.6	132.6	66	18.0	784.0	Déficit
Agosto	98.1	115.10	68	17.4	782.8	Déficit
Septiembre	46.1	96.54	69	16.6	781.5	Déficit
Octubre	26.6	123.16	54	15.8	782.9	Déficit
Noviembre	0.1	106.8	52	16.7	782.1	Déficit
Diciembre	10.9	80.40	53	12.9	782.5	Déficit
Totales	448.7	1494.96	52.41	16.3	782.4	Déficit

Aeropuerto internacional de la ciudad de México

Observaciones meteorológicas de superficie del año de 1990

Mes	Precipitación	Evaporación	Humedad relativa en %	Temperatura	Presión en Mb	Resultados
Enero	16.9	106.48	47	14.0	782.1	Déficit
Febrero	15.2	112.7	55	14.3	783.4	Déficit
Marzo	6.2	158.37	44	16.7	782.8	Déficit
Abril	29.9	152.61	42	16.9	782.0	Déficit
Mayo	77.9	174.55	45	19.4	782.2	Déficit
Junio	124.4	142.55	58	18.8	782.0	Déficit
Julio	121.2	118.66	64	18.1	783.6	Ganancia
Agosto	189.7	121.99	66	18.0	783.0	Ganancia
Septiembre	176.6	122.36	65	18.0	783.0	Ganancia
Octubre	62.8	107.19	52	16.1	783.0	Déficit
Noviembre	0.0	109.91	50	15.2	782.5	Déficit
Diciembre	0.0	98.95	54	13.6	782.3	Déficit
Totales	820.8	1520.32	53.5	16.5	782.5	Déficit

Aeropuerto internacional de la ciudad de México

Observaciones meteorológicas de superficie del año de 1990

Mes	Precipitación	Evaporación	Humedad relativa en %	Temperatura	Presión en Mb	Resultados
Enero	16.9	106.48	47	14.0	782.1	Déficit
Febrero	15.2	112.7	55	14.3	783.4	Déficit
Marzo	6.2	158.37	44	16.7	782.8	Déficit
Abril	29.9	152.61	42	16.9	782.0	Déficit
Mayo	77.9	174.55	45	19.4	782.2	Déficit
Junio	124.4	142.55	58	18.8	782.0	Déficit
Julio	121.2	118.66	64	18.1	783.6	Ganancia
Agosto	189.7	121.99	66	18.0	783.0	Ganancia
Septiembre	176.6	122.36	65	18.0	783.0	Ganancia
Octubre	62.8	107.19	52	16.1	783.0	Déficit
Noviembre	0.0	109.91	50	15.2	782.5	Déficit
Diciembre	0.0	98.95	54	13.6	782.3	Déficit
Totales	820.8	1520.32	53.5	16.5	782.5	Déficit

Aeropuerto internacional de la ciudad de México

Observaciones meteorológicas de superficie del año de 1991

Mes	Precipitación	Evaporación	Humedad relativa en %	Temperatura	Presión en Mb	Resultados
Enero	0.8	100.58	43	14.5	783.3	Déficit
Febrero	0.0	127.54	46	15.6	782.4	Déficit
Marzo	0.0	220.06	30	19.1	782.6	Déficit
Abril	12.0	214.14	38	20.4	782.0	Déficit
Mayo	49.3	200.9	45	19.5	783.3	Déficit
Junio	184.7	127.48	58	18.3	783.0	Ganancia
Julio	97.2	112.95	68	17.4	783.6	Déficit
Agosto	61.6	158.78	66	18.4	782.2	Déficit
Septiembre	72.2	105.35	68	16.0	781.3	Déficit
Octubre	155.6	103.27	70	15.5	783.2	Ganancia
Noviembre	20.3	95.56	56	13.9	783.3	Déficit
Diciembre	6.4	87.40	54	13.8	783.1	Déficit
Totales	660.1	1654.01	53.5	16.8	782.7	Déficit

Aeropuerto internacional de la ciudad de México

Observaciones meteorológicas de superficie del año de 1992

Mes	Precipitación	Evaporación	Humedad relativa en %	Temperatura	Presión en Mb	Resultados
Enero	25.0	94.56	50	13.6	783.3	Déficit
Febrero	26.1	135.70	45	14.6	783.4	Déficit
Marzo	9.2	168.28	48	17.7	783.0	Déficit
Abril	11.7	154.80	32	17.6	782.9	Déficit
Mayo	70.3	125.59	40	17.1	782.9	Déficit
Junio	67.7	188.58	47	19.4	783.1	Déficit
Julio	130.0	127.36	60	17.1	783.7	Ganancia
Agosto	177.1	150.28	70	17.3	782.4	Ganancia
Septiembre	137.8	112.71	68	16.7	781.7	Ganancia
Octubre	65.7	95.34	58	15.7	784.6	Déficit
Noviembre	89.2	75.36	56	14.9	783.5	Ganancia
Diciembre	3.0	97.42	54	14.1	783.5	Déficit
Totales	812.8	1525.98	52.3	16.31	783.1	Déficit

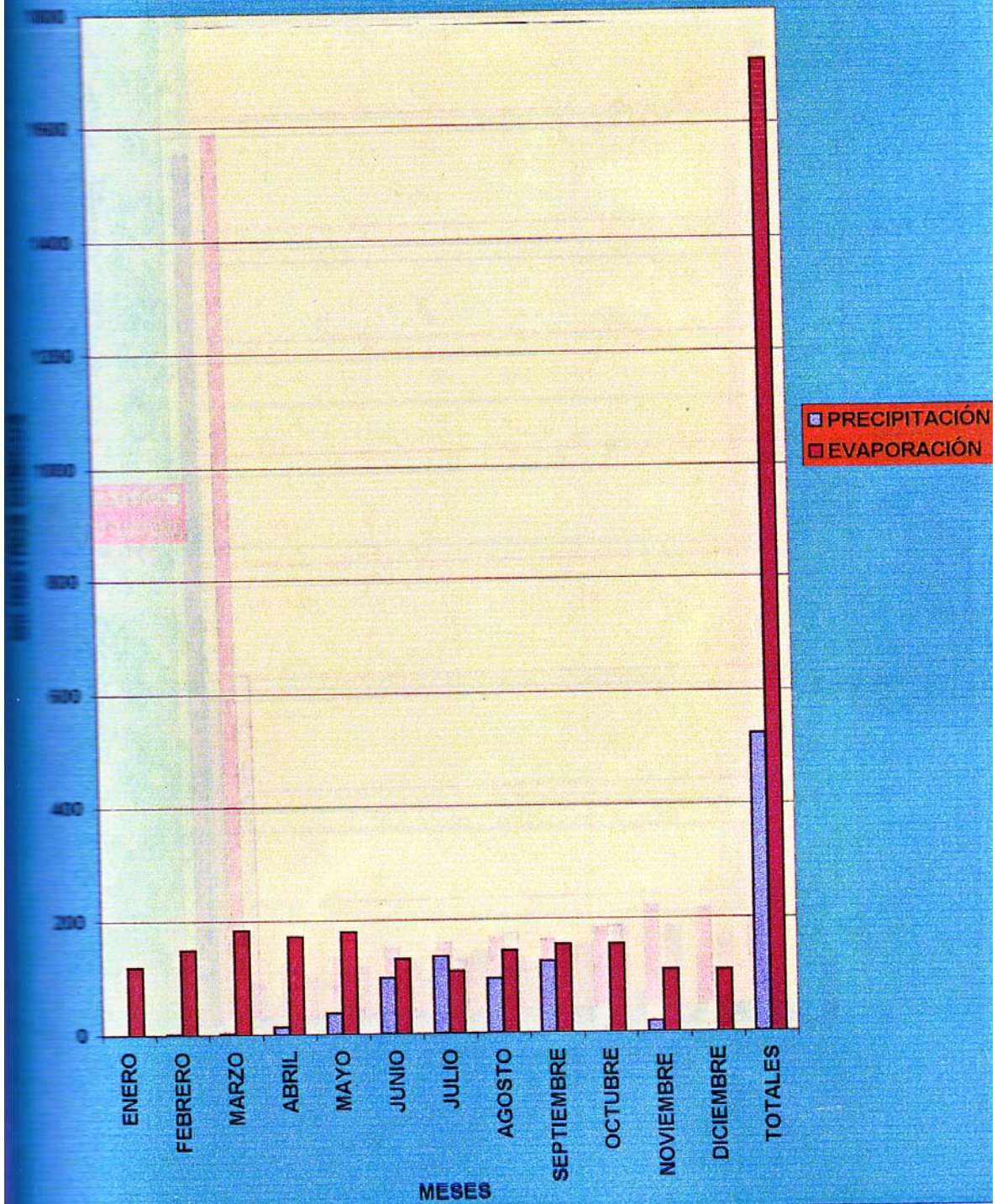
Aeropuerto internacional de la ciudad de México

Observaciones meteorológicas de superficie del año de 1993

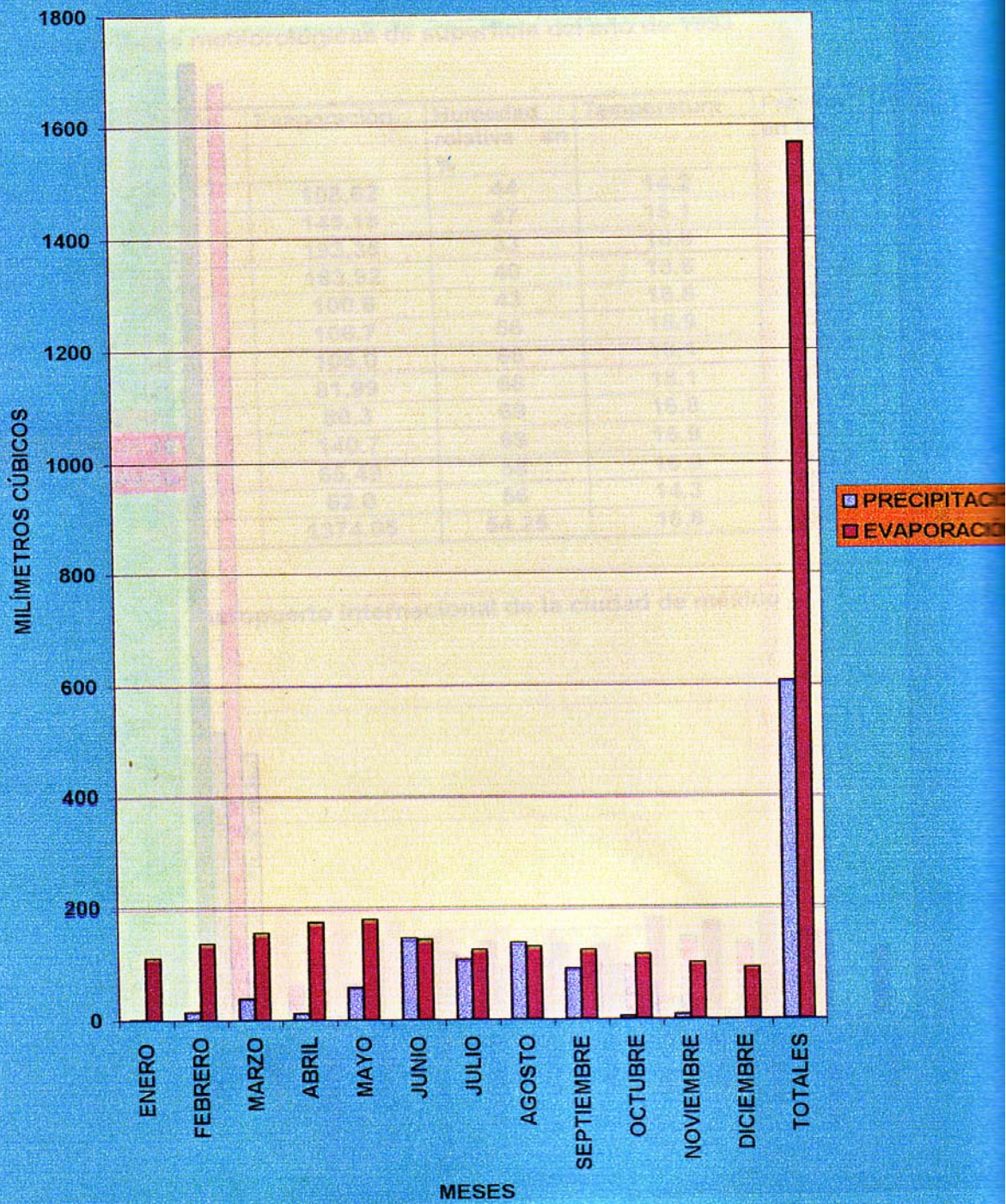
Mes	Precipitación	Evaporación	Humedad relativa en %	Temperatura	Presión en Mb	Resultados
Enero	5.2	108.62	44	14.2	783.1	Déficit
Febrero	18.6	145.18	47	15.1	782.2	Déficit
Marzo	7.2	193.35	33	16.8	782.4	Déficit
Abril	28.2	183.92	40	18.6	782.2	Déficit
Mayo	15.0	100.8	43	18.8	783.5	Déficit
Junio	14.7	106.7	56	18.9	783.0	Déficit
Julio	96.7	105.0	66	18.1	783.4	Déficit
Agosto	61.9	81.99	68	18.1	782.4	Déficit
Septiembre	87.2	80.3	69	16.8	781.8	Déficit
Octubre	49.1	140.7	69	16.9	783.1	Déficit
Noviembre	7.8	65.49	58	16.0	783.5	Déficit
Diciembre	0.0	62.0	56	14.3	783.0	Déficit
Totales	391.6	1374.05	54.25	16.8	782.8	Déficit

Aeropuerto internacional de la ciudad de México

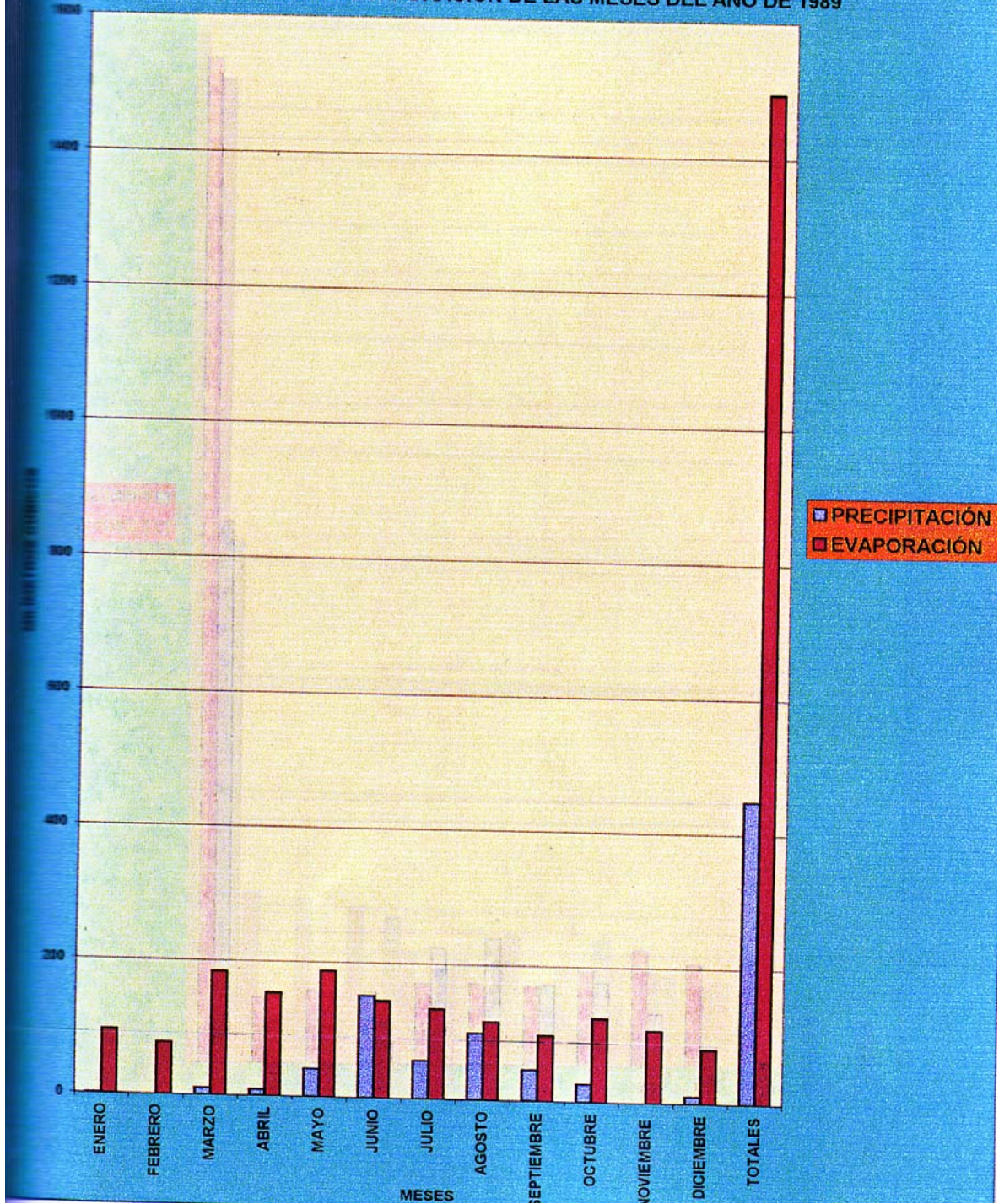
PRECIPITACIÓN Y EVAPORACIÓN DE LOS MESES DEL AÑO DE 1987



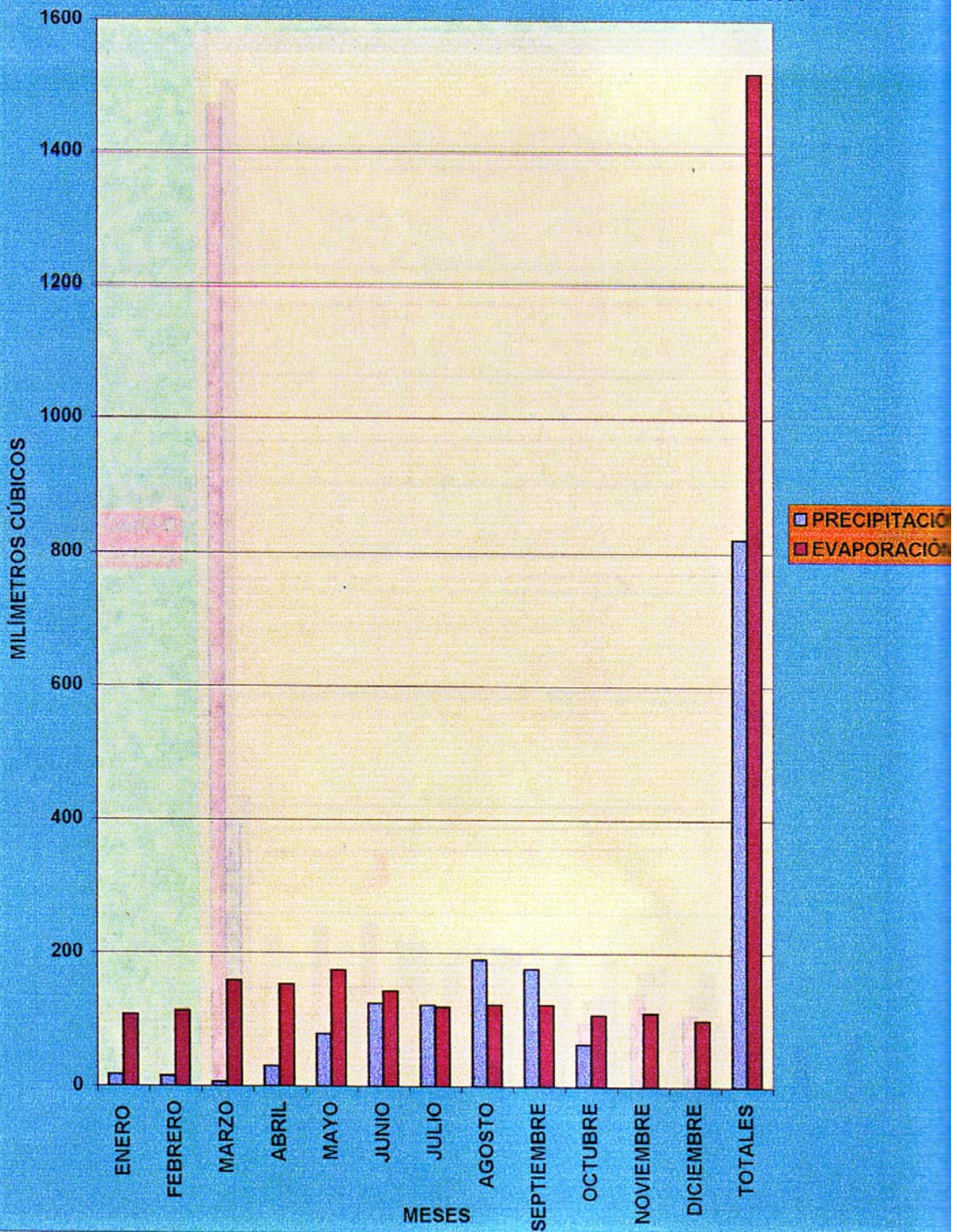
PRECIPITACIÓN Y EVAPORACIÓN DE LOS MESES DEL AÑO 1988



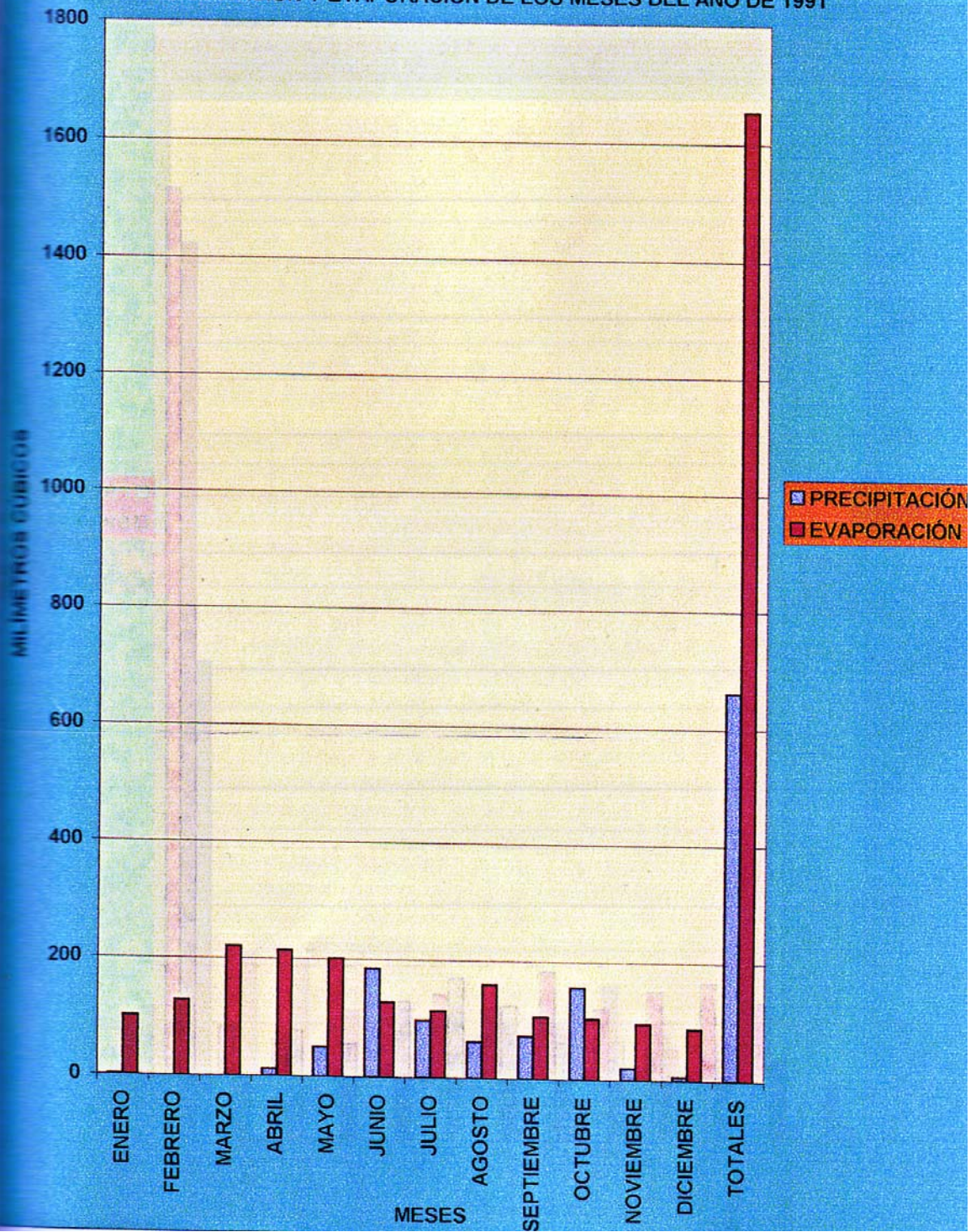
PRECIPITACIÓN Y EVAPORACIÓN DE LAS MESES DEL AÑO DE 1989



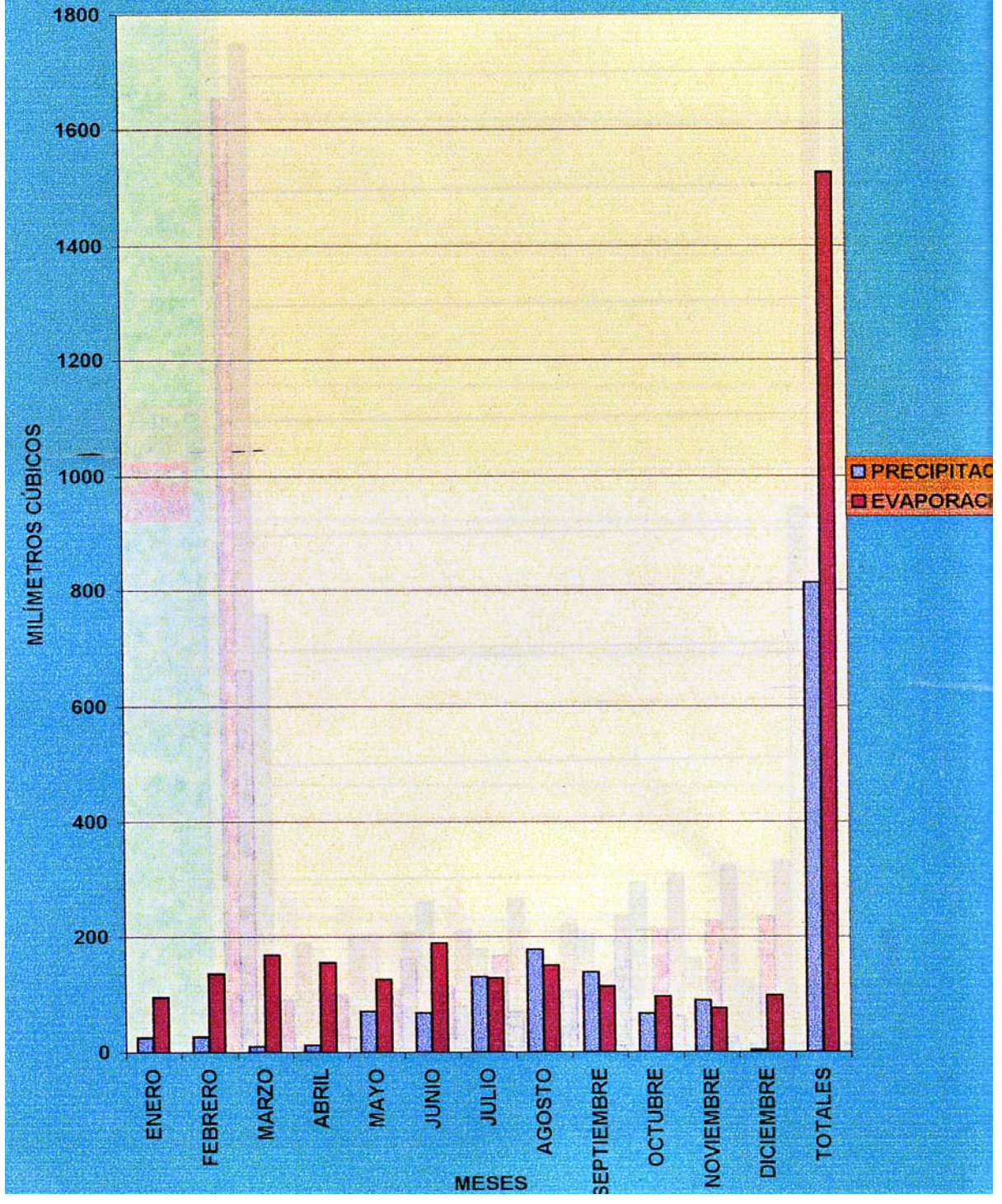
PRECIPITACIÓN Y EVAPORACIÓN DE LOS MESES DEL AÑO DE 1990



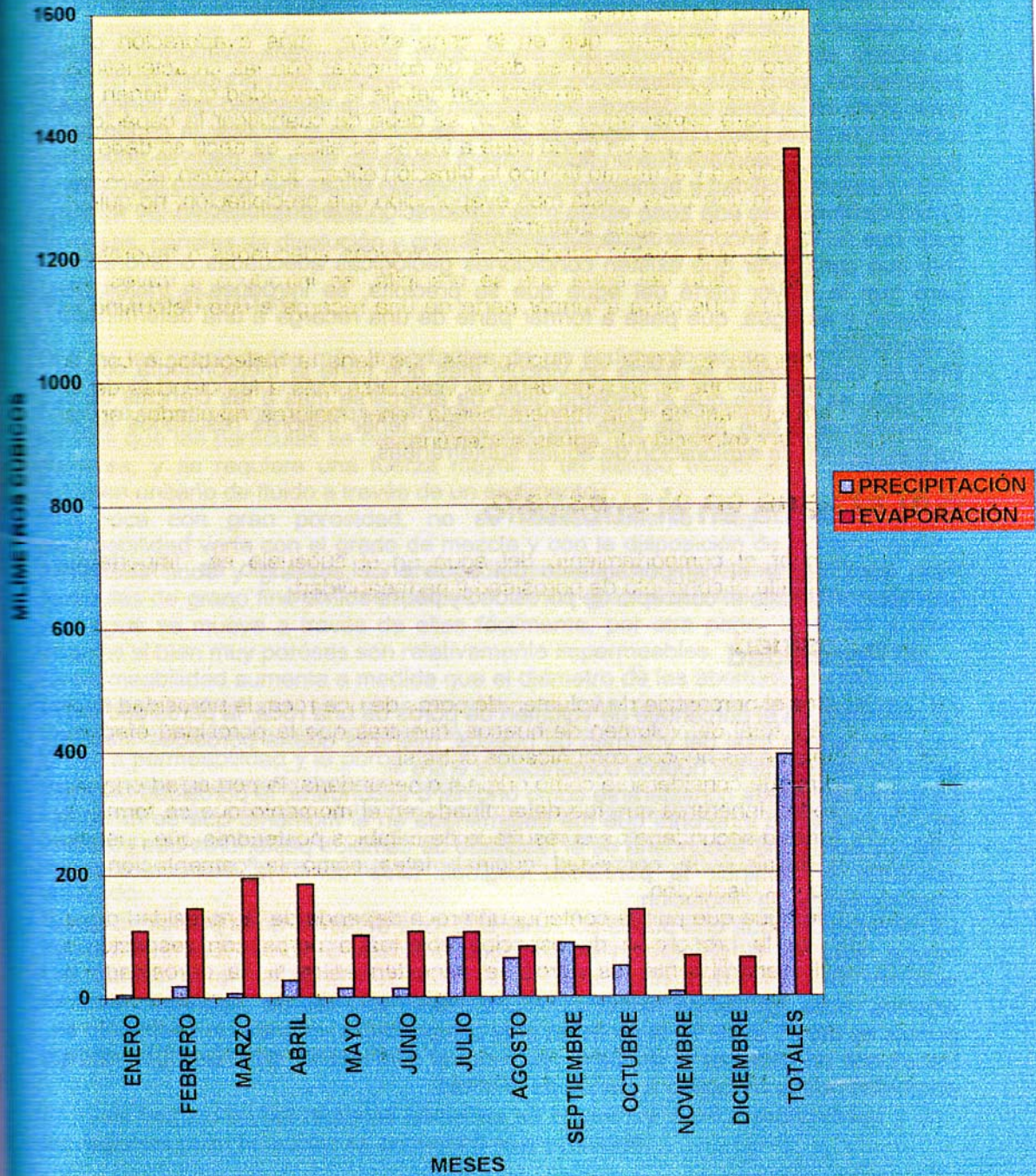
PRECIPITACIÓN Y EVAPORACIÓN DE LOS MESES DEL AÑO DE 1991



PRECIPITACIÓN Y EVAPORACIÓN DE LOS MESES DEL AÑO DE 1992



PRECIPITACIÓN Y EVAPORACIÓN DE LOS MESES DEL AÑO DE 1993



Este estudio meteorológico que representa un bosquejo de datos estadísticos, muestra claramente la relación que existe entre la evaporación y la precipitación de cada año en la cuenca del valle de México, son datos

recopilados diariamente y dan la evidencia clara y precisa de estos dos parámetros tan importantes en lo que es un balance hídrico, de una zona.

Se puede apreciar claramente que en la zona existe más evaporación que precipitación, pero esta información se debe de comparar con las características geológicas de la zona, se debe de analizar con detalle la capacidad que tienen las rocas de la zona para captar agua, es decir, se debe de cuantificar la capacidad que tienen las rocas para que un fluido pase a través de ellas, es decir se debe de medir su permeabilidad y al mismo tiempo la filtración eficaz que poseen las rocas.

El hecho de que en una zona exista más evaporación que precipitación, no quiere decir que no va a encontrar agua subterránea.

Hay que considerar que existen condiciones geológicas adecuadas o favorables para que la mayor parte del agua que se precipita, se introduce a través del subsuelo y es agua, que pasa a formar parte de una recarga a una determinada profundidad.

Bien de esta manera se funde un vínculo más que tiene la meteorología con la geología, es por ello que el geólogo debe de acercarse más a las ciencias de la atmósfera para que así de esta manera pueda tener mejores resultados en lo concerniente a la exploración de aguas subterráneas.

B.6) El agua en el subsuelo.

Para comprender el comportamiento del agua en el subsuelo es importante analizar con detalle el concepto de porosidad y permeabilidad.

a) Porosidad

La porosidad es el porcentaje de volumen de poros de una roca, la porosidad total es el porcentaje total del volumen de huecos, mientras que la porosidad efectiva es el porcentaje de los huecos comunicados entre sí.

La porosidad puede considerarse como original o secundaria; la porosidad original es una propiedad inherente que fue determinada en el momento que se formó la roca. La porosidad secundaria es el resultado de cambios posteriores que pueden aumentar o disminuir la porosidad original, tales como la cementación, el fracturamiento y la disolución.

La cantidad de agua que puede contener una roca depende de la porosidad de la misma, esto es la proporción de espacios abiertos o poros con respecto al volumen total, generalmente los poros se conectan entre sí, la porosidad de algunas rocas ígneas es menor al 1%, en tanto que las de algunas arenas y gravas es del 25 al 45 %, si no están muy compactadas, cuando un sedimento se transforma en roca por el depósito del material cementante entre sus granos, su porosidad puede reducirse a menos de la mitad.

La arena suelta y la grava ordinarias tienen una porosidad alrededor del 35%, es decir el material considerado en volumen está compuesto del 35% de huecos y del 65% de sólidos, pero baja hasta alrededor del 15% en las areniscas comunes.

Según el grado de compactación y la cantidad de cementación la arcilla puede tener una porosidad de más del 45% si la capacidad se aumenta por presión y expulsión de agua la porosidad disminuye, gradualmente bajando hasta el 5%

en algunas pizarras arcillosas en las calizas la porosidad oscila entre el 30% en las cretas friables y el 5% o menos en las variedades endurecidas y recristalizadas, la caliza sin embargo, puede llevar gran cantidad de agua en diaclasas y otros canales abiertos por disolución, la porosidad de las rocas masivas tanto ígneas como metamórficas es por lo general menor de 1% pero también aquí puede circular el agua en cantidades apreciables, a través de vías de paso que proporcionan las diaclasas, canales de disolución y grietas conectadas entre sí.

b) Permeabilidad

Una de las propiedades más importantes de un sedimento es su permeabilidad, que regula la facilidad relativa del paso de un fluido a través de sus poros.

La grava gruesa tiene grandes aberturas que permiten el paso libre a los fluidos, a medida que las partículas se hacen más pequeñas, los poros se vuelven también menores, y se requiere una fuerza mayor o un tiempo mayor para mover un volumen unitario de fluido a través de un sedimento.

Una roca con gran porosidad, no es necesariamente muy permeable, la permeabilidad varía con el grado de mezcla y con la disposición de los granos de materiales finos y gruesos, la arena de grano grueso y la arena limpia sin partículas de grano fino en los espacios entre los granos son los más permeables y el agua se mueve a través de ellas fácilmente, por otra parte, la arcilla y las pizarras si bien muy porosas son relativamente impermeables.

La permeabilidad aumenta a medida que el diámetro de las aberturas es mayor, la grava cuyas aberturas son muy grandes, es más permeable que la arena y permite el paso de un gran volumen de agua en los poros.

Entre la permeabilidad y la porosidad existe una compleja relación estadística, en general para un tamaño de grano dado.

Las rocas más porosas deberían tener mayor permeabilidad, que las menos porosas, sin embargo los sedimentos de granos finos pueden tener elevada porosidad, pero la finura de sus poros reduce la permeabilidad y retarda el paso del fluido.

El agua de lluvia al hacer contacto con la superficie terrestre se filtra a través de los poros comunicados entre sí, por los espacios vacíos por las fracturas etc.

Las rocas permeables son muy importantes para que el agua se transmita a través de ellas y se formen grandes acumulaciones de agua en el subsuelo.

c) Nivel freático

El nivel freático en las regiones húmedas se encuentra a poca profundidad y en las regiones poco húmedas se encuentra muy profundo.

El nivel freático está arqueado bajo las colinas, siguiendo en líneas generales el relieve del terreno, pero con una superficie más suave, en general se puede reconocer tres zonas sucesivas como lo muestra la figura 19.

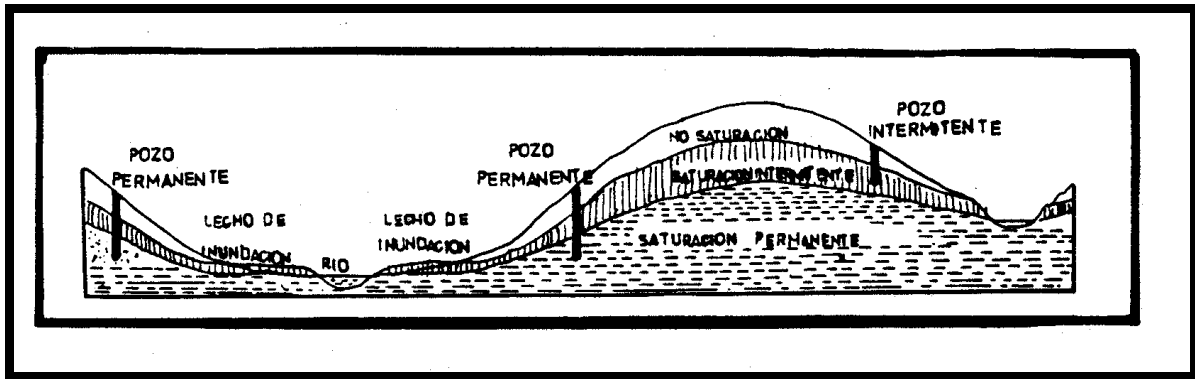


Figura 19. Nivel freático.

(Fuente: Libro Geología Física Arthur Holmes 1979)

- Zona saturada; es aquella que nunca está completamente empapada de agua pero a través de la cual ésta se infiltra para pasar a las zonas subyacentes, cierta cantidad de agua es retenida por el suelo que la cede a las raíces de las plantas.
- Zona de saturación intermitente; se extiende desde el nivel más elevado que alcanza el agua subterránea después de un largo período húmedo hasta el nivel más bajo del nivel freático de una sequía.
- Zona de saturación permanente es aquella que se encuentra saturada de agua permanentemente. Donde quiera que la zona de saturación permanente suba por encima del nivel del terreno se presentan surgencias, ciénagas, lagos o ríos.

Se sabe que en las zonas de mucha humedad y abundante precipitación, el nivel freático se encuentra a poca profundidad y en las zonas poco húmedas y escasa precipitación el nivel freático se encuentra a mucha profundidad sabiendo de antemano que la alteración de subida y bajada del nivel freático lo determina el fenómeno meteorológico llamado lluvia.

B.7) Tiene el agua subterránea un límite inferior

Gran parte de la que se obtiene mediante pozos profundos viene de profundidades de menos de 600m

Los pozos petroleros más profundos han encontrado pequeñas cantidades de agua a profundidades mayores de 6000m a tales profundidades las aberturas de las rocas son tan pequeñas que el agua no puede moverse a través de ella. A unos 16 Km de profundidad la presión ejercida por el peso de las rocas suprayacentes da lugar a que el material rocoso fluya cerrando todos los espacios abiertos y excluyendo por tanto al agua susceptible de recuperarse. Queda reducida a una zona más bien somera, cuyo límite inferior rara vez sobrepasa los 600 m. de profundidad uno de esos casos se encuentra al norte de la ciudad de Monterrey, Nuevo León México, donde unos de los mantos acuíferos aprovechables para abastecer aquella población se localiza a más de 1000 m de profundidad.

B.8) Balance de la recarga y descarga de agua de un acuífero

En la actualidad las necesidades de agua son mayores debido a la gran demanda que existe, por el crecimiento demográfico, y el gran desarrollo industrial de las grandes ciudades.

Es importante establecer parámetros de exploración y explotación de aguas subterráneas, actualmente se necesitan profesionales que sepan manejar adecuadamente el equilibrio de las aguas subterráneas.

Al encontrar un acuífero productor de agua subterránea se debe de balancear la descarga de agua en proporción con la recarga que éste pudiera tener de tal manera que esta proporción sea bien establecida y bien delimitada en lo que a producción de agua se refiere, por tanto es importante definir bien, la cantidad de recarga y la cantidad de descarga de agua, es decir establecer con precisión cuanta cantidad de agua se precipita, cuanta agua se evapora y cuanta agua se infiltra en el subsuelo de una determinada zona.

También es importante establecer un número importante de pozos para llevar a cabo dicho control.

Habiéndose hecho esta cuantificación se puede establecer la capacidad de producción de un acuífero dado.

Es importante conservar el equilibrio entre las condiciones geológicas de porosidad, compacidad, infiltración y las condiciones atmosféricas de precipitación y evaporación.

Evitando que exista un abatimiento total del nivel freático, provocando que una posible alteración de un acuífero en producción, debido a una explotación mal planeada.

Esto puede hacerse conociendo con precisión las condiciones atmosféricas que prevalecen en una determinada zona, de preferencia disponer de una estadística anual de condiciones de precipitación, evaporación y humedad del lugar que se esté tratando; posteriormente analizar las condiciones geológicas de almacenamiento de agua y todo esto vincularlo a la capacidad de producción y a las necesidades de consumo con la finalidad de cuidar las condiciones productoras del acuífero.

Así pues se ha mencionado un vínculo más que la meteorología tiene con la geohidrología, un vínculo que permitirá al geólogo tener una perspectiva más a lo que se refiere al agua subterránea.

B.9) Agua artesiana

En muchos lugares el agua subterránea, está retenida en una zona permeable, por dos zonas de rocas impermeables situadas por encima y debajo de ella, el agua está confinada y la zona permeable es un acuífero.

En muchas zonas el agua confinada está bajo presión o carga y por tanto subirá si se perfora un pozo que llegue hasta ella, el agua que está confinada bajo carga hidrostática se llama agua artesiana, y un pozo por el que asciende el agua por encima del nivel del manto freático adyacente se llama pozo artesiano.

Las condiciones necesarias para obtener agua artesiana son:

- a) Existencia de un acuífero o estrato permeable.

- b) Rocas relativamente impermeables por encima y por debajo que contienen el agua en el acuífero
- c) Suficiente inclinación del acuífero para determinar un gradiente hidráulico
- d) Un área de infiltración tal que el acuífero puede reponer su caudal de agua.

La figura 20 muestra las condiciones correspondientes a un pozo artesiano.

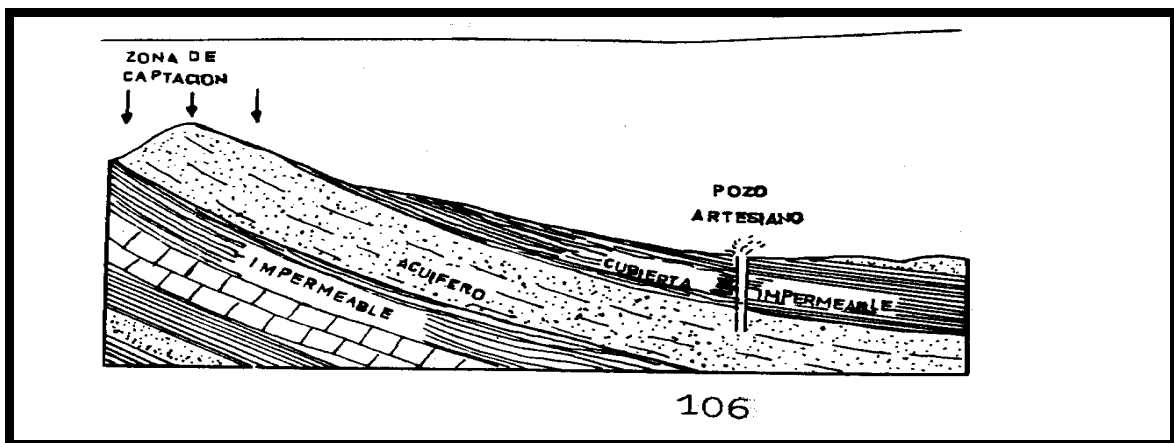


Figura 20. Pozo artesiano
(Fuente: Libro Geología Física Arthur Holmes 1979)

B.10) Manantiales

Las siguientes figuras muestran condiciones que favorecen la formación de manantiales.

La figura 21 señala cuando el agua de lluvia penetra en una capa permeable tal como la arenisca, la empapa por completo hasta alcanzar la capa impermeable subyacente que puede ser de arcilla o de pizarra arcillosa, si la superficie de contacto está inclinada, el agua corre a través de la pendiente y surge al exterior, allí donde dicha superficie de contacto está cortada por un escarpado o por la ladera de un valle.

A veces efectúa un derrame general a lo largo de la intersección del plano de contacto con la ladera, y entonces se origina un encharcamiento.

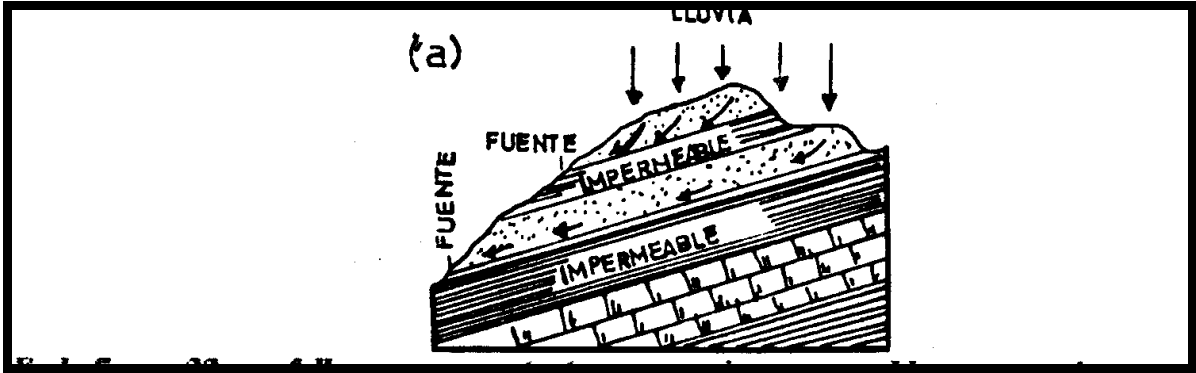


Figura 21. El agua de lluvia penetra una capa permeable
(Fuente: Libro Geología Física Arthur Holmes 1979)

En la figura 22 una falla pone en contacto una arenisca permeable con una pizarra arcillosa, la cual, por ser impermeable detiene el agua, las fuentes están localizadas a lo largo de la línea de falla, y los terrenos bajos a la izquierda son pantanosos.

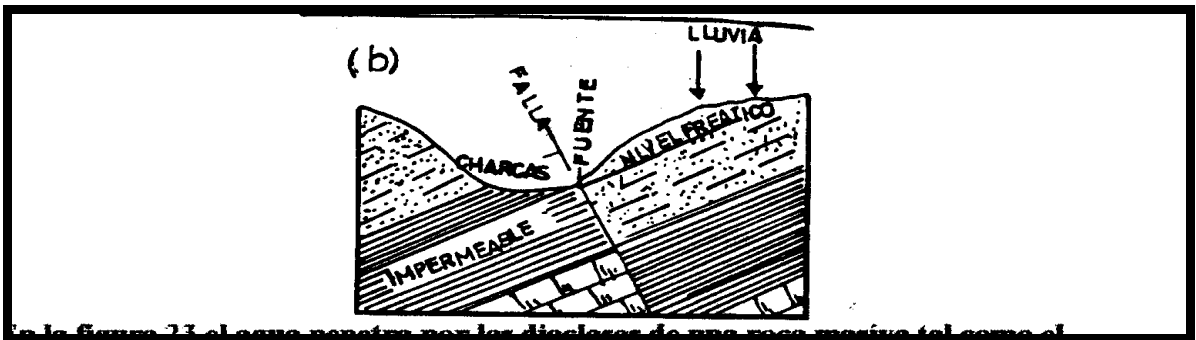


Figura. 22. Una falla pone en contacto una arenisca permeable con una pizarra arcillosa
(Fuente: Libro Geología Física Arthur Holmes 1979)

En la figura 23 el agua penetra por las diaclasas de una roca masiva tal como el granito y surge en los lugares apropiados.

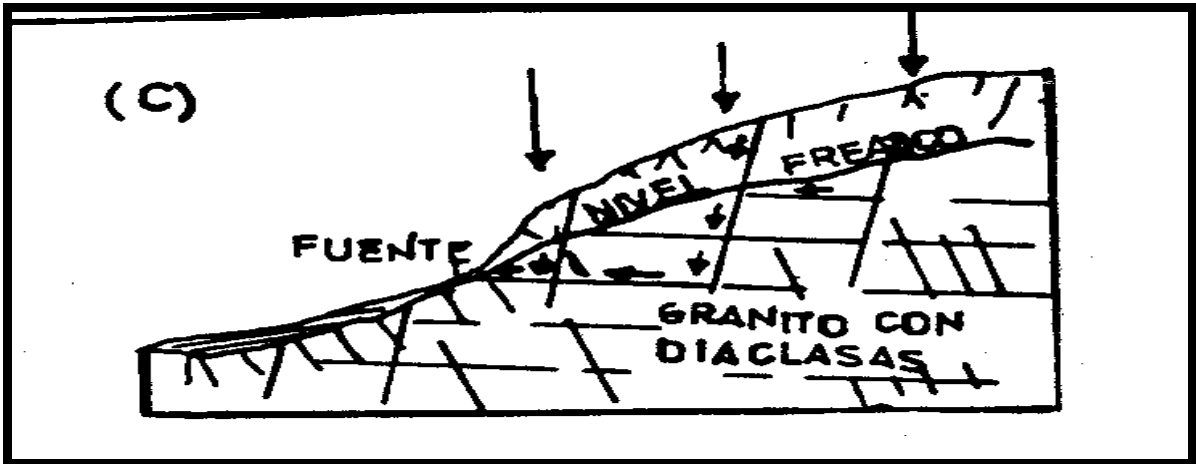


Figura 23. El agua penetra por las diaclasas de una roca.
(Fuente: Libro Geología Física Arthur Holmes 1979)

En la figura 24 el agua interceptada por un dique se escapa a lo largo del afloramiento del contacto.

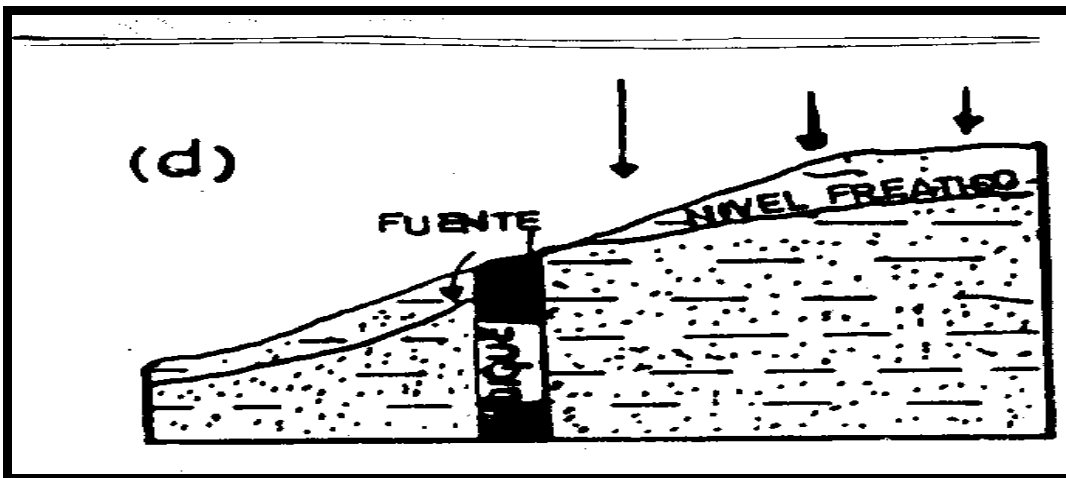


Figura 24. El agua interceptada en el contacto de un dique.
(Fuente: Libro Geología Física Arthur Holmes 1979)

En la figura 25 la fuente superior surge de una capa concordante de pizarra arcillosa.

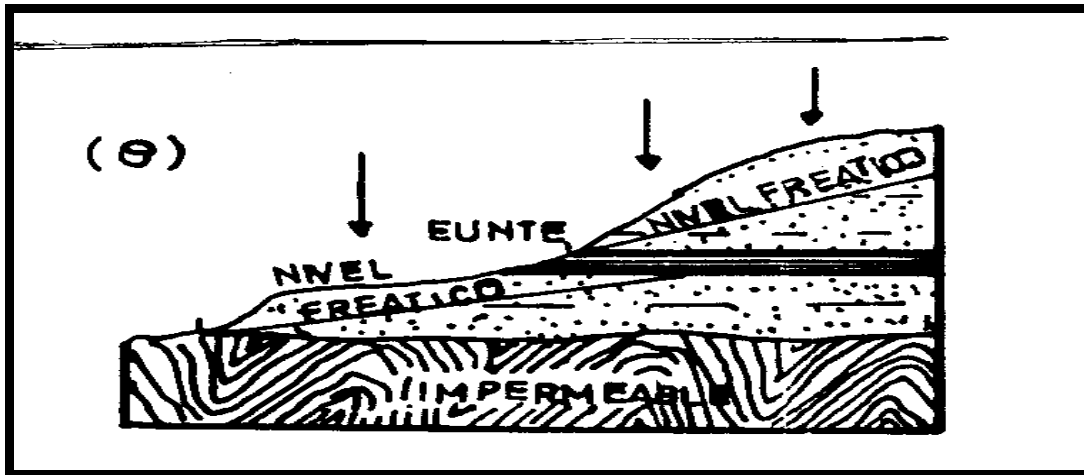


Figura 25. La fuente superior surge de una capa concordante de pizarra arcillosa
(Fuente: Libro Geología Física Arthur Holmes 1979)

En la figura 26 el agua penetra en las fisuras de una caliza la ensancha por disolución y forma cavernas y canales subterráneos hasta la base impermeable de la formación, esta última detiene el agua y facilita su desagüe algunas veces bajo la forma de un curso de agua cuyo valle ha sido excavado en las rocas subyacentes después de aterrizar las calizas.

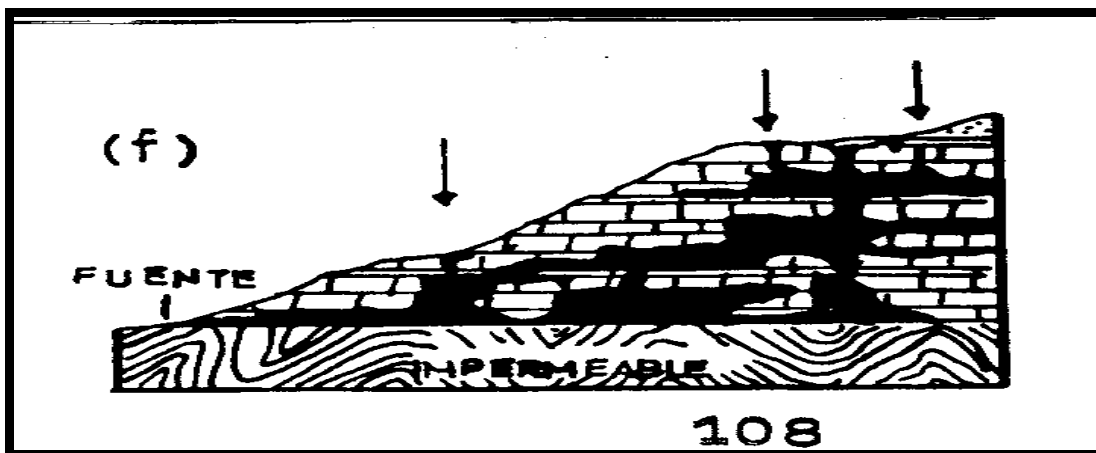


Figura 26 El agua penetra por las fisuras de una caliza
(Fuente: Libro Geología Física Arthur Holmes 1979)

En los manantiales, el agua subterránea emerge en forma natural en un punto. Hay una gran variedad de condiciones geológicas que dan lugar a manantiales por tanto estos pueden clasificarse en: manantiales propiciados por contacto geológico, manantiales en rocas con cavernas y manantiales debido a control estructural.

a) Manantiales de manto freático

Se encuentran cuando la superficie del terreno corta al manto freático, puede existir alrededor de las orillas de los lagos u otras depresiones y a lo largo de las laderas del valle de una corriente en las regiones húmedas, la mayor parte de las corrientes permanentes reciben una parte, por lo menos de su caudal de los depósitos de aguas subterráneas. Algunas corrientes que escurren durante todo el año llegan a erosionar sus cauces hasta suficiente profundidad para interceptar el manto freático.

b) Manantiales por contacto geológico

Es cuando una capa o estrato relativamente impermeable yace bajo un estrato de mayor permeabilidad.

El agua subterránea tiende a moverse hacia abajo siguiendo la pendiente de la superficie de contacto se encuentran con frecuencia manantiales de este tipo en el contacto entre el suelo no consolidado y la superficie del estrato rocoso, en las regiones glaciales se encuentra con frecuencia este tipo de manantiales, donde la erosión ha puesto al descubierto el contacto entre depósitos relativamente impermeables y masas estratificadas situadas sobre ellos, también se encuentran manantiales de esta clase emergiendo bajo un talud o depósito de un deslizamiento de tierra; o en la base de un abanico aluvial.

c) Manantiales cársticos

Son aquellos manantiales que emergen de las rocas calizas cavernosas.

d) Manantiales por control estructural.

Las aberturas divisorias pueden conducir agua a la superficie, donde emergen a veces bajo una cierta presión se encuentran en ocasiones manantiales de este tipo en las canteras y a lo largo de los cortes hechos en las rocas.

e) Manantial de aguas minerales

La mayor parte de los manantiales son minerales, pues el agua contiene en solución sustancias minerales, si el material disuelto alcanza una concentración suficiente para dar al agua un sabor u olor desagradable.

f) Manantial termal

El agua meteórica se calienta cuando alcanza a una roca caliente situada bajo la superficie del terreno, si esta agua emerge da lugar a un manantial termal. Se encuentran muchos manantiales termales en las regiones de actividad volcánica y que proceden probablemente de fallas profundas.

B.11) Oasis

Muchos de los oasis del Sahara y de otros desiertos deben su existencia a la emergencia local del agua artesisana al nivel del suelo.

Fertilizada por el agua subterránea así liberada la vegetación florece asombrosamente y forma un paraíso en un paraje de arenas y rocas deslumbrantes.

Entre la cuenca del Chad y el desierto de Libia, las altiplanicies de Tibesti Adarfur constituyen una importante zona de captación. Las lluvias ocasionadas son rápidamente absorbidas por las desnudas areniscas que continúan subterráneamente a través de Libia y Egipto. Muchos viajeros han muerto de sed en el corazón del desierto con agua a solo un centenar de metros bajo sus pies, allí donde esta el agua inaccesible, surge a través de fisuras o pozos artesianos o sube a la superficie por los anticlinales, o donde el propio suelo del desierto a sido excavado por el viento, dejando al descubierto el nivel del agua. figura 27.

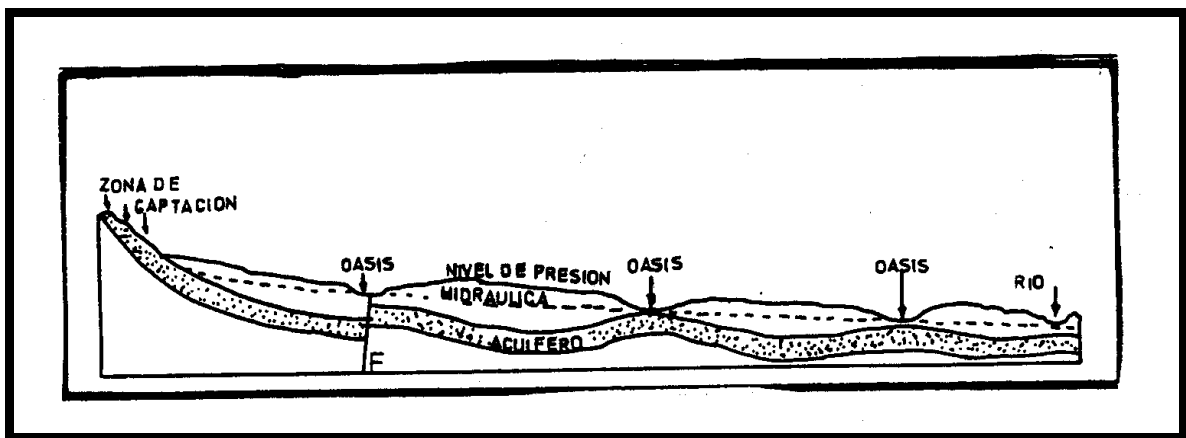


Figura 27. Oasis
(Fuente: Libro Geología Física Arthur Holmes 1979)

B.12) Géiseres

Los géiseres son fuentes termales de las cuales se descarga explosivamente a intervalos una columna de vapor de agua caliente que en algunos casos se eleva a más de 100 m de altura. La figura 28 muestra la naturaleza de un géiser.

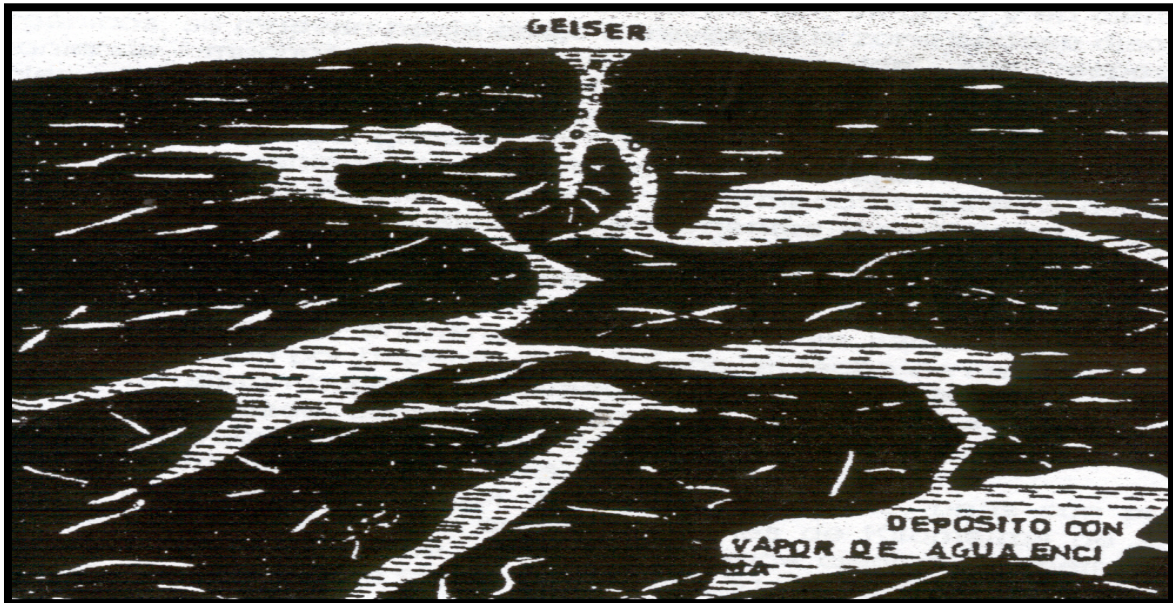


Fig.28 Géiser
(Fuente: Libro Geología Física Arthur Holmes 1979)

B.13) Las aguas subterráneas en rocas con cavernas

Las rocas con aberturas en forma de cavernas, transmiten el agua libremente, si los espacios de esta forma están interconectados muchas rocas con cavernas son tan permeables como si fueran tamices, las aberturas subterráneas más grandes que se conocen, pertenecen a este tipo. Las cavidades de estas rocas varían en tamaño desde las pequeñas vesículas de las lavas hasta las cavernas y túneles de las calizas de varios kilómetros de longitud. Hay dos clases de rocas que presentan cavernas o cavidades y son las rocas solubles y lavas volcánicas.

a) Rocas solubles.

Las aguas meteóricas que llevan anhídrido carbónico, oxígeno y en ciertos casos ácidos orgánicos, se mueven hacia abajo a través de la zona badosa disolviendo y descomponiendo muchos minerales, los carbonatos son especialmente susceptibles a la solución por lo tanto en las rocas carbonatadas como calizas, las calizas dolomíticas y los mármoles hay frecuentemente un sistema de drenaje, bien establecido formado por grietas interconectadas ensanchadas por solución en ciertos lugares, las avenidas de percolación han ensanchado las cavidades y túneles de este modo en muchas calizas se ha formado un sistema de corrientes subterráneas. Comparable ha un sistema de corrientes superficiales, los máximos efectos de la solución se producen en la zona badosa en esta zona las grietas y fracturas que descienden desde la superficie se han agrandado localmente por solución.

Las aberturas en forma de chimenea que resultan se llaman depresiones por filtración, se han formado por haberse derrumbado el techo de cavernas y túneles cuyas bóvedas se habían hecho demasiado anchas para poderse sostener por si mismas, o habían llegado demasiado cerca de la superficie, muchas de las depresiones por filtración, aunque no todas, conducen a cámaras o túneles subterráneos o a corrientes subterráneas.

El tamaño de estas depresiones por filtración es variable, unas son pozos de algunos metros de diámetro, otras son depresiones de kilómetros de anchura, algunas de las más profundas se extienden a varios cientos de metros bajo la superficie del terreno aunque la forma de éstas tiende a ser circular, son comunes las formas irregulares, las paredes pueden ser verticales o tener una inclinación ligera.

El suelo y la vegetación pueden cubrir las paredes y el fondo, muchas depresiones por filtración pueden llegar al manto freático y tener en el fondo lagos o charcas.

Cuando abundan estas depresiones el terreno se caracteriza como de topografía cárstica, en las zonas cársticas hay pocas corrientes superficiales, el drenaje es principalmente subterráneo.

En una zona cárstica las corrientes subterráneas turbulentas erosionan, transportan y depositan del mismo modo que lo hacen las corrientes superficiales.

En una zona cárstica la permeabilidad suele ser más grande, a causa de los canales formados por solución interconectados entre sí.

b) El agua en las rocas volcánicas

Muchas corrientes de lava son tan porosas, vesiculares y llenas de cavidades, que pueden compararse por su permeabilidad y contenido de agua a las calizas permeables con cavidades, no sólo suelen ser corrientes de lava permeables por si mismas, sino que los materiales piroclásticos, las cenizas y las cenizas no alteradas que van unidas a ellas son también en general muy permeables, normalmente las rocas básicas son más permeables que las ácidas, las

oquedades son de diversos tipos, túneles de lava, aberturas en las bases de las corrientes de lava, cavidades producidas por burbujas y grietas.

Los túneles de lava son las aberturas de mayor tamaño de estas rocas, túneles de lava se forman cuando la parte superior de la corriente se endurece permitiendo que escurra la lava todavía líquida de debajo, aunque estos túneles no tienen la continuidad y extensión de los muchos de los túneles que se forman en las calizas. Las zonas más permeables de las corrientes de lava están en los contactos de su base.

La formación de vesículas en la lava a causa del escape de gases, hace que la superior de muchas corrientes de lava sean excesivamente porosas y escoriadas. Cerca del origen de la corriente es frecuente que la formación de vesículas sea muy bien definida, permeabilidad debida a la presencia de vesículas depende del grado de interconexión que haya entre las vesículas, éstas tienen dimensiones variables. En general varía su tamaño de una fracción de pulgada a varias pulgadas, la forma de la vesícula puede ser tubular.

Las lavas suelen sufrir un enfriamiento muy rápido por tanto las grietas por contracción son abundantes.

La mayor parte de las zonas volcánicas son inestables desde el punto de vista sísmico y esto hace que también abunden las fallas en las lavas... La introducción de diques permeables y la transformación de los estratos de ceniza volcánica en arcillas impermeables complica la hidrología en las zonas volcánicas.

Las rocas volcánicas a causa de su enfriamiento rápido presentan en general muchas grietas, la red de grietas de muchas lavas están cerradas que no pueden encontrarse bloques de más de 30cm de diámetro sin grietas columnares cuando existen, constituyen un fácil acceso para el agua y lo mismo ocurre con otros tipos de grietas menos regulares pero más frecuentes, las lavas también presentan muchas fallas y zonas de trituración.

B.14) Aguas subterráneas en las rocas con aberturas divisorias

Todas las rocas consolidadas y algunas no consolidadas presentan fracturas o particiones que dividen la masa de roca en unidades de diversos tamaños, estas estructuras, grietas, fallas, zonas de falla ligeras y cruceros se denominan aberturas divisorias.

En las rocas cristalinas, granitos y tipos similares gneises, esquistos y cuarcitas, en las rocas volcánicas no vesiculares y en los sedimentos muy cementados, el agua se encuentra principalmente en estas aberturas divisorias. El agrietamiento laminar es frecuente en la mayor parte de las grandes masas intrusivas. También se encuentran series de grietas muy inclinadas en la mayor parte de las intrusiones, aunque su espaciamiento sea desde luego variable. Las zonas de agrietamiento vertical que se ve frecuentemente en las canteras y cortes son las estructuras que más agua contienen en las rocas masivas.

Los gneis y esquistos presentan grietas superficiales debidas a la intemperización y pueden mostrar grietas tectónicas de forma más o menos irregular, estas rocas presentan además con frecuencia grietas paralelas a la foliación o esquistosidad, a lo largo de las cuales puede filtrarse el agua, los planos de esquistosidad contienen algo de agua especialmente en las partes superficiales donde son relativamente abiertos.

Las pizarras tienen además de las grietas y fallas locales cruceros de fractura que contienen agua.

Los esquistos arcillosos y otras rocas arcillosas, y los sedimentos fuertemente cementados poseen poca permeabilidad intergranular, pero siempre existen en las aberturas divisorias.

El concepto de manto freático en las rocas cuyas aberturas permeables son del tipo divisorio es algo distinto del que corresponde a las rocas con permeabilidad intergranular. El manto freático de estas rocas es más irregular y no refleja tan fielmente la topografía superficial,

Sin embargo, como las aberturas divisorias están interconectadas hay siempre un manto freático.

B.15) Las aguas subterráneas y los métodos de exploración

Las colonizaciones humanas desde los tiempos más remotos de que se tienen noticia hasta la actualidad, han tenido lugar necesariamente en lugares donde se pudieran disponer de agua potable; con el aumento de la población y el desarrollo de las industrias. La demanda de agua ha crecido incesantemente. El uso del agua subterránea requiere su descubrimiento y por tanto su explotación.

Los métodos de explotación de aguas subterráneas se clasifican en 3 categorías:

- 1) Observación superficial o reconocimientos geológicos.
- 2) Observación subsuperficial por medio de pozos de observación
- 3) Determinación geofísica de las condiciones del subsuelo.

El reconocimiento geológico, de un área suele bastar para obtener una idea adecuada de las condiciones del agua subterránea, si por ejemplo un terreno está relativamente nivelado, y tiene grietas en los planos de los estratos en muchos sedimentos existen también grietas heredadas de la fase diagenética estas últimas proceden de la contracción, compactación y aterronamiento de los sedimentos no consolidados.

Las cuarcitas presentan grietas y sistemas de fracturas análogas a las de las que se ven en las zonas pantanosas o lagunas es casi seguro que puede encontrarse un manto freático alto, si pueden observarse en las partes rocosas sucesiones de estratos en series sedimentarias pueden reconocer los estratos que contienen agua o si se estudian las zonas de grietas o fracturas de las rocas cristalinas pueden localizarse puntos favorables para practicar perforaciones, en resumen, el conocimiento de las relaciones entre la topografía y manto freático y de las características de porosidad y permeabilidad de los diferentes tipos de rocas, permitirá a un observador experimentado hacer deducciones acertadas respecto a las fuentes favorables de abastecimiento y probablemente respecto a su profundidad.

Muchos perforadores de pozos y otras personas sin preparación técnica en el campo de la Geología, poseen una capacidad suficiente de observación y necesaria habilidad para encontrar los lugares más adecuados para la localización de los pozos.

Sin embargo, en general no bastan los datos cualitativos o de carácter general. Se obtienen datos directos sobre el nivel del agua subterránea y frecuentemente sobre el rendimiento potencial, abriendo pozos de observación, debe de abrirse un número de pozos suficiente para poder determinar el espesor, la extensión y profundidad de los estratos que contienen agua.

La exploración del agua subterránea por métodos geofísicos es hasta hoy relativamente limitada en general sólo los métodos eléctricos tienen gran valor práctico y esto principalmente en sedimentos no consolidados.

Para interpretar los resultados de la exploración eléctrica se necesita mucha experiencia y familiarización con las características de los tipos de materiales presentes, la exploración eléctrica sólo ha sido útil cuando se ha dispuesto de suficientes trabajos, de exploración eléctrica para poder correlacionar los resultados de la misma con la geología.

B.16) Aspectos económicos del agua subterránea

El agua subterránea es un recurso natural del que depende una gran parte de la humanidad, se suministra a muchas ciudades y se usa en gran escala para usos industriales y agrícolas.

La mayor parte del agua subterránea viene del manto rocoso no consolidado, de rocas sedimentarias permeables y de algunas corrientes de lava o en sedimentos no consolidados.

El agua viene de arenas y gravas aluviales, aluviones glaciales, terrazas y llanuras fluviales, depósitos costeros arenosos entre las rocas consolidadas la mayor afluencia puede esperarse de areniscas permeables, calizas cavernosas, rocas muy agrietadas como cuarcita y granito, lavas y basaltos cavernosos vesiculares las fracturas de las rocas sólidas por fallas o pliegues y especialmente por explosivos, ayudan a aumentar el caudal de agua subterránea.

Casi todo el agua subterránea fue antes agua de lluvia, su filtración depende de la cantidad y tipo de precipitación, de su ritmo del desnivel del suelo, porosidad y permeabilidad de las rocas, textura de la misma clase y cantidad de vegetación, y pérdidas por evaporación.

Para conservar este recurso vital se puede restringir el ritmo de extracción de agua, mediante bombeo que no exceda a la entrada por la lluvia, evitar el desperdicio, especialmente de pozo con grietas, reducir las pérdidas por evaporación o irrigación inadecuada ayudar al llenado, facilitando la entrada y evitando que se pierda el exceso y aprovechar el agua usada.

El agua subterránea surte los pozos, en condiciones estructurales y topográficas favorables, algunos pozos encuentran presiones artesianas y hasta rebasan las necesidades para usos agrícolas, industriales y domésticos son muy grandes como el agua subterránea es una necesidad que se renueva son aconsejables medidas de conservación orientadas a reducir el despilfarro y aumentar la carga.

La mayor parte de las ciudades del mundo se abastecen en un porcentaje considerable por las aguas subterráneas.

En la actualidad la explosión demográfica, los avances tecnológicos industriales y la actividad agrícola requiere cada día de más consumo de aguas por tanto es importante hacer notar que el agua subterránea debe de manejarse con mucho cuidado haciendo un uso adecuado, un consumo medido y bien administrado

Capítulo III

C). Aguas superficiales

C.1 Aguas superficiales

Las aguas superficiales son una parte muy importante del estudio del agua, éstas representan un vital recurso para el consumo humano ya sea como agua potable, para uso industrial o para uso agropecuario, el agua superficial se presenta en ríos lagos y lagunas.

En el capítulo anterior se ha estudiado a las aguas subterráneas y se observa que existe una gran relación entre las aguas superficiales, las aguas subterráneas y la lluvia.

Se puede relacionar a la meteorología con el comportamiento de las aguas superficiales y las aguas subterráneas, una vez más se puede asociar a los fenómenos atmosféricos con las aguas superficiales.

Las aguas superficiales están presentes en el planeta en su mayoría debido a la descarga de lluvia por parte de la atmósfera sobre todo en lugares donde llueve continua e intensamente, la presencia de las aguas superficiales es abundante.

Donde llueve escasa y esporádicamente la presencia de las aguas superficiales es escasa.

Como ya se sabe existe más cantidad de aguas subterráneas que de aguas superficiales pero desde luego siempre hay que tener presente que en el contexto de las aguas superficiales y en el contexto de las aguas subterráneas existe una relación muy fuerte.

En la historia de las áreas continentales de la Tierra han predominado unas veces unos agentes y otras veces otros para dar forma a la superficie.

El agua de lluvia al caer de la atmósfera sobre la superficie terrestre parcialmente se evapora, se infiltra y parte se escurre; al llevarse a cabo el escurrimiento es donde se da lugar a la formación de las aguas superficiales.

La función primordial de las aguas superficiales es evacuar y conducir el agua que se acumula en exceso sobre los continentes y llevar toda esa agua precipitada al mar formando éstas un enlace fundamental en el llamado ciclo de agua.

Las corrientes siguen una serie de fases definidas en su desarrollo.

Cualquier persona interesada en el trabajo de las corrientes, podrá afrontar los problemas correspondientes más fácil y analíticamente si posee un buen conocimiento del desarrollo de las corrientes de los tipos existentes y de las características relativas de cada tipo de corrientes.

C.2) Origen de las corrientes

Ninguna parte del planeta tierra, carece de irregularidades el agua que escurre por la superficie desciende por las laderas y se acumula en las depresiones u hoyos.

Cuando una depresión se llena derrama el exceso de agua por su borde más inferior y este exceso escurre hacia abajo, hasta la depresión más cercana de

este modo se establece un sistema imperfecto de drenaje o evacuación donde llega acumularse un caudal concentrado de agua se forma un cauce o cárcava, en todo tiempo se forman los cauces.

La mayor parte de los valles ocupados por corrientes permanentes se han ido profundizando hasta llegar a alcanzar el manto freático o zona saturada una vez que una cárcava o barranca ha profundizado hasta que su fondo esta por debajo de la zona saturada ya que no perderá agua por infiltración, sino que más bien extraerá agua del suelo o rocas saturadas.

C.3) Conceptos fundamentales en el estudio de las corrientes.

a) Nivel básico

El nivel que regula la profundidad de la erosión producida por una corriente se llama nivel básico.

Es indudable que ninguna corriente puede profundizar su cauce hasta un nivel más bajo que el de la superficie de la masa de agua donde vierte.

En otras palabras lo normal es que una corriente afluyente, se una a la corriente principal a igual nivel, el nivel básico final de todas las corrientes es un nivel ligeramente inferior al nivel del mar, los lagos y los ríos constituyen niveles básicos temporales para sus afluentes.

Otros niveles básicos temporales que afectan al curso del desarrollo de las corrientes son los obstáculos que encuentran éstas por la erosión.

Estos obstáculos pueden ser estratos de rocas resistentes, diques, intrusiones ríos de lava o presas constituidas por el hombre, el cauce de aguas arriba de un nivel básico temporal no puede ser profundizado con mayor rapidez que aquella con que se profundice dicho nivel básico a causa de el cauce se ensanchará en la parte anterior al obstáculo y tomará un aspecto algo diferente.

a) Perfil de equilibrio

Es indudable que las corrientes deben de tener cierta pendiente para poder avanzar, no pueden por tanto reducir sus cauces al nivel del mar salvo en sus tramos más inferiores. Se dice que una corriente está equilibrada o que ha alcanzado su perfil de equilibrio cuando su pendiente y su volumen están en equilibrio con la carga de sedimentos que transporta, esta condición de equilibrio debe considerarse con referencia al tamaño medio del material existente sobre su lecho.

Deben tenerse en cuenta que ninguna corriente en ninguna época o lugar está en completo equilibrio.

Las fluctuaciones anuales o estacionales del caudal y de la velocidad determinan reajustes continuos y la erosión hacia abajo nunca cesa de un modo completo por tanto el perfil de equilibrio es tan solo una condición de equilibrio aproximada y la discrepancia con un equilibrio perfecto tiende a inclinarse en favor de la erosión, la erosión del cauce persiste mientras la corriente busca su equilibrio pero después de alcanzado éste. la proporción entre la erosión profunda y la corrosión lateral disminuye notablemente. Este

equilibrio no depende de la pendiente, la pendiente indica inclinación y se expresa comúnmente en tanto por ciento del desnivel con relación a la distancia horizontal.

b) El ciclo normal de las corrientes

Se ha considerado conveniente describir las fases del desarrollo de una corriente en función de lo que se ha llamado ciclo de la corriente o de su cauce. el ciclo de una corriente, es una consideración o agrupación de las características de las corrientes que comúnmente se van presentando en el curso de desarrollo de una línea normal de drenaje o evacuación. En la consideración de este ciclo no existe implicación alguna de años, una corriente joven sobre una roca dura, muy por encima del nivel básico o muy lejos del perfil de equilibrio, por ejemplo puede tener una edad de millones de años, mientras que una corriente vieja, que corra por un material blando cerca del nivel básico, puede tener tan solo algunos miles de años de edad.

c) Juventud

Las corrientes que están lejos del perfil de equilibrio y que por consecuencia, erosionan activamente su cauce se llaman jóvenes cuanto mas rápidas sea la erosión profunda y más resistente la roca de las laderas del cauce más estrecho será éste y más profundamente inclinados sus laderas o bordos, en el caso de rocas blandas, el intemperismo y los arrastres de las laderas reducen las pendientes de éstas y el cauce resulta más abierto, en todo caso sin embargo, el cauce de una corriente joven, tiene una sección transversal típica en forma de "V" y puede ser completamente abierta o muy cerrada como los desfiladeros o cañones.

En las primeras fases de su desarrollo el sistema de drenaje o evacuación esta constituido por depresiones llenas de agua, lagos, charcas y pantanos conectados entre sí por corrientes; como en el transcurso del tiempo los sedimentos y la vegetación acaba por llenar las depresiones y los desagües se van profundizando por la erosión de la corriente, la fase de lagos-corrientes da lugar a un sistema de evacuación mas perfecto o integrado y el número y la longitud de las corrientes afluentes aumenta, en la fase joven se forman también caídas o rápidos, siempre que la corriente erosionante encuentre en su lecho diferencias de resistencias en las rocas.

La roca débil de aguas abajo, puede ser desgastada más rápidamente que la roca resistente, la profundización del cauce en la parte de aguas arriba, se retarda por el nivel básico temporal de la roca resistente aunque la mayor parte de las caídas o rápidos deben su existencia a diferencias de resistencia en las rocas adyacentes, hay otras causas de su formación como por ejemplo las grietas, los escarpados producidos por la erosión u otros tipos de irregularidades en la pendiente, las caídas y rápidos se encuentran en las corrientes que no han alcanzado su equilibrio.

En general las características de una corriente en su fase joven son: lagos y pantanos en la línea de drenaje o evacuación, caídas y rápidos y cauces con sección en forma de "V".

d) Madurez

Cuando la corriente joven ha formado un cauce con un perfil casi regular, se dice que ha alcanzado la madurez, con profundizar su cauce tan activamente como la corriente joven los efectos de corte de los lados se hacen relativamente más importantes; la parte exterior de las curvas es atacada, lo mismo que en el caso de las corrientes jóvenes, pero más eficazmente, porque el cauce no se está profundizando rápidamente. Los resultados de la corrosión lateral se traducen en una atenuación de los ángulos y curvas de la corriente joven y en la formación de sinuosidades más o menos simétricas llamadas meandros se ha observado frecuentemente que muchos meandros tienen un radio igual a 17 o 18 veces la anchura de la corriente, las líneas de máxima velocidad se encuentra en la parte interior de la curva, durante quizás una cuarta parte de la longitud de la misma, antes de cruzar hacia el lado exterior por tanto la parte de aguas abajo de la orilla exterior de la curva o meandro es la más desgastada más eficazmente y los meandros emigran hacia aguas abajo, en un proceso que recibe el nombre de arrastre, mediante este proceso se van desgastando los salientes y las orillas del valle se van haciendo más rectas y anchas, como se muestra en la figura 29.

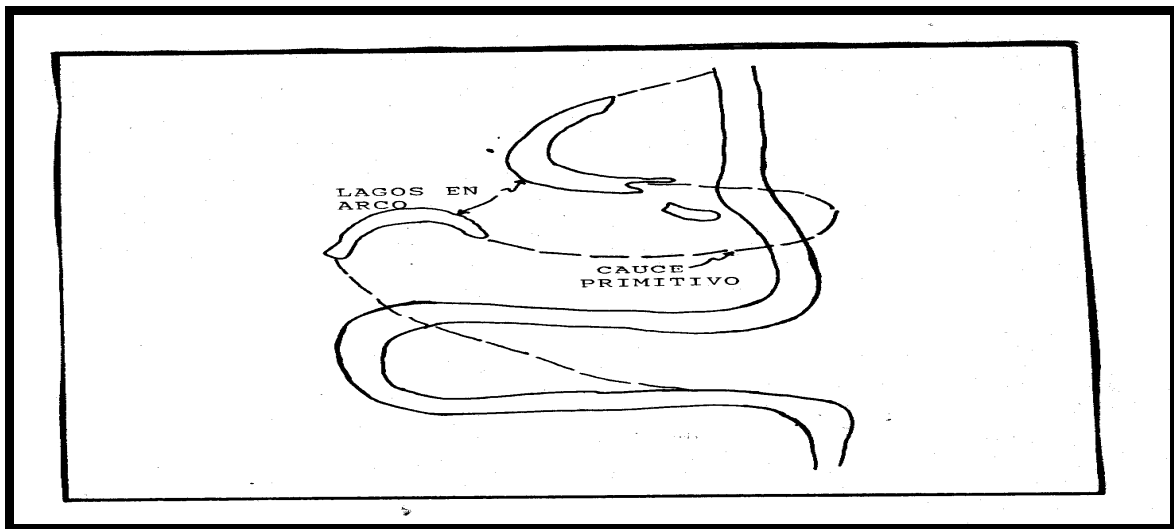


Figura 29. Meandros

(Fuente: Geología para Ingenieros 1959 Joseph M. Trefethen)

Una de las consecuencias de la formación de meandros, merece especial consideración en el curso normal de crecimiento de un meandro, el cuello de este puede irse estrechando progresivamente y finalmente ser cortado, en las primeras fases de este corte una parte del agua sigue su recorrido por la curva antigua, a través del cauce primitivo otra parte se abre paso por el corte, a través de un nuevo cauce, al disminuir la longitud de la corriente en el nuevo cauce, aumenta el gradiente.

En tiempos de avenidas pasa más agua que antes por el nuevo cauce aguas abajo por unidad de tiempo a causa del mayor gradiente y la mayor velocidad, y la cresta de la avenida alcanza la parte inferior más rápidamente por ser

menor la distancia que tiene que recorrer el agua inmediatamente aguas abajo del corte, el antiguo gradiente reduce la velocidad del agua procedente del corte y la reducción de velocidad se deja sentir aguas arriba en alguna distancia dentro del nuevo cauce, esta reducción de velocidad puede determinar la formación de depósito en el extremo inferior del nuevo cauce, en un esfuerzo de la corriente para reajustar su propia pendiente.

Aguas arriba del corte, en cierto tramo hay un aumento de velocidad y la diferencia del nivel se distribuye rápidamente aguas arriba del corte en los terrenos aluviales del menor gradiente y puede depositar sedimentos en el extremo del meandro formando una represa, los resultantes se llaman arcos de buey parece poder deducirse de estas consideraciones que el riesgo de inundaciones aguas arriba del corte disminuye por aumentar la eficiencia de la corriente las partes de la llanura de inundación situadas aguas abajo del corte pueden estar, sin embargo más expuestas a los daños de las inundaciones pues no sólo pasa más agua y a mayor velocidad que antes, sino que puede reducirse o desaparecer la capacidad de retención del cauce antiguo y de sus llanuras de inundación.

Un efecto de los cortes, que puede extenderse hasta aguas abajo, es consecuencia del cambio de dirección de la corriente al salir del corte, con relación a la dirección que tomaba cuando todo el caudal pasaba por la curva antigua. Las deflexiones de las corrientes pueden dar lugar a una nueva serie de puntos de ataque, algunas zonas que antes ofrecían seguridad, pueden quedar expuestas a la erosión, y algunas zonas que antes sufrían desgastes dejan de ser afectadas, de este modo se inician nuevos meandros y los antiguos cambian de posición en este proceso el cauce sufre nuevos ensanchamientos y coincidiendo con el ensanchamiento de la base del cauce y el aumento de las llanuras de inundación, las pendientes de las laderas o bordos del cauce se van reduciendo gradualmente por intemperismo y arrastres de materiales como resultado de ello, la sección transversal tomó la forma de "V" muy abierta con el fondo plano. En resumen las características de la madurez son: la aproximación a un perfil uniforme, una sección ancha y abierta del fondo del cauce, meandros, cortes, llanuras de inundación y formación local de bordos naturales.

e) Senectud

No sólo cambian de posición los meandros individuales sino que toda la faja de meandros misma está sujeta también a migración, como resultado de ello pueden formarse llanuras de inundación muy extendidas, cuando la anchura de las llanuras de inundación es tres o cuatro veces mayor que la anchura de la faja de meandros, la corriente se caracteriza como vieja las extensas llanuras de inundación de la senectud muestran muchas cicatrices de meandros lagos que son residuos de cortes y pantanos.

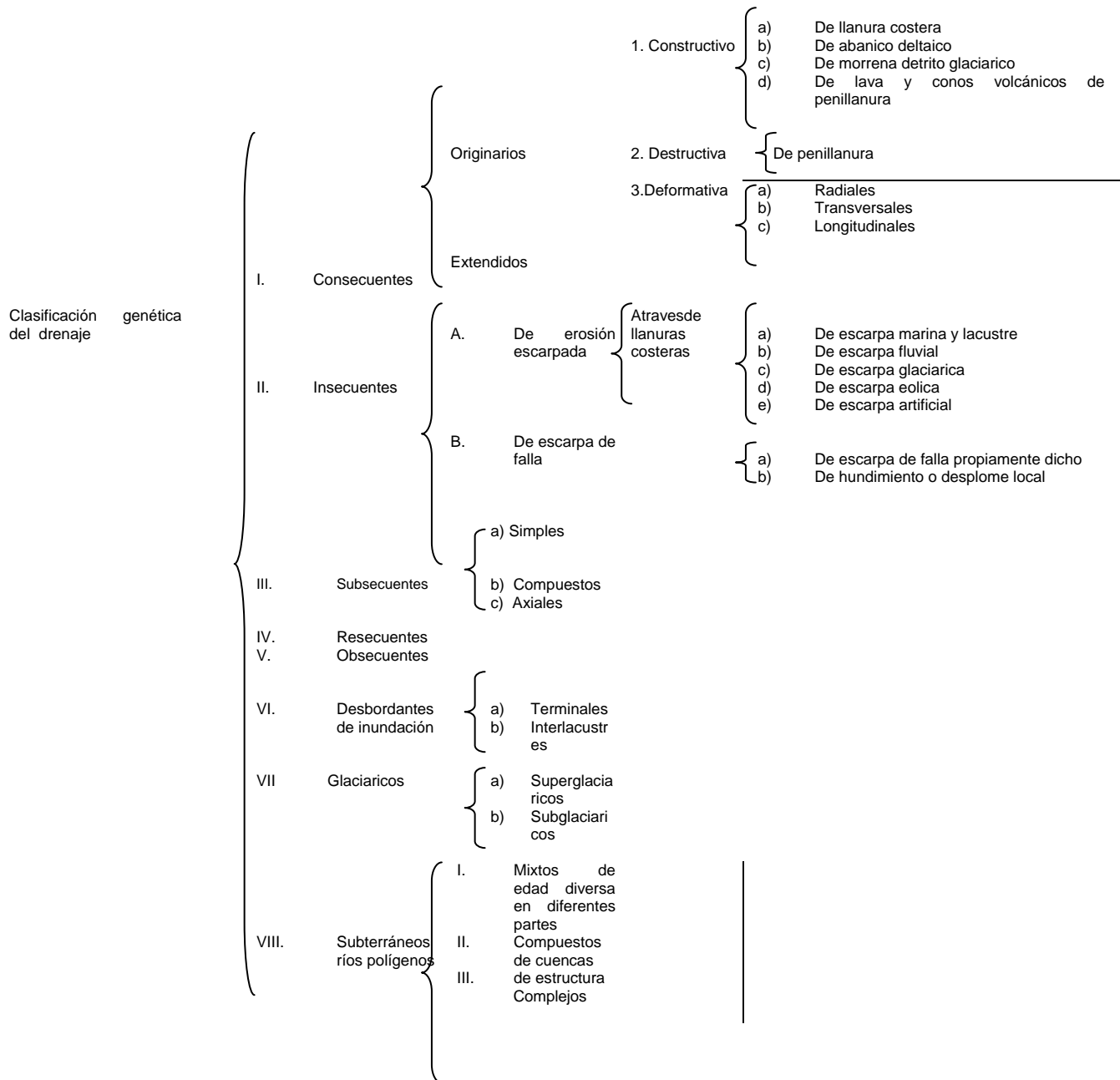
A causa de la fertilidad de los suelos y de la topografía poco accidentada de los deltas, estas zonas suelen estar muy pobladas y ser muy productivas, por tanto las corrientes dotadas de estas características tienen especial importancia económica desde luego el bienestar y aun la existencia de grandes poblaciones, depende en gran medida del comportamiento de estas corrientes.

f) Rejuvenecimiento

El diastrofismo puede determinar cambios en cualquier fase de la historia de una corriente un levantamiento puede aumentar la pendiente de una corriente y renovar su acción erosiva, aguas abajo entonces los meandros pueden estrecharse y las llanuras del valle convertirse en terrazas.

De lo anterior puede deducirse que en el desarrollo de las corrientes existe una secuencia ordenada aunque pueda estar sujeta a interrupciones que se sucede desde cárcavas iniciales que dan origen a corrientes jóvenes que trabajan de forma irregular, pasando por una edad adulta o de madurez. En que la corriente alcanza un nivel de equilibrio aproximado hasta una fase de senectud como amplias llanuras de inundación y grandes zonas de meandros.

C.4) Tipos de corrientes, clasificación genética del drenaje ríos monógenos.



a) Ríos consecuentes.

Entre los ríos monógenos son consecuentes las corrientes fluviales que inician su existencia sobre la superficie de una tierra nueva la cual puede ser joven o rejuvenecida pero lo que al río respecta es nueva; su modo de gestarse puede ser por origen, por extensión y por herencia, se llaman consecuentes porque existen y fluyen en consecuencia con las desigualdades originales de la superficie del terreno como ocurre por ejemplo con las corrientes iniciales que se desarrollan sobre una llanura costera recientemente emergida, cuyos cursos fluviales se hallan en consecuencia con la pendiente originaria que se inclinan hacia el mar.

Las corrientes consecuentes originarias de acuerdo con el tipo de terreno sobre el cual se desarrollan pueden ser constructivas, destructivas o deformativas.

a.1) Corrientes consecuentes constructivas.

Las corrientes consecuentes constructivas que como su nombre lo indica se producen en superficies de dicha clase se subdividen a su vez en:

Consecuentes de llanura costera, o sea las que se originan en una llanura de nueva emergencia bien a consecuencia de movimientos epirogenéticos de la tierra o de movimientos negativos eustáticos del mar, o bien en fin, por drenaje de una cuenca elevada.

Corrientes consecuentes constructivas de abanico deltaico son las que se desarrollan en deltas secos de otras corrientes o en tierras deslizadas

Corrientes consecuentes constructivas de morrena y de detrito glaciárico nacen en la superficie inclinada de depósitos de detritos de los glaciares.

Corrientes constructivas de lavas y corrientes volcánicas se originan sobre las pendientes de los volcanes o sobre los flujos de lava.

a.2) Corrientes consecuentes destructivas.

Las corrientes consecuentes destructivas tienen lugar sobre superficie de destrucción y están principalmente representadas por las corrientes consecuentes destructivas de penillanura tales como las que se originan sobre una penillanura levantada y ligeramente inclinada, o en una llanura de denudación subaerea.

a.3) Corrientes fluviales consecuentes deformativas.

Son aquellas que se producen en una superficie deformada o de deformación e incluyen diversas clases como las originadas en un cierto domo, o sobre series de plegamientos anticlinales y sinclinales, así como las que se desarrollan sobre bloques inclinados afallados en el caso del domo se producen consecuentes deformativas transversales que fluyen hacia los bordes de la estructura y en el de los sinclinales, consecuentes deformativas longitudinales que fluyen en el interior y a lo largo de los mismos.

a.4) Ríos consecuentes extendidos

Los ríos consecuentes extendidos que constituyen el segundo grupo de los consecuentes, son corrientes de tipo viejo, pero que se extienden a través de llanuras costeras nuevamente emergidas, estas corrientes no se diferencian de las de tipo originario u originadas de nuevo en las llanuras costeras salvo por su mayor volumen de agua y por su naturalmente mayor poder erosivo. Cortan más profundamente que las otras y se convierten en las corrientes maestras de sus respectivas regiones, dirigiendo en gran medida el desarrollo subsiguiente del sistema de drenaje.

a.5) Ríos consecuentes heredados.

Son consecuentes superpuestos sobre terreno complejo, que fluyen en una llanura costera bajo la que subyacen rocas complejas, también que controlan el curso del río la generalización de este concepto de sobreposición o superposición universal del drenaje es de gran importancia y validez sobre todo en las regiones llanas.

En las penillanuras la sobreposición del drenaje es muy común, puesto que las mejores oportunidades para ello en forma regional, se producen durante el desarrollo y levantamiento de una penillanura como se muestra en la figura 30.

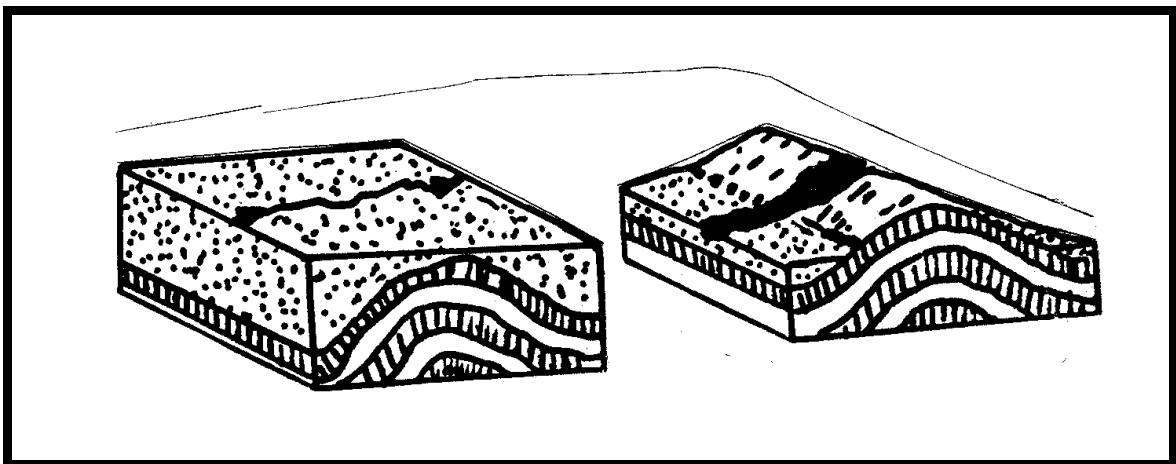


Figura 30. Levantamiento de una penillanura.

(Fuente: Libro Fotogeología, U.N.A.M. 1980 Felipe Guerra Peña)

En muchas se hallan al descubierto rocas plegadas antiguas, que anteriormente estuvieron ocultas debajo de una cubierta discordante de formaciones sedimentarias posteriores, los ríos iniciados en la cubierta con una red apropiada a su estructura, acaban por excavar sus valles en las rocas subyacentes manteniendo su cauce con escasa o ninguna relación sobre las estructuras bastante diferentes en que se encuentran como la cubierta es gradualmente eliminada por denudación, las rocas más antiguas van quedando en una zona cada vez más extensa, cuya red fluvial se ha llamado superpuesta o epigenica por haber sido grabada sobre dicha superficie anterior, como herencia de la cubierta desaparecida.

b) Ríos insecuentes.

Los ríos insecuentes se denominan así por seguir cursos gobernados por el azar, que no se relacionan con ninguna circunstancia conocida, la palabra insecuente equivale a la de inconsecuente, es decir que no es consecuente, o que no tiene consecuencia y se emplea por oposición a la de consecuente.

Las corrientes insecuentes se originan en terrenos cubiertos por rocas alternantes duras y blandas de escaso buzamiento, en cuyo caso por cubrir una sola formación extensas áreas, la pendiente que se inclina hacia el mar es casi igual a la pendiente inicial del terreno por ello las corrientes tributarias, al desarrollarse no encuentran en su camino diferencias notables de dureza ramificándose en todas direcciones de modo igual y con pendiente suave; las corrientes inconsecuentes cuya principal forma de desarrollarse es, aguas arriba en vez de aguas abajo.

Los dos principales grupos de los ríos insecuentes son: los insecuentes de escarpa de erosión y los insecuentes de escarpa de falla entre las corrientes de escarpa de falla, se encuentran las que se desarrollan en las escarpas marinas y en las lacustres, en las escarpas fluviales, en las glaciáricas, en las eólicas y en las artificiales. Entre las corrientes de escarpa de falla, se encuentran las producidas por fallamientos y por desplomes o hundimientos locales como los correspondientes a las ollas morrenicas, sumideros o dolinas.

IX. Ríos subsecuentes

Son ríos que han crecido aguas arriba por erosión regresiva a lo largo de fajas de estructura débil y también para las corrientes que habiéndose desenvuelto así en un ciclo persistente en los mismos cursos en un ciclo siguiente. A

continuación la figura 31 muestra el diagrama de desarrollo de valles subsecuentes.

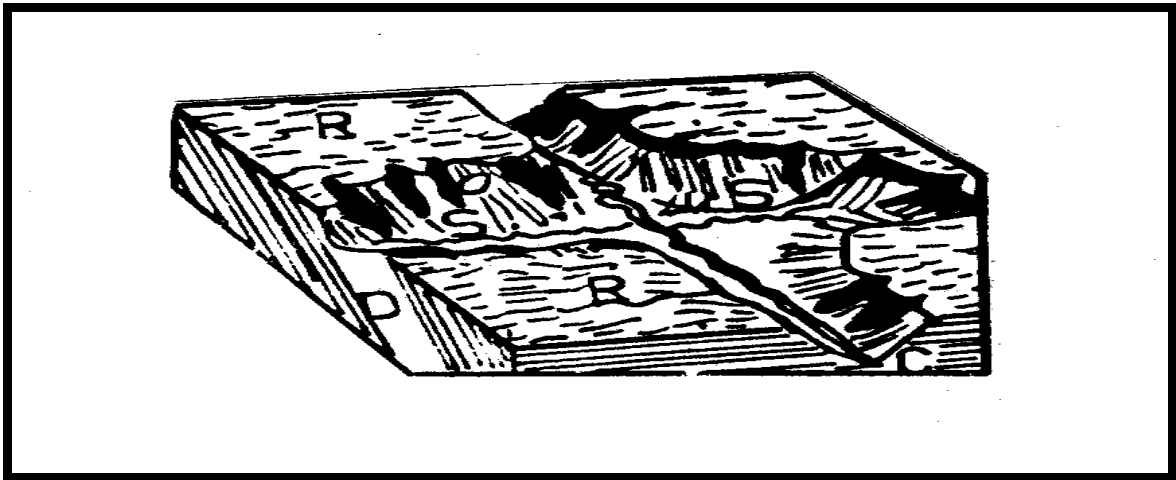


Figura 31. Desarrollo de valles subsecuentes
(Fuente: Libro Fotogeología, U.N.A.M. 1980 Felipe Guerra Peña)

d) Ríos resecentes.

Una corriente que fluye en una sola dirección idéntica a la del drenaje consecuente, pero que se desarrolla en un nivel inferior, por ser posterior o más tardía, que la de la pendiente inicial debe considerarse tal corriente como volviendo a retomar una dirección consecuente, los elementos esenciales en el concepto de este tipo de corrientes reside en el hecho del renovado desarrollo del drenaje en una dirección consecuente, después de haber adoptado por algún tiempo otra forma de drenaje y que este desarrollo renovado tiene lugar sobre un horizonte más bajo que en el que inicialmente se desarrolló el drenaje.

Ríos obsecuentes

Son corrientes obsecuentes las que fluyen en una dirección opuesta, a la del drenaje consecuente de donde procede su nombre opuesta consecuente u obsecuente, que son las que fluyen en dirección opuesta a la del buzamiento de los estratos o de la inclinación de la superficie en contraste con las consecuentes su modo de originarse es como sigue a medida que la corriente

subsecuente, marchando al mismo paso que su consecuente continua ahondado su valle, en las rocas blandas, su cauce se va desplazando gradualmente en la dirección del buzamiento, es decir hacia el escarpado.

Este último va retrocediendo constantemente, dejando una ladera de pendiente suave, al otro lado del valle, el propio valle a medida que se ensancha y extiende, se transforma en tierra baja interior.

Los pequeños afluentes que descienden por el escarpado se llama cursos obsecuentes la figura 32 muestra los diferentes tipos de corrientes que existen.

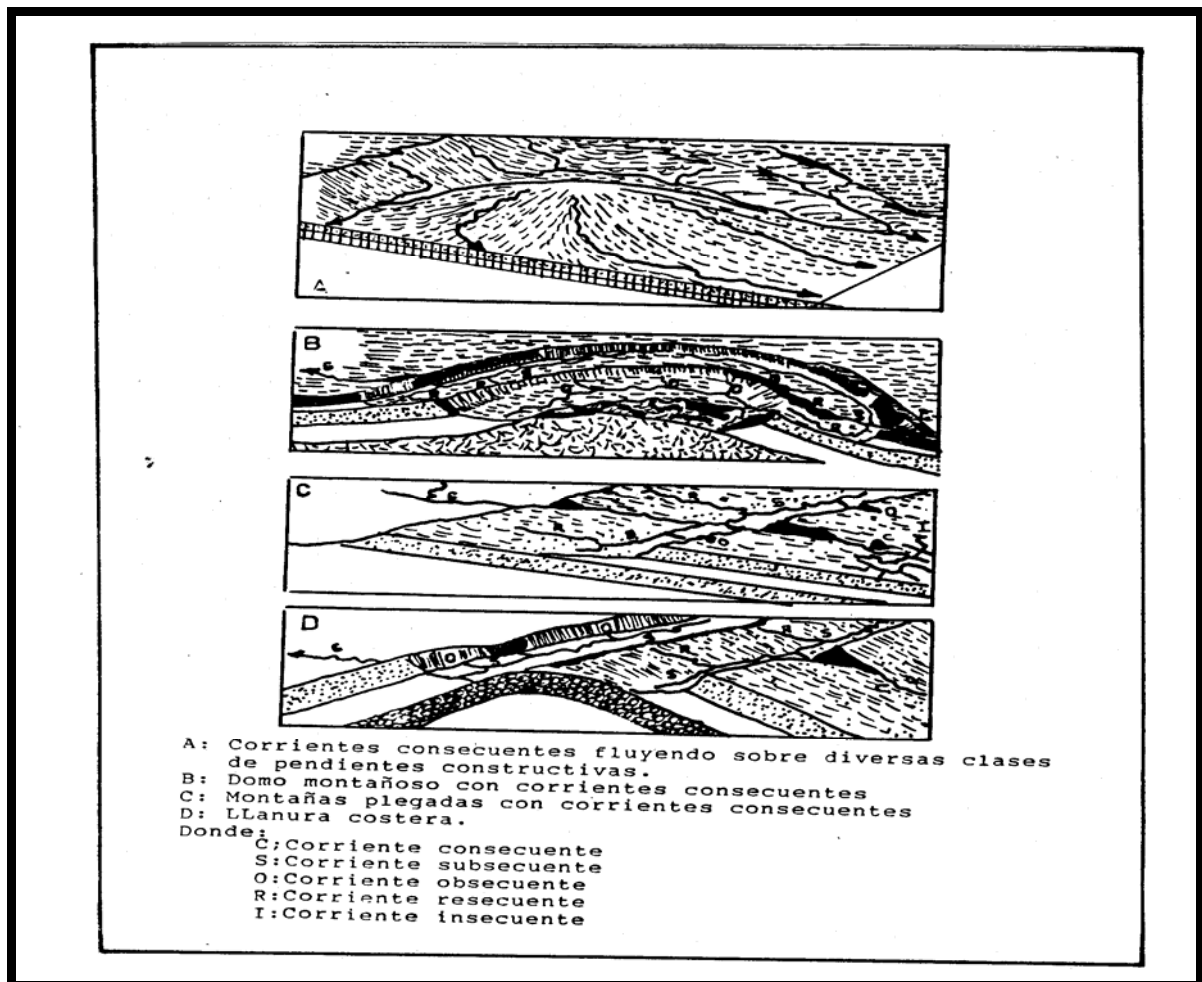


Figura 32. Tipos de Corrientes

(Fuente: Libro Fotogeología, U.N.A.M. 1980 Felipe Guerra Peña)

Ríos desbordantes

Los ríos desbordantes o de inundación constituyen aliviaderos de los cuerpos de agua como los afluentes que salen de los lagos, se agrupan en dos categorías principales. Los terminales que conducen directamente las aguas de los lagos al mar, sin más lagos intermedios, y los interlacustres que desaguan un lago en otro.

Las corrientes desbordantes o de inundación, se caracterizan por su escasa o nula sedimentación que queda todo dentro del lago.

Ríos glaciáricos

En los ríos glaciáricos, su abastecimiento procede de la función de la masa de hielo de los glaciares, que facilitan también material detrítico, las corrientes glaciáricas que se originan en el hielo mencionado son corrientes sobre el hielo o superglaciáricas por cuyo motivo tienen el carácter de consecuentes, en cambio las corrientes subglaciáricas o debajo del hielo, son diferentes a todas las demás, su peculiar posición bajo la cubierta de hielo sometidas a la presión hidrostática, la fuerza frecuentemente al fluir a través de obstáculos que una corriente normal podrá vencer o marchar contra la pendiente en una parte de su curso, los cursos anormales de antiguas corrientes subglaciáricas están indicadas por la posición de los esker que han construido en muchos aspectos las corrientes subglaciáricas se asemejan a las subterráneas, la figura 33 muestra diferentes ríos glaciáricos

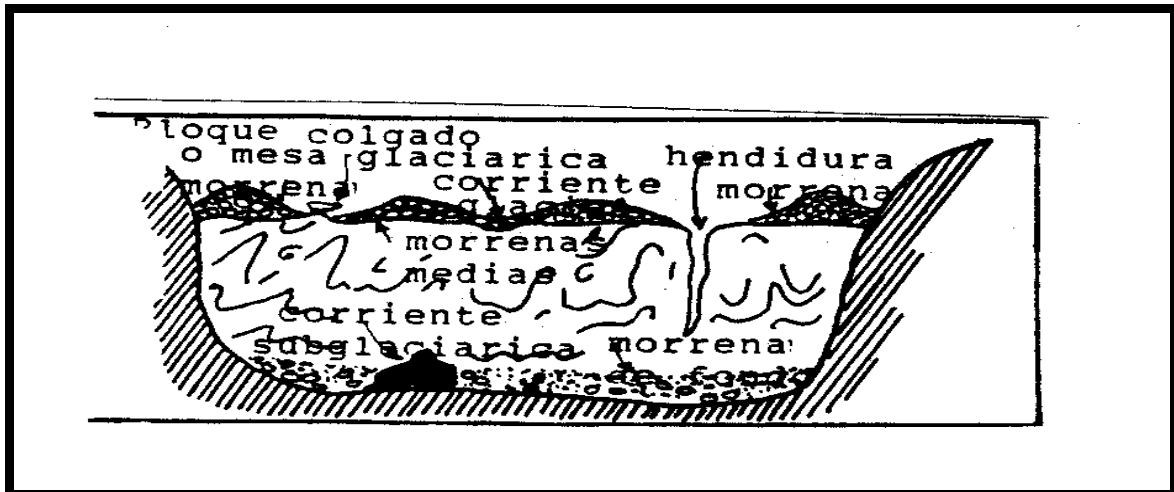


Figura 33. Ríos glaciáricos.

(Fuente: Libro Fotogeología, U.N.A.M. 1980 Felipe Guerra Peña)

Ríos subterráneos

Los ríos subterráneos son de gran extensión y diversidad y siguen diaclasas o juntas en los estratos de caliza las que van ensanchándose hasta formar cavernas a lo largo de sus cursos, y que subsiguientemente van rellenándose con depósitos estalactíticos, este drenaje subterráneo puede desarrollarse hasta la absorción completa del drenaje superficial dando lugar al peculiar paisaje kárstico.

Ríos polígenos

Los ríos poligenéticos o polígenos pueden ser mixtos, compuestos y complejos.

i.1) Ríos mixtos

se denominan ríos mixtos los que son de distintas edades en sus diferentes partes, como algunos que son viejos en sus cabeceras, en sus nacimientos en las montañas, y jóvenes en sus cursos bajos.

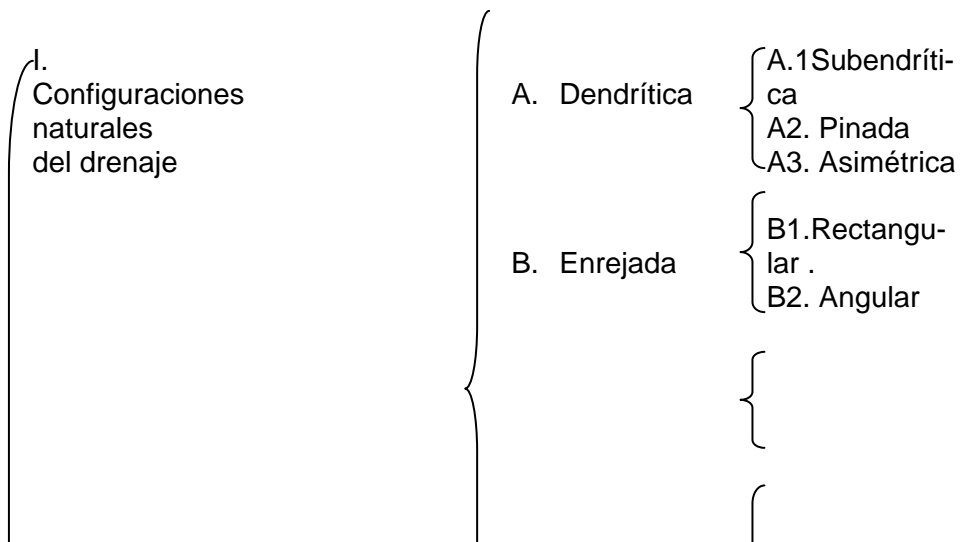
i.2) Ríos compuestos

Son los que incluyen en sus cuencas áreas de diferente estructura, para aclarar este concepto y el de río mixto hay que tener presente que en caso de los mixtos se trata de ríos y en el de los compuestos se trata de cuencas pero como las de diferentes estructuras afectan a las corrientes fluviales, modificando sus cursos, esta categoría de ríos poligenéticos es completamente válida, así sucede que un río consecuente simple sobre una superficie destructiva (penillanura) o un consecuente superpuesto sobre un terreno mucho más viejo y muy plegado pueden fluir a través de regiones de diferente estructura, en distintas partes es decir, tener una cuenca de drenaje compuesta, no obstante ser el río de carácter simple.

i.3) Ríos complejos

Son los que han entrado en un segundo o posterior ciclo de desarrollo, la complejidad aumenta en el caso de que el río, entre localmente en un nuevo ciclo, mientras las restantes partes del mismo permanecen relativamente sin cambio el grado de complejidad sirve para estimar número de ciclos por los que el río ha pasado.

C.5) Clasificación sistemática de las configuraciones del drenaje.



Configuraciones del drenaje	1. Ordenada Regular	C. Paralela	C1. Subparalelas. C2. Colinear
		D. Radial	D1. Centrífuga D2. Centrípe- ta D3. Dicotó- mica D4. Distribu- taria
		E. Angular F. Trensada G. Karstica	
	2. Desordenada	A. Anastomasada B. Reticular C. Retorcida D. Lagunar E. Errática F. Compleja G. Anómala H. Fantasma	
		A. Yasoo B. Cubeta glaciárica C. Termokárstica D. Espoloneada E. Elíptica	
II. Configuraciones artificiales del drenaje	3. Tipos especiales	A. Rectilínea B. Ilusoria	

C.6) Configuraciones naturales del drenaje

a) Dendrítica

Se denomina también arborescente por parecerse en su desarrollo a la configuración de un árbol; es desde luego la más común de todas las configuraciones del drenaje, como se muestra en la figura 34.

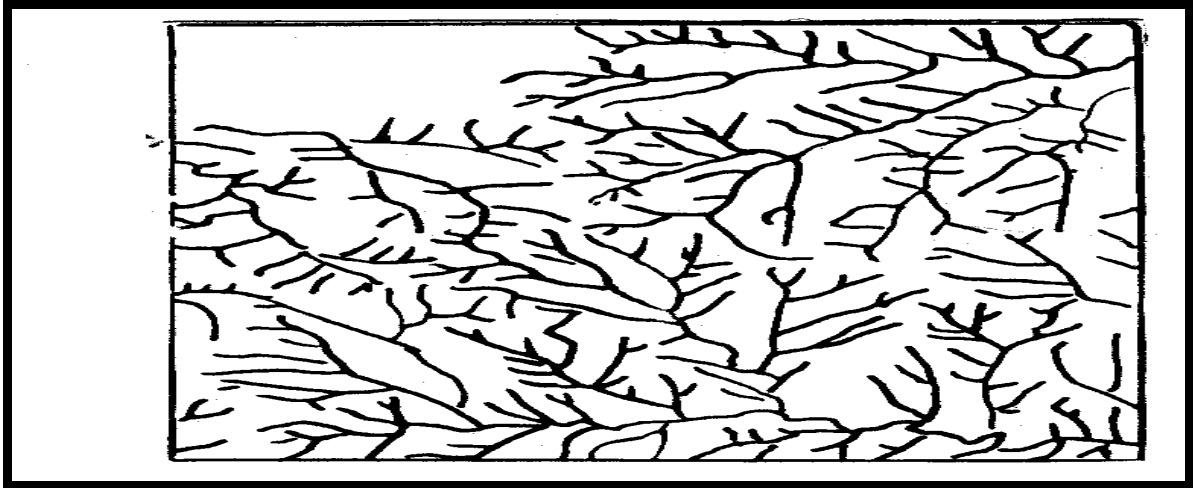


Figura 34. Drenaje dendrítico.

(Fuente: Libro Fotogeología, U.N.A.M. 1980 Felipe Guerra Peña)

En este sistema la corriente principal corresponde al tronco del árbol, las secundarias o tributarias a las ramas del mismo y las de menor categoría a las ramitas y hojas al igual que un árbol las ramas formadas por las corrientes tributarias se distribuyen en todas las direcciones sobre la superficie del terreno, y se unen a la principal o corriente troncal, formando ángulos agudos de diversa graduación, sin llegar nunca al ángulo recto; la presencia de la confluencia de dos o más corrientes en ángulo recto dentro de una configuración dendrítica constituye precisamente una anomalía que debe atribuirse por lo general a fenómenos tectónicos.

Esta configuración tiene lugar allí donde la estructura rocosa no interfiere el libre desenvolvimiento fluvial y por tanto presupone la presencia de rocas de composición homogénea, y la ausencia de rasgos estructurales, principalmente se produce este tipo de drenaje en rocas sedimentarias homogéneas casi horizontales. Como en muchas llanuras ocurre o en rocas ígneas macizas, como las graníticas, también se halla en rocas horizontales estratificadas, aunque tengan algunas variaciones en su composición siempre y cuando todos los estratos ofrezcan el mismo grado de resistencia al intemperismo y a la erosión.

No obstante también se puede encontrar la configuración dendrítica, sobre rocas sedimentarias plegadas si se presenta esa condición de tener igual dureza en todas sus capas. Igualmente por la existencia de dicha cualidad puede presentarse esta configuración en rocas metamórficas cristalinas que el metamorfismo intenso borra las diferencias de resistencia de los distintos sedimentos.

La homogeneidad en todos sentidos de las rocas que se encuentran dentro de un área de configuración dendrítica hace que las corrientes que se inician sobre su superficie tomen la dirección de la inclinación de la pendiente de forma que los ríos dendríticos, troncales son consecuentes inicialmente, a su vez la falta de irregularidades, de ondulaciones abruptas superficiales, hacen que las corrientes dendríticas tributarias que se vayan formando, se extiendan arbitrariamente por todo el área, al no encontrar obstáculos importantes en sus cursos, por lo general estos son genéticamente insecuentes; existe pues una correlación estrecha entre la configuración dendrítica del drenaje y el tipo

genético consecuente inicial la figura 35 muestra el drenaje dendrítico en diferentes tipos de rocas.

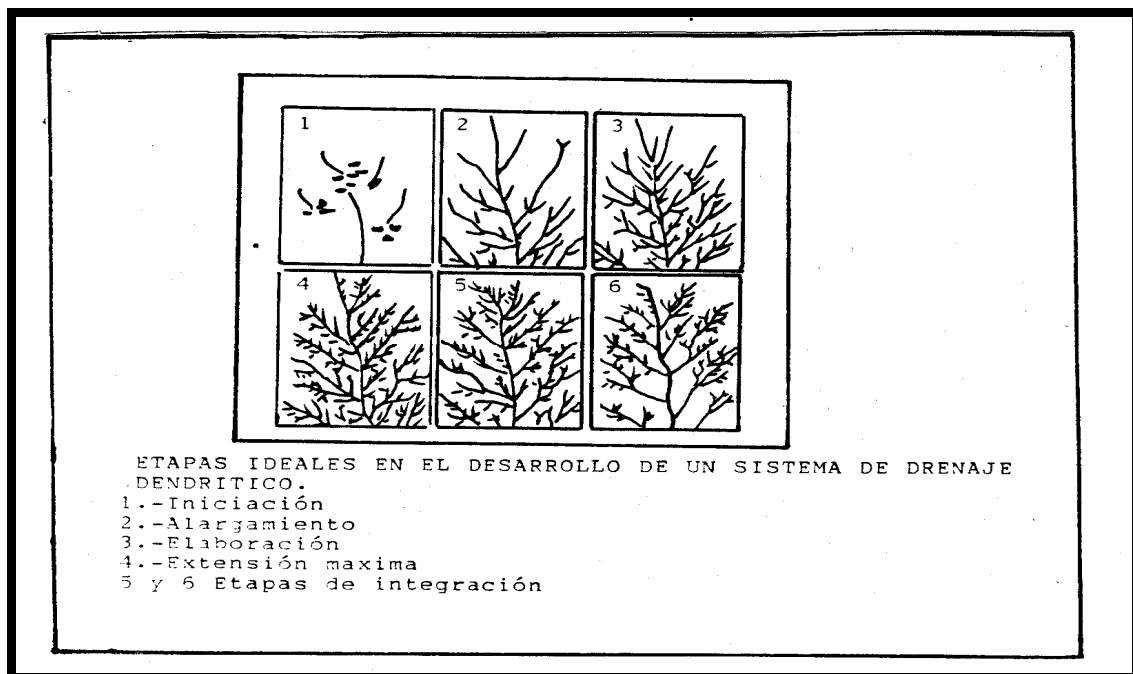


Figura 35. Drenaje dendrítico en diferentes tipos de rocas
(Fuente: Libro Fotogeología, U.N.A.M. 1980 Felipe Guerra Peña)

b) Drenaje subdendrítico.

Constituye una modificación de la configuración dendrítica que muestra un menor control de la pendiente sobre los tributarios de segundo y tercer orden. Entendiendo por tributarios de primer orden aquellos que logran formar barrancas en la superficie del terreno, como es natural se asemejan mucho a las corrientes dendríticas y son el resultado de fluir dichas corrientes desde áreas de materiales poco resistentes a otras con ligero control estructural, la figura 36 muestra el drenaje subdendrítico.

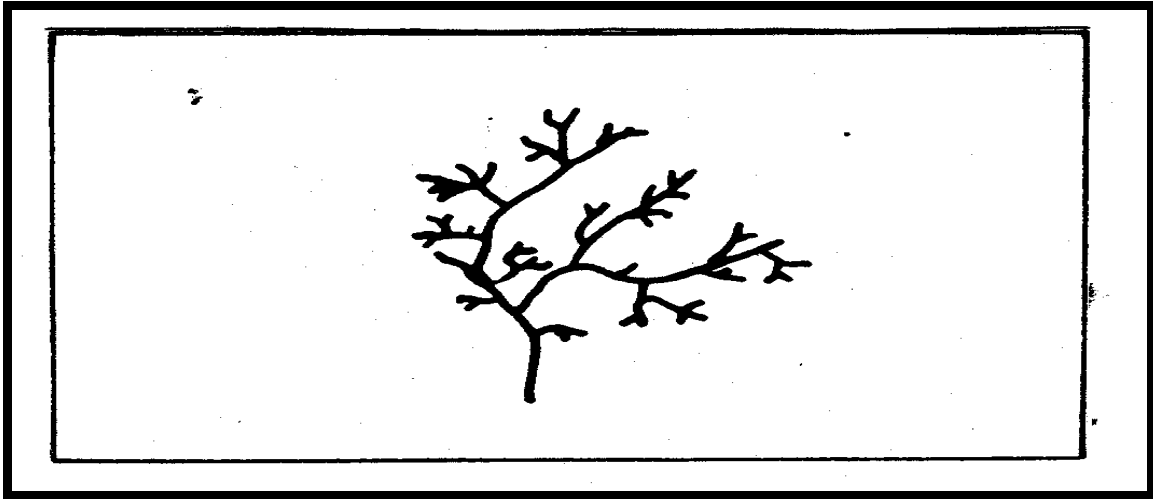


Figura 36. Drenaje subdendrítico.
(Fuente: Libro Fotogeología, U.N.A.M. 1980 Felipe Guerra Peña)

c) Pinada

Modificación también del tipo dendrítico, los tributarios de segundo orden se encuentran acomodados entre sí de una manera mas o menos paralela, indicando este paralelismo la existencia de una pronunciada pendiente poco común y casi uniforme, los tributarios de primer orden se encuentran algo espaciados y a ellos se juntan los de segundo orden en ángulo que a veces se aproxima al ángulo recto, tal como ocurre con las ramas del pino de donde proviene el nombre de pinado la figura 37 muestra un drenaje pinado.

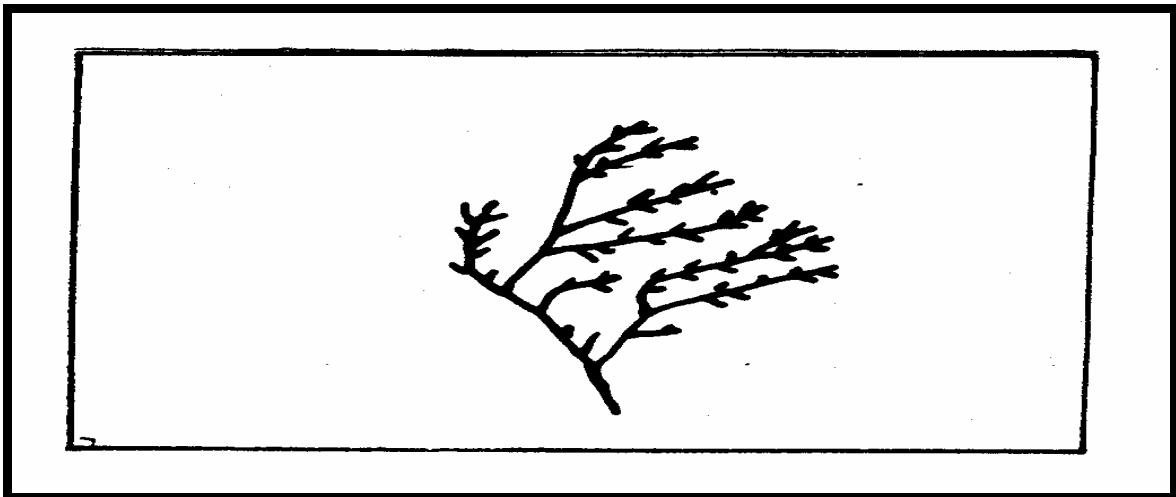


Figura 37. Drenaje pinado
(Fuente: Libro Fotogeología, U.N.A.M. 1980 Felipe Guerra Peña)

d) Asimétrica

La asimetría puede referirse a cualquier configuración de drenaje pero con más frecuencia corresponde a la configuración dendrítica por cuyo motivo este tipo constituye una modificación de la misma consistente en que tiene más tributarios en el lado o vertiente de mayor gradiente que en la vertiente menor inclinada con frecuencia se asemeja a un peine la figura 38 muestra el drenaje asimétrico.

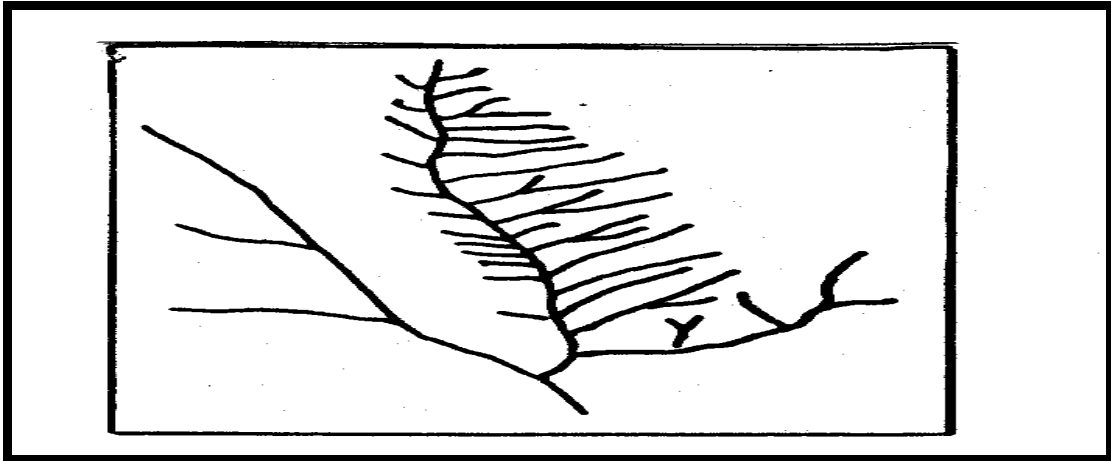


Figura 38. Drenaje asimétrico
(Fuente: Libro Fotogeología, U.N.A.M. 1980 Felipe Guerra Peña)

e) Enrejada

Esta configuración del drenaje se debe al ajustamiento o acomodamiento de la misma a la estructura y es característico de rocas muy plegadas y con agudo buzamiento, cuyo marcado control refleja, excepto por lo que se refiere a la corriente troncal.

Se tipifica esta configuración por largos tributarios más o menos paralelos y de recto trazado por cortos tributarios secundarios que se juntan con los anteriores formando con ellos toscos ángulos rectos, las corrientes troncales suelen fluir transversalmente con relación a los tributarios primarios pero en otros lugares pueden ser subparalelos a ellas.

Las corrientes principales de esta configuración enrejada se doblan casi en ángulo recto para cruzar las alineaciones de crestas o lomas encontrándose también en ángulo recto los tributarios primarios con relación a los principales por lo común y juntándose con ellos igualmente los tributarios secundarios en ángulo recto después de seguir estas corrientes secundarias en curso paralelo a las maestras o principales.

El control estructural del drenaje se debe a la desigual resistencia de los estratos inclinados, ya que afloran en fajas estrechas y paralelas por lo que los tributarios, al erosionar las capas más blandas, respetando las más duras, que quedan como divisorias de aguas entre las anteriores, originan una disposición paralela de crestas formadas por las rocas resistentes y valles constituidos por las rocas débiles.

Un tipo particular de configuración enrejada de drenaje se origina cuando se presentan fallas paralelas, bien por el hundimiento de bloques paralelos o como

resultado de la erosión a lo largo de zonas fracturadas, denominándose por ello enrejado de falla este tipo es sin embargo menos intrincado y más estrechamente espaciado la figura 39 muestra un drenaje enrejado.

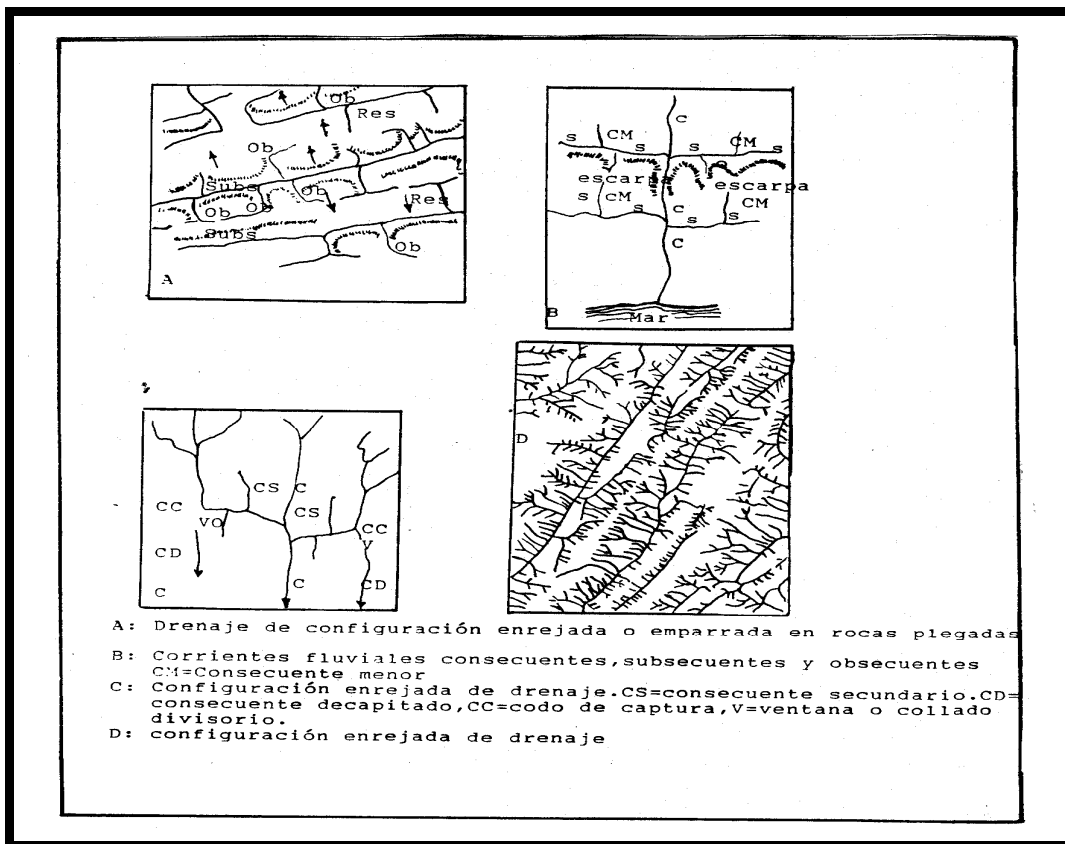


Figura 39. Drenaje enrejado

(Fuente: Libro Fotogeología, U.N.A.M. 1980 Felipe Guerra Peña)

f) Rectangular

Esta configuración es una modificación de la enrejada y se caracteriza por violentos cambios rectangulares en el curso de las corrientes fluviales, tanto de las principales como de las tributarias esta disposición rectangular es una consecuencia de los sistemas de juntas, diaclasas y de fallas, la figura 40 muestra la configuración del drenaje rectangular.

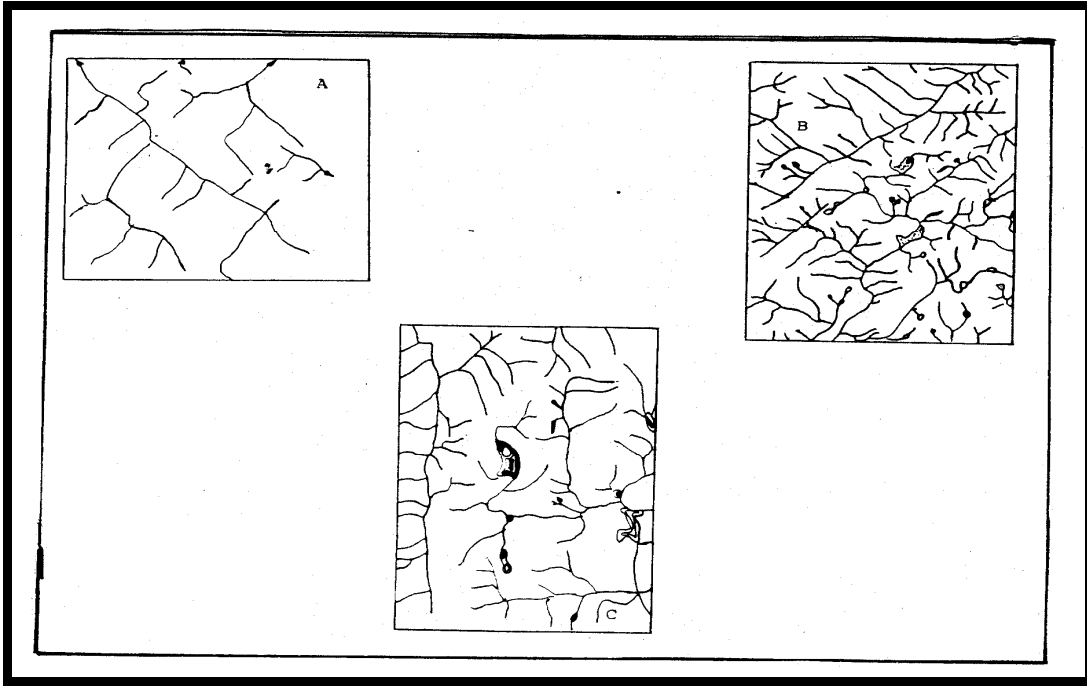


Figura 40. Drenaje rectangular.

(Fuente: Libro Fotogeología, U.N.A.M. 1980 Felipe Guerra Peña)

g) Angular

Constituye otra modificación de la configuración enrejada asemejándose a la rectangular su derivada, pero diferenciándose de ella porque los tributarios se unen a las corrientes principales formando ángulos agudos y no rectos al igual que la configuración rectangular, la angular o angulada refleja la influencia sobre el drenaje de los sistemas de juntas o diaclasas de las rocas.

La figura 41 muestra una configuración de drenaje angular.



Figura 41. Drenaje angular
(Fuente: Libro Fotogeología, U.N.A.M. 1980 Felipe Guerra Peña)

h) Paralela

La configuración del drenaje es paralela, cuando las corrientes sobre un área considerable o en un número sucesivos de casos fluyen casi paralelas unas a otras. Este tipo de drenaje se localiza donde hay pendientes pronunciadas, o donde existen controles estructurales que motivan un espaciamiento regular casi paralelo de las corrientes fluviales, la figura 42 muestra la configuración del drenaje paralelo.

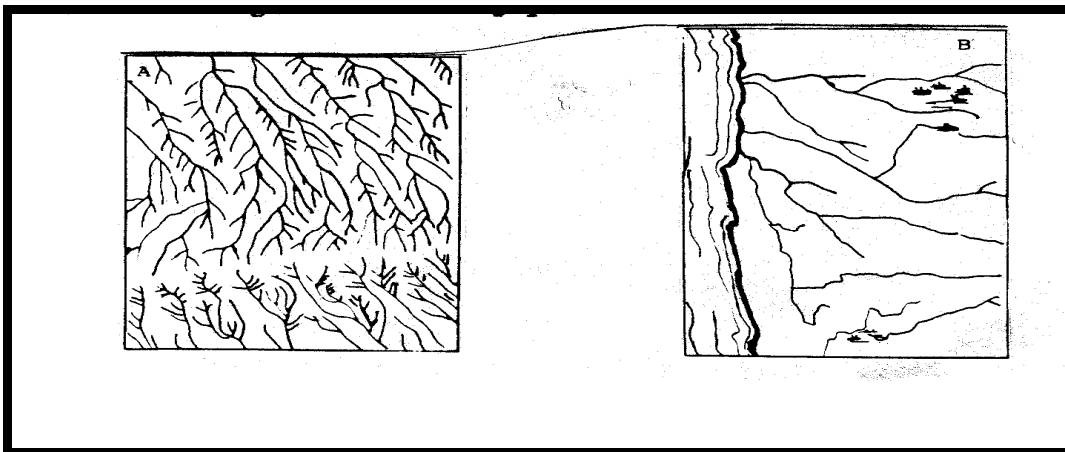


Figura 42. Drenaje paralelo.
(Fuente: Libro Fotogeología, U.N.A.M. 1980 Felipe Guerra Peña)

i) Subparalela

Es una modificación de la configuración paralela en la que las corrientes fluviales asemeja la disposición de las ramas de algunos árboles, la figura 43 muestra una configuración de drenaje subparalelo.

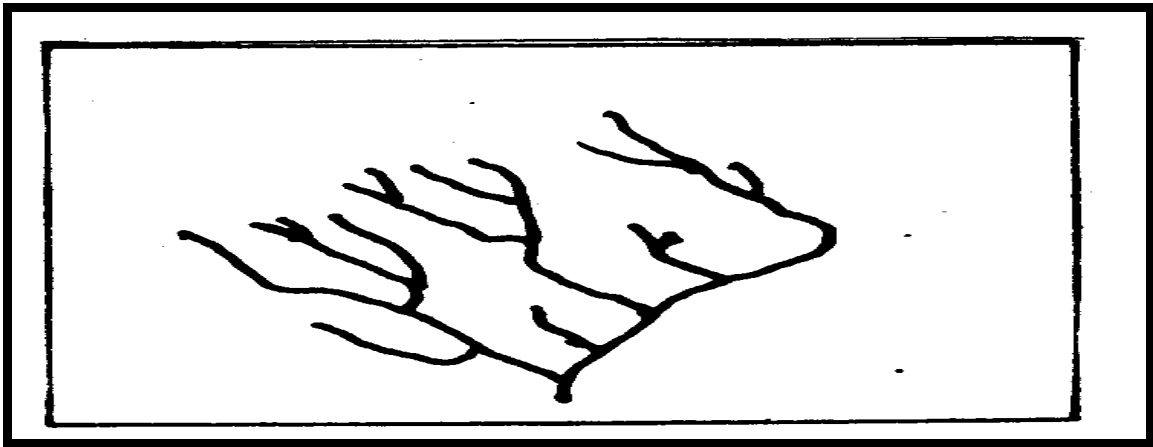


Figura 43. Drenaje subparalelo.

(Fuente: Libro Fotogeología, U.N.A.M. 1980 Felipe Guerra Peña)

j) Colinear

Constituye este tipo de drenaje otra modificación o variedad de la configuración paralela estando formadas por corrientes más o menos paralelas y alternativamente superficiales y subterráneas.

Este tipo es característico de determinadas regiones y sus corrientes son intermitentes, que fluyen sobre áreas formadas por materiales porosos y con cursos aproximadamente rectilíneos, la figura 44 muestra una configuración de drenaje colinear.

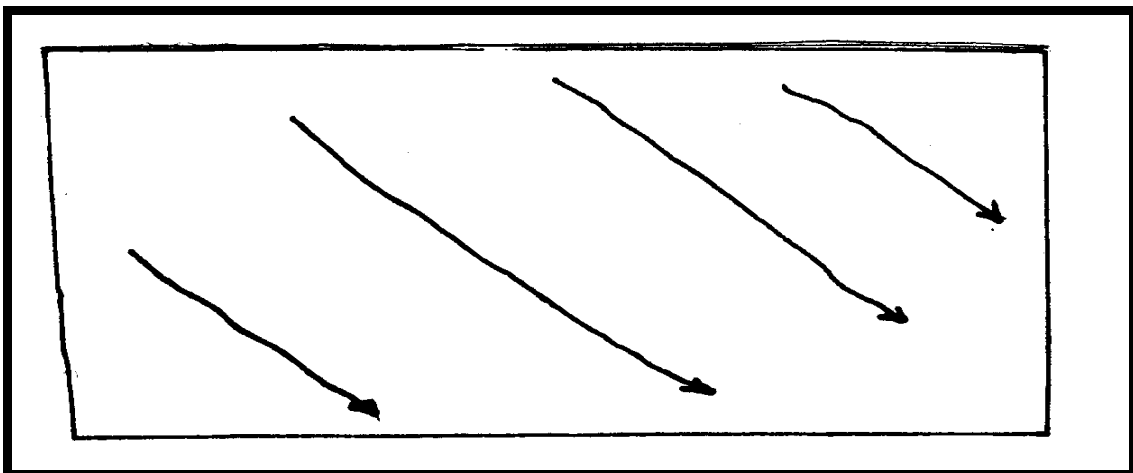


Figura 44. Drenaje colinear.
(Fuente: Libro Fotogeología, U.N.A.M. 1980 Felipe Guerra Peña)

k) Radial

Denominada así porque las corrientes fluviales se encuentran dispuestas como los rayos o los radios de una rueda con relación a un punto central como se muestra en la figura 45.

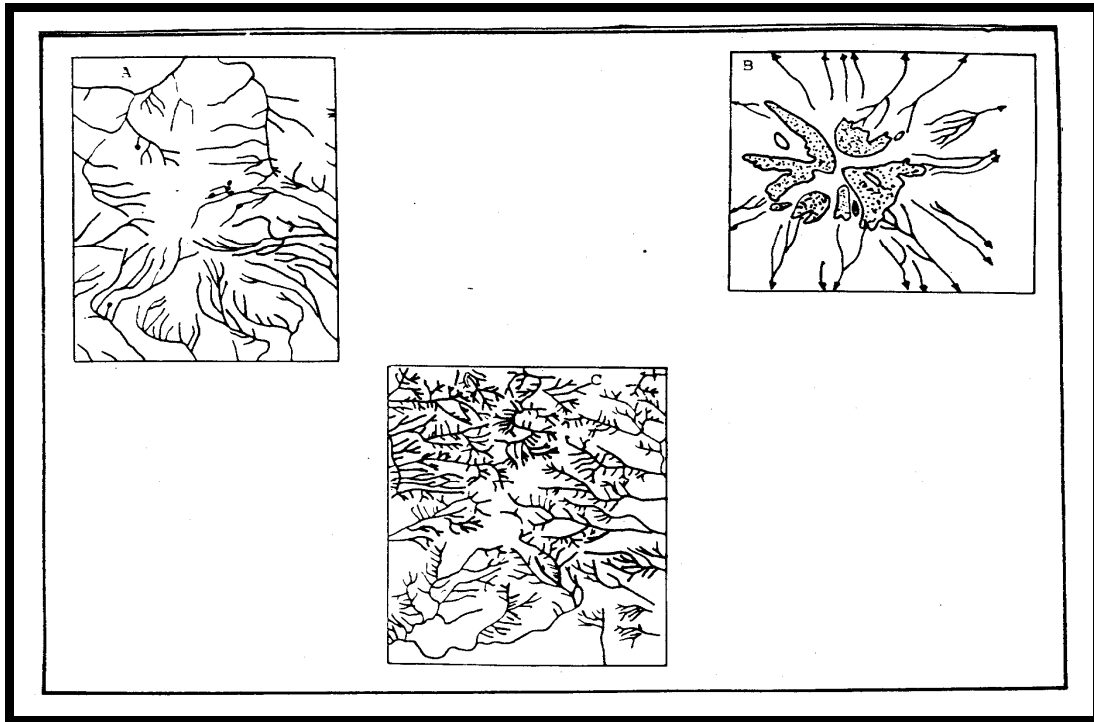


Figura 45. Drenaje radial.
(Fuente: Libro Fotogeología, U.N.A.M. 1980 Felipe Guerra Peña)

I) CENTRÍFUGA

Una de las dos principales clases de configuración radial del drenaje que se desarrolla en domos, conos volcánicos y en otros tipos de estructuras aisladas cónicas o subcónicas, en el tipo radial centrífugo, las corrientes fluviales son del tipo genético consecuente y divergen desde un punto o área central elevada, la figura 46 muestra la configuración radial centrífuga.

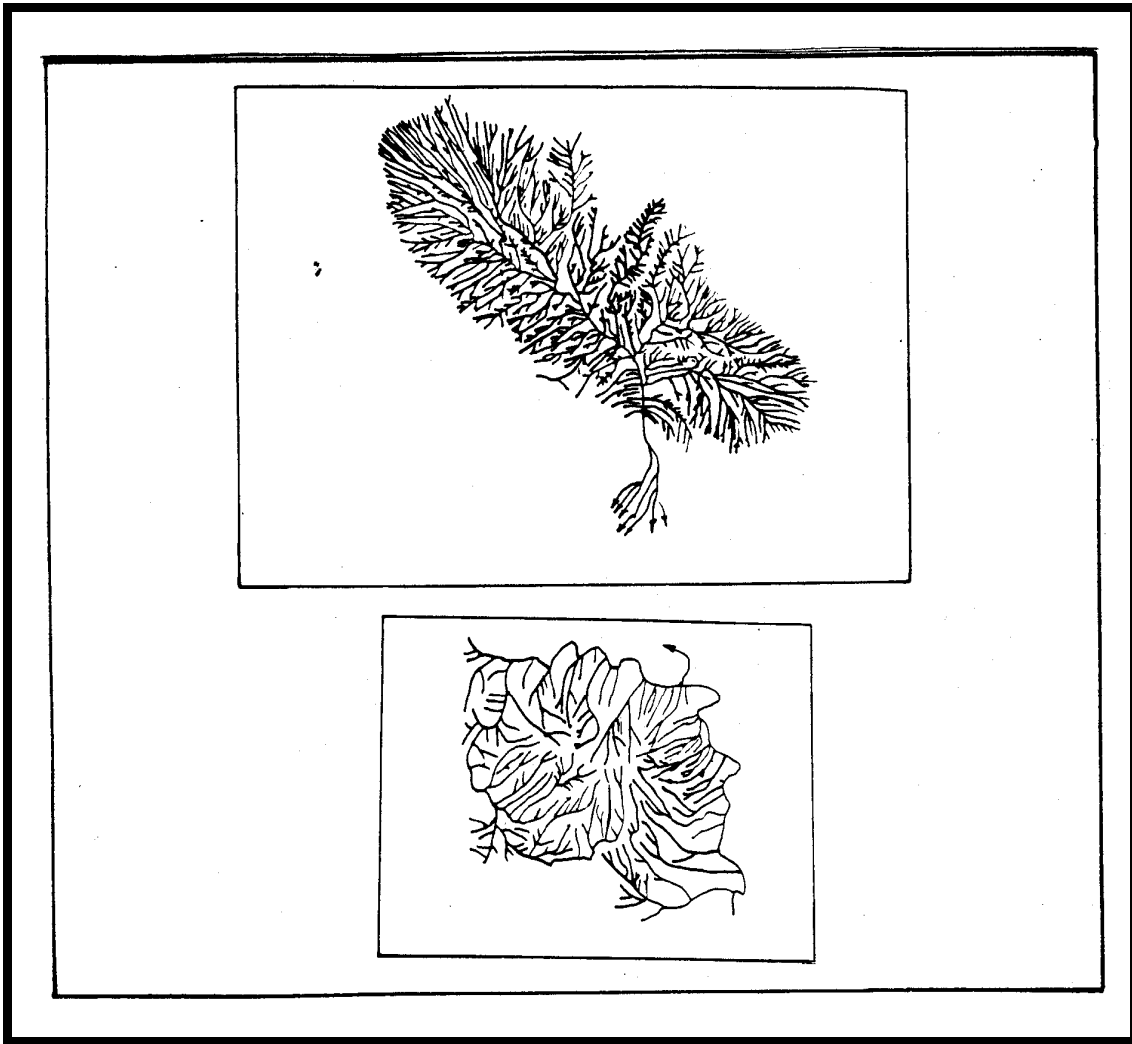


Figura 46. Drenaje radial centrífugo
(Fuente: Libro Fotogeología, U.N.A.M. 1980 Felipe Guerra Peña)

m) **Centrípeta**

Este tipo de configuración radial que sigue en importancia a la centrífuga, de la que se diferencia tan solo por converger las corrientes en un punto o zona central por lo que también se llama concéntrica en vez de diverger y, en que el lugar de tratarse de un área elevada en este caso se trata de un área baja o hundida, en esencia pues, son iguales ambas configuraciones, puesto que en las dos las corrientes fluyen radialmente variando tan solo el sentido de la afluencia.

Se presenta esta clase de configuración centrípeta del drenaje que es también consecuente, cuando las corrientes confluyen en una depresión topográfica central en una cuenca estructural, o en cráteres volcánicos, sumideros u otras estructuras semejantes, la figura 47 muestra la configuración de un drenaje radial centrípeta.

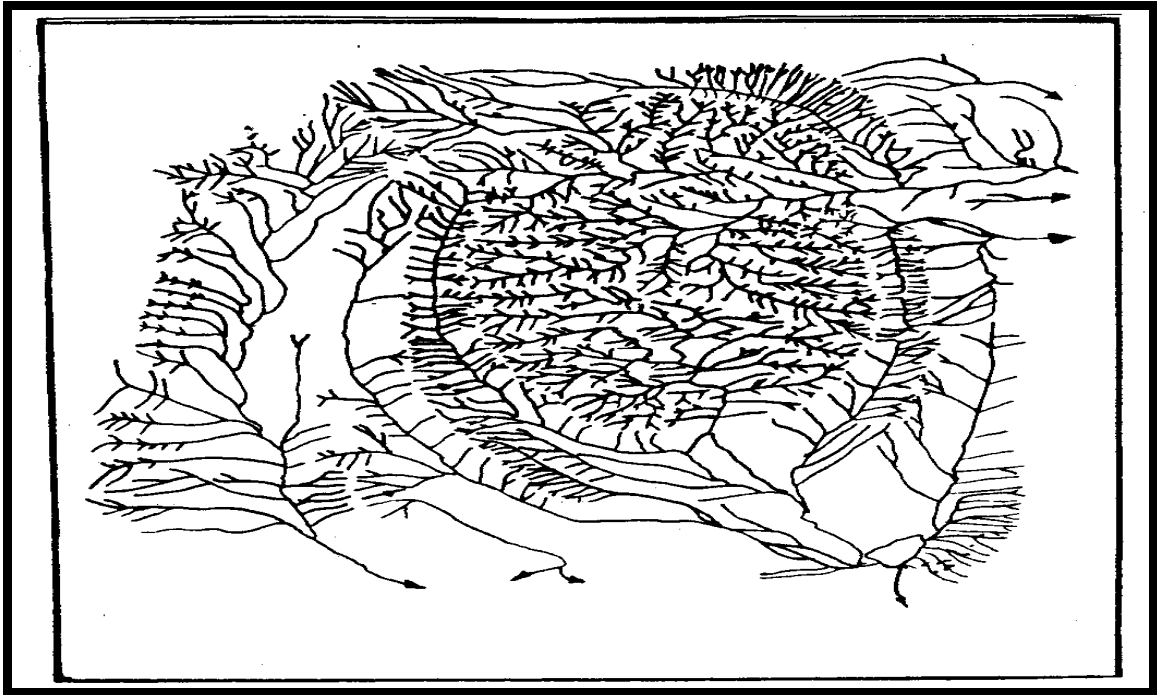


Figura 47. Drenaje radial centrípeta
(Fuente: Libro Fotogeología, U.N.A.M. 1980 Felipe Guerra Peña)

n) Dicotómica

Esta configuración genéticamente consecuente, constituye una modificación del tipo radial, que bien puede clasificarse de semiradial; su denominación procede de dicotómica que significa bifurcación o división en dos partes por lo general radialmente, como sucede con las corrientes fluviales en los abanicos aluviales, la figura 48 muestra la configuración del drenaje dicotómico sobre los abanicos aluviales.

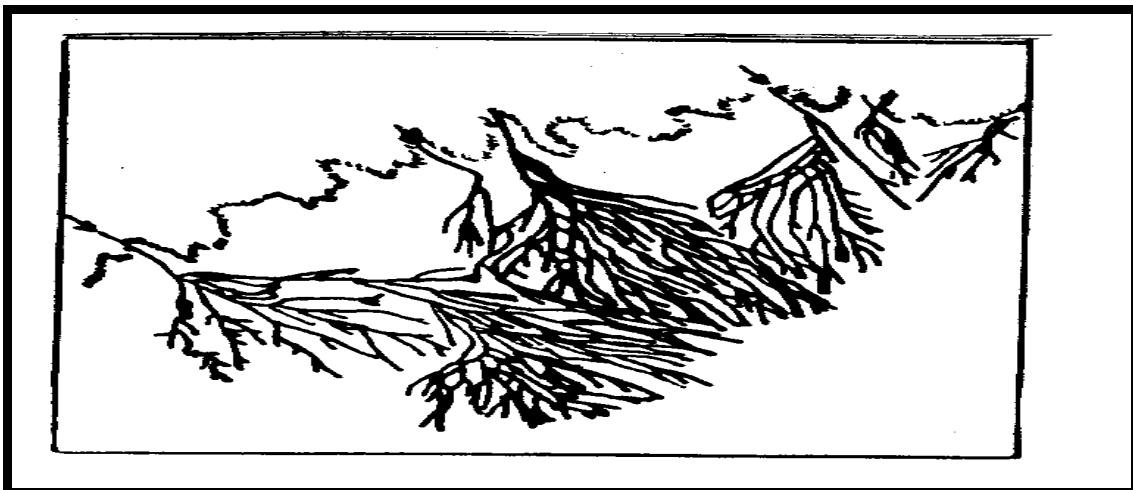


Figura 48. Drenaje dicotómico.
(Fuente: Libro Fotogeología, U.N.A.M. 1980 Felipe Guerra Peña)

o) Distributaria

Puede clasificarse también de semiradial, corresponde esta denominación a las corrientes genéticamente consecuentes que se acomodan en los deltas fluviales en forma de pata de ave, es decir a aquellas que penetran dentro del mar radialmente como los dedos de una mano abierta formando una serie de canales independientes conocidos como distributarios y que se caracterizan en contraste con los tributarios porque al separarse de la corriente principal ya no vuelven a reunirse con ella, ni con otra tributaria, la figura 49 muestra la configuración del drenaje distributivo.

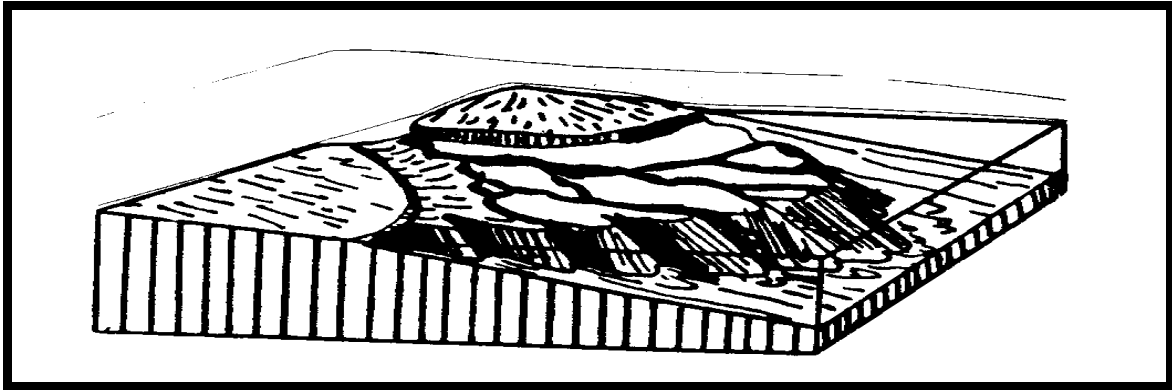


Figura 49. Drenaje distributivo.
(Fuente: Libro Fotogeología, U.N.A.M. 1980 Felipe Guerra Peña)

p) Anular

Se asemeja este tipo de configuración de drenaje a un anillo, en las configuraciones de los domos maduramente disecados, con fajas alternantes de rocas duras y blandas que los rodean el drenaje se acomoda a los afloramientos de las rocas más débiles. Las corrientes anulares son genéticamente subsecuentes con tributarios obsecuentes y resecuentes, la figura 50 muestra la configuración del drenaje anular.

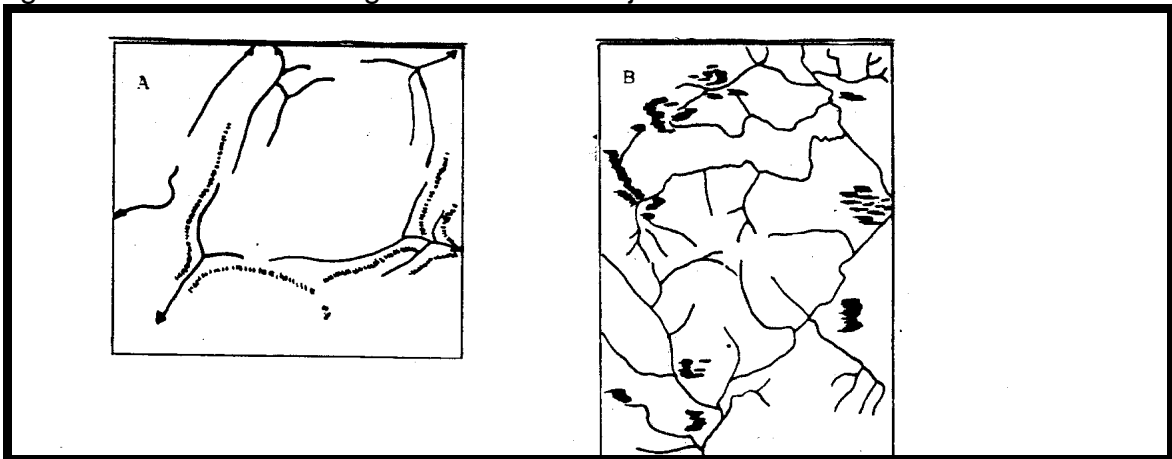


Figura 50. Drenaje anular.

(Fuente: Libro Fotogeología, U.N.A.M. 1980 Felipe Guerra Peña)

q) Trenzada

Se denomina corriente trenzada a aquella que fluye en numerosos canales divididos que se vuelven a unir como los cabos o ramales retorcidos de una trenza originando dicha división de los canales, el obstáculo causado por los sedimentos depositados por la corriente.

Caracteriza este tipo de corrientes a las áreas planas niveladas sobre las que se desarrollan una intrincada red de canales superficiales que integran una configuración compleja de fondo de valle.

Este drenaje está marcado por una serie de canales que se entrecruzan separados unos de otros, por islas o barras esta condición trenzada indica que una corriente fluvial se encuentra incapacitada para transportar toda la carga que contiene se produce por una excesiva contribución de carga de la corriente principal a causa de una súbita pérdida de gradiente, cuando la corriente desemboca en las montañas en las tierras bajas, con la consiguiente reducción de poder de transporte o por pérdidas de volumen a través de filtraciones o evaporación.

Por lo común los materiales depositados por una corriente trenzada son granulares especialmente en las partes superiores de las corrientes, la figura 51 muestra la configuración trenzada del drenaje.

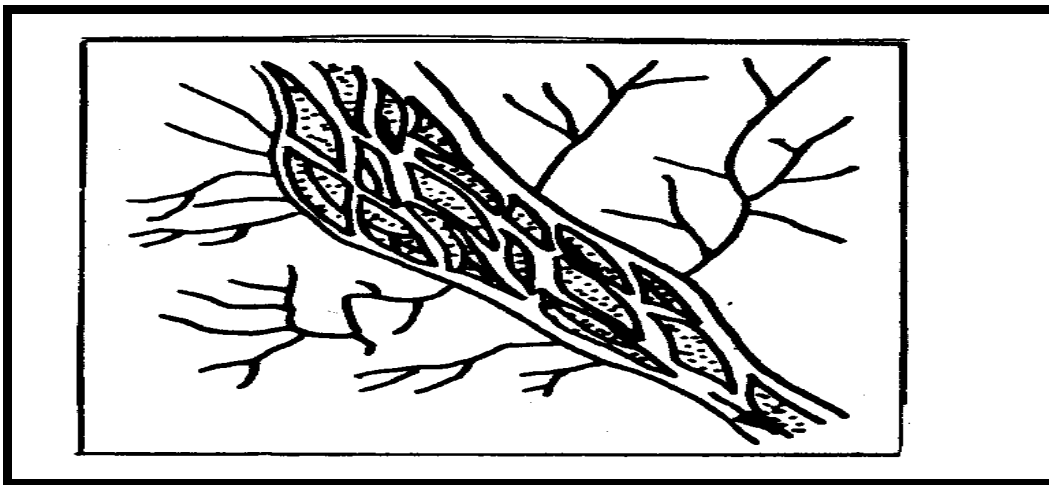


Figura 51. Drenaje trenzado.

(Fuente: Libro Fotogeología, U.N.A.M. 1980 Felipe Guerra Peña)

r) Kárstica

Esta configuración de drenaje se denomina también de sumideros y es característica en las áreas de estratos de calizas horizontales.

Esta configuración de drenaje es en parte superficial y en parte subterránea, pues las pequeñas corrientes superficiales desaparecen o se sumen en sumideros para continuar bajo tierra como corrientes subterráneas.

Cuando se derrumban las cavernas que, por disolución de las calizas originan las corrientes que penetran por los sumideros, se forman estanques o dolinas. El drenaje de esta configuración es tan típico que por el se pueden identificar perfectamente y con seguridad completa las áreas de calizas, la figura 52 muestra la configuración de un drenaje kárstico.

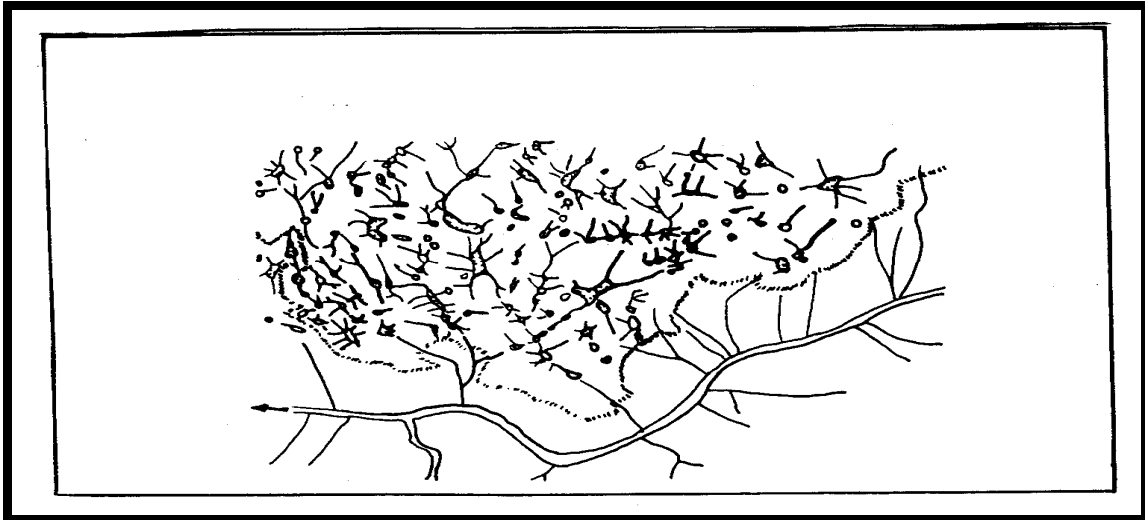


Figura 52. Drenaje kárstico.
(Fuente: Libro Fotogeología, U.N.A.M. 1980 Felipe Guerra Peña)

C.7) Configuraciones desordenadas o irregulares

a) Anastomosada

Este tipo de drenaje es el que caracteriza a las llanuras de inundación, los meandros de la corriente principal dan lugar a ciénagas o fangales o meandros fósiles y a canales entrelazados, presenta configuraciones desordenadas o irregulares, la figura 53 muestra la configuración del drenaje anastomosado.

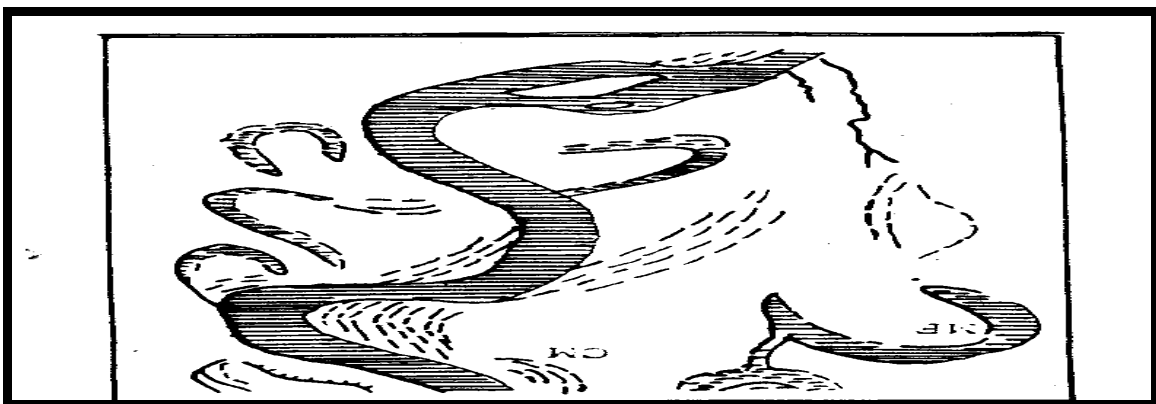


Figura 53. Drenaje anastomosado.
(Fuente: Libro Fotogeología, U.N.A.M. 1980 Felipe Guerra Peña)

b) Reticular

Está constituida por una red de numerosos canales fluviales, es una variedad de la configuración anastomosada, pero se diferencia de ella por localizarse en llanuras costeras jóvenes y en áreas pantanosas, litorales con la marea alta el agua marina fluye hacia estas zonas bajas es decir hacia la tierra a través de los canales y con la marea baja sale por ellos hacia el mar, gran parte del agua interfluvial es pantanosa, y con frecuencia las corrientes fluviales que tienen unos pocos tributarios son meros conductos de agua a través del área pantanosa.

En realidad este tipo de configuración en la que las ramas divergentes de un río de una larga llanura costera vuelve a confluir en la misma corriente. genéticamente esta configuración corresponde al tipo desbordante o de inundación, la figura 54 muestra la configuración de un drenaje reticular.

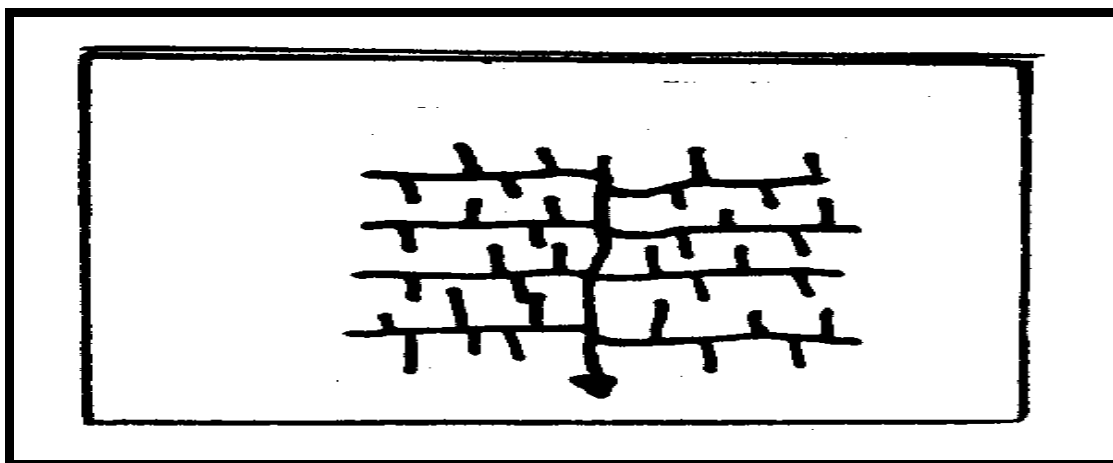


Figura 54. Drenaje reticular.

(Fuente: Libro Fotogeología, U.N.A.M. 1980 Felipe Guerra Peña)

c) Retorcida

Esta configuración fluvial constituye una respuesta a la estructura rocosa. las corrientes que fluyen en una sola dirección pueden invertirse en dirección contraria cuando encuentran en su curso rocas o barreras resistentes, la figura 55 muestra la configuración del drenaje retorcido.



Figura 55. Drenaje retorcido.
(Fuente: Libro Fotogeología, U.N.A.M. 1980 Felipe Guerra Peña)

X. Lagunar

Forman esta configuración de drenaje pequeños lagos esparcidos al azar sobre un área, sin orden ni concierto alguno. los tributarios de tales lagos y lagunas suelen ser tipo dendrítico caracteriza este tipo de drenaje a las cuencas cerradas, donde existe un substrato impermeable y donde el ciclo de erosión es todavía muy joven.

XI. Errática

Conocida igualmente con las denominaciones de casual, fortuita o desordenada a causa de las grandes irregularidades de su forma y por su confusa interferencia en área de lagos, lagunas, pantanos y ciénagas y de grandes valles abiertos.

Esta configuración es característica de las regiones bajas cubiertas por materiales de acarreo en ellas el agua del escurrimiento se acumula en los mencionados receptáculos y las corrientes divagan sin rumbo, por el paisaje mostrando el carácter sin desarrollar del drenaje. cuando éste llega a lograr un desenvolvimiento, suele adoptar la configuración dendrítica, como la configuración reticular, a la que se parece pero de la que la diferencia el que ésta se localiza en las zonas costeras bajas. mientras que la errática puede ser interior genéticamente correspondiente al tipo de inundación o desbordante.

XII. Compleja

En determinados casos el sistema de drenaje muestra tales variantes, entre sus componentes que solo pueden clasificarse como complejo. Esta configuración tiene lugar en áreas de complicada estructura geológica y de compleja historia geomorfológica. Se incluye en esta categoría el drenaje de algunas partes de áreas de reciente glaciación, pero el carácter distintivo es la total ausencia de control estructural o de afloramientos rocosos.

XIII. Anómala

Esta configuración corresponde al sistema irregular de un área de drenaje, formado por la configuración de diferentes configuraciones fluviales de regiones vecinas pero de distintos tipos de topografía.

Este sistema denota la existencia de diferentes clases de materiales en el área.

XIV. Fantasma

Caracteriza las filtraciones de suelos sueltos sin consolidar, de grano fino y bien drenados pero de su subsuelo impermeable el drenaje constituye una tela de araña.

XV. Configuraciones de tipos especiales yasoo

Constituye un tipo muy especial y corresponde a sistemas de drenaje mayores que hasta ahora descritos se debe este tipo a la incapacidad de los tributarios para romper a través de las márgenes elevadas de las corrientes mayores se localiza por lo tanto en las llanuras de confluencia, en las que los tributarios se unen antes de confluir con las corrientes mayores y se desarrolla en las partes bajas de depósitos aluviales.

Al fenómeno mencionando se le designa con el nombre de unión retrasada de tributarios y se produce cuando las corrientes fluviales elevan sus cursos, sobre el nivel de sus llanuras de inundación y sus tributarios no pueden unírseles entonces suelen fluir los tributarios a lo largo de los lados de las llanuras de inundación, hasta que alcanza en algún punto más adelante a la corriente principal aguas abajo donde esta golpea contra el muro hasta que se abre una vía y por ella se conectan, la figura 56 muestra la configuración del drenaje yasoo.

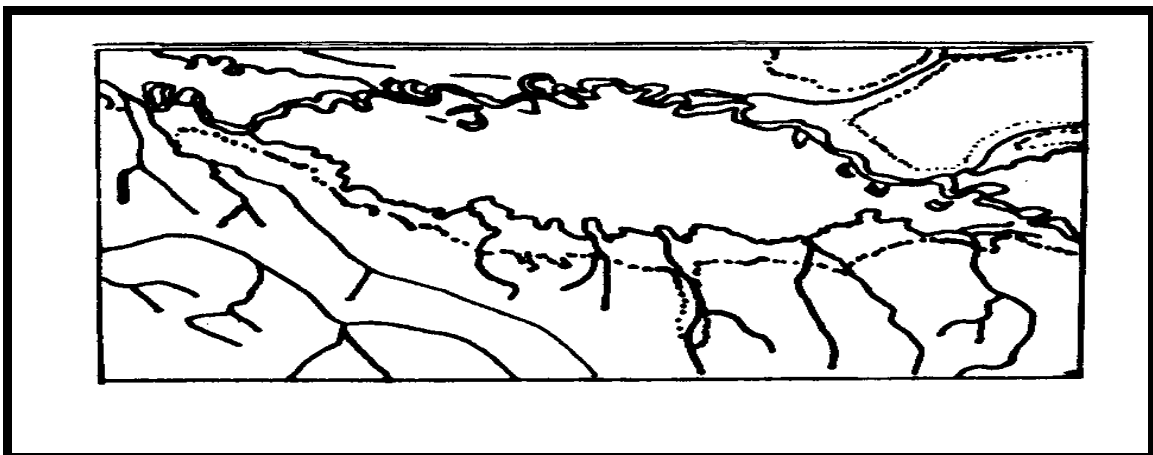


Figura 56. Drenaje Yasoo.

(Fuente: Libro Fotogeología, U.N.A.M. 1980 Felipe Guerra Peña)

XVI. Cubeta glaciárica

Está constituido este tipo de drenaje por series de depresiones espaciadas al azar con alguna ocasional cuenca llena de agua. el más corriente es de origen glaciárico al igual que la configuración lagunar la de cubeta glaciárica es de tipo de cuenca cerrada pero exige para formarse la existencia de un sustrato poroso.

Es el tipo que se localiza en las morrenas granulares y en las llanuras glaciáricas de arrastres estratificados individualmente, los sistemas de drenaje pueden adoptar la forma dendrítica. El proceso de su formación consiste en la presencia de cubetas aisladas que contienen agua y forman un estanque o ciénagas se supone generalmente que han sido formadas por la inclusión en la morrena de masas de hielo las que al fundirse subsiguientemente dejan una oquedad aunque tienen resuelta claro que la irregular distribución de crestas y depresiones producidas por la acumulación de los despojos o escombros inevitablemente deberá originar la formación de cubetas entre ellos en un sentido más amplio estas cubetas son cavidades redondeadas, de paredes casi verticales o mucha pendiente que se pueden localizar en las orillas de los ríos, en los lechos de los mismos, o en depósitos de arena o grava pero más particularmente en los de origen glaciárico, que es a los que se refiere este tipo especial de configuración de drenaje que por ello se denomina cubeta glaciárica.

XVII. Termokárstica

Se llama así esta configuración por ser su topografía semejante a la kárstica, como consecuencia de fundirse el hielo del subsuelo y consiguiente acomodamientos de huecos o cavernas en el suelo es un tipo propio de suelos permanentemente congelados y así como por sus efectos es natural, por sus causas es artificial puesto que este tipo de drenaje se forma, por lo corriente, como resultado de incendios de bosques y praderas, deforestación y explotación agotadora de la superficie por el hombre, con el resultado cuando ello es posible, de un calentamiento solar más intenso, del suelo, a su vez la fusión del hielo causa oquedades cavernosas y hoyos en el mismo, y grietas o resquebrajaduras superficiales, las hendiduras producidas por los procesos termokársticos se diferencian de las originadas por la congelación por ser más anchas profundas y largas, y perdurar a través del invierno las grietas del hielo se forman en invierno y se cierran en verano mientras que las termokárstica se forman en el verano.

Los rasgos principales de este sistema de drenaje, en parte superficial y en parte subterráneo como el kárstico, son grietas superficiales profundas, valles, carcavas, barrancas, cuencas superficiales, lagunas subterráneas y estanques de hundimiento.

XVIII. Espoloneada

Es la configuración resultante del proceso de piratería fluvial, las ramas de la corriente tributaria capturada o decapitada forman ángulos obtusos, con relación a la corriente captora, es decir especie de espolones de ganchos los

tributarios confluyen en la corriente principal con dirección aguas arriba, en vez de hacerlo aguas abajo como es lo normal, esto hace que después de la captura la corriente capturante tenga afluentes con disposición normal en el sector primitivo o propio. y afluentes con disposición inversa en el sector capturado lo que produce una disposición en todos sentidos de los capturados. como si fuera un alambre de púas.

Esta configuración de drenaje invertido tiene un alcance local y se produce en las cabeceras de las corrientes o sistemas de drenaje, o cerca de ellas.

Aunque la mayoría de estas corrientes por efecto de la captura fluvial pueden también producirse por hundimiento o inclinación del terreno, o ser causadas por fenómenos glaciáricos la figura 57 muestra un drenaje espoloneado.

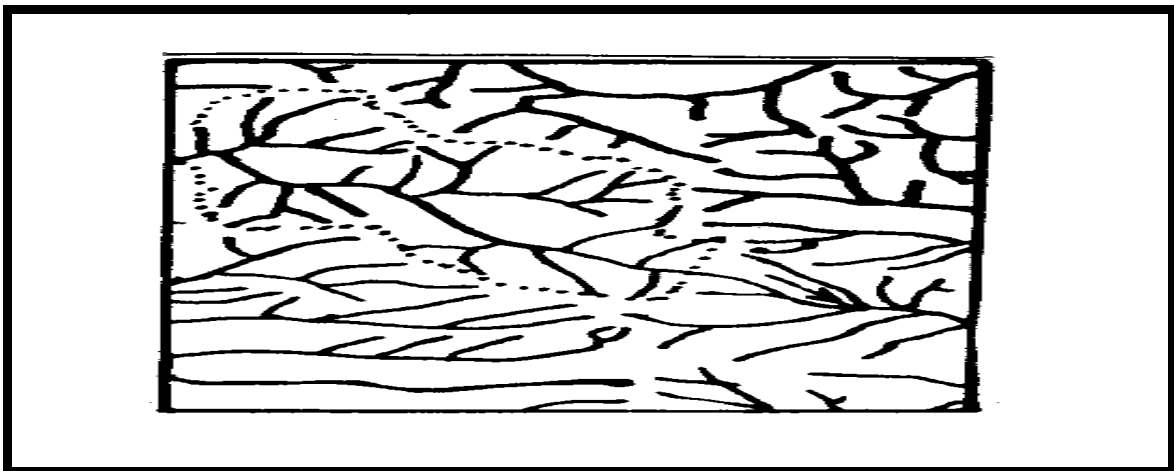


Figura 57. Drenaje espoloneado.

(Fuente: Libro Fotogeología, U.N.A.M. 1980 Felipe Guerra Peña)

m) Elíptica

Se denomina bay o pocosin a un área cubierta por lo general de vegetación pantanosa sostenida por depósitos de turba también se designa con tales nombres en algunas áreas a lagunas superficiales con los bordes pantanosos llenos de turberas estos tienen forma elíptica en muchos casos perfecta y pueden ser simples o múltiples pueden lograr tamaños que oscilan entre unos pocos cientos de metros de longitud hasta más de 10 km.

Un gran porcentaje de estas bays se extiende siempre en la misma dirección en un área dada, y lo mismo ocurre con bordes arenosos muy bien definidos que sobresalen de dicho nivel, la figura 58 muestra la configuración de un drenaje elíptico.

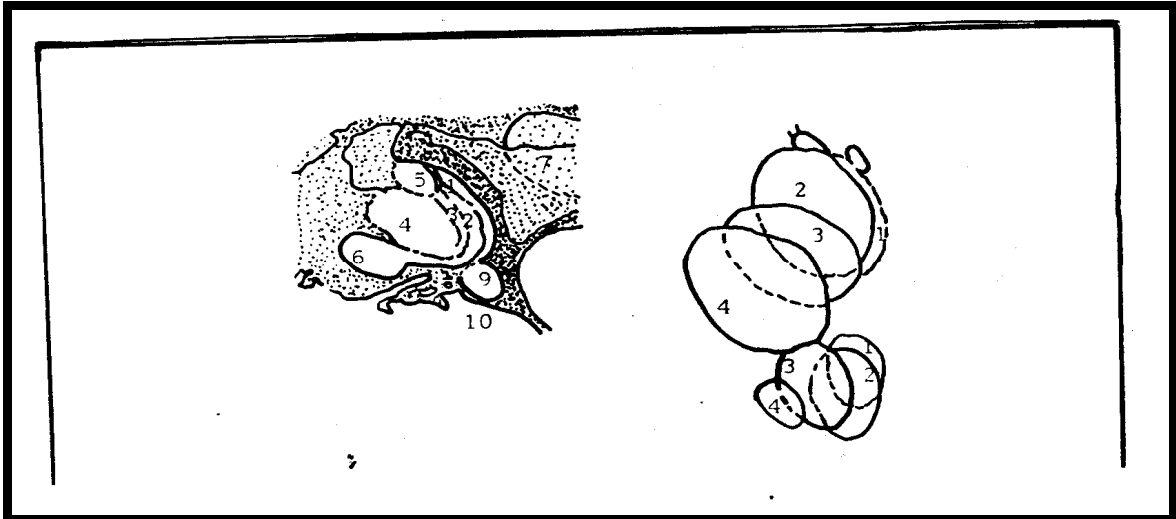


Figura 58. Drenaje elíptico.

(Fuente: Libro Fotogeología, U.N.A.M. 1980 Felipe Guerra Peña)

C.8) Configuraciones artificiales del drenaje rectilíneo.

Corresponde esta configuración a las obras que el hombre hace para drenar áreas niveladas como zanjas o acequias, estos canales, claramente rectilíneos, siguen por lo regular depresiones topográficas.

A veces han sido tan degradados estos conductos, que los que se encuentran en nivel más bajo, son atravesados por el drenaje natural con que vienen a formar una configuración de bloques rectilíneos.

Aunque esta disposición del drenaje, no debe de confundirse con la configuración formada por acequias o canales de irrigación que corresponde al tipo distributivo.

a) ilusoria

Se observa esta configuración en terrenos bajos y porosos ya desaguados o drenados por medio de tuberías, aunque el drenaje sea subterráneo.

C.9) La Cuenca

La cuenca de drenaje de una corriente es el área que contribuye al escurrimiento y que proporciona parte o todo el flujo de la corriente principal y sus tributarios.

La cuenca de drenaje de una corriente esta limitada por su parteaguas como se muestra en la figura 59.

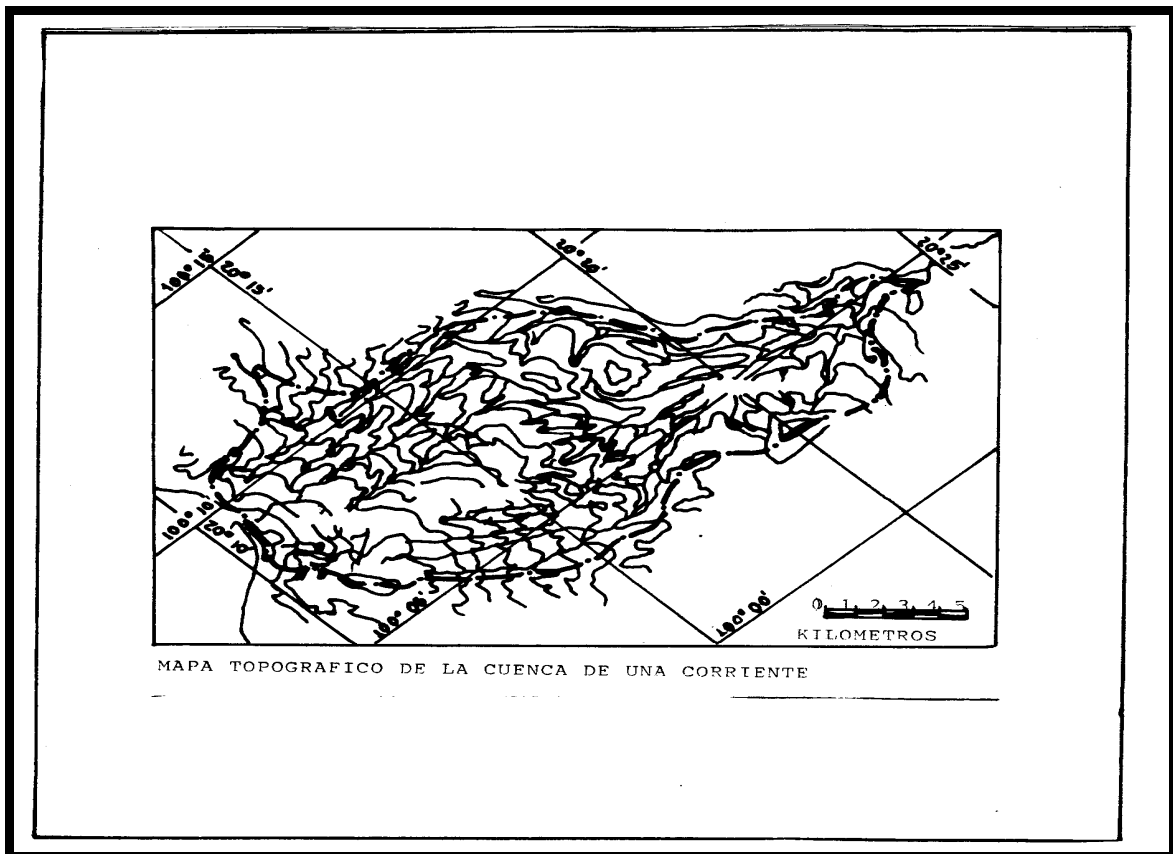


Figura 59. Cuenca de drenaje.
(Fuente: Libro Fotogeología 1980 Felipe Guerra Peña U.N.A.M.)

Éste mapa topográfico marca una línea imaginaria que divide a las cuencas adyacentes y distribuye el escurrimiento originado por la precipitación que en cada sistema de corrientes fluya hacia el punto de salida de la cuenca el parteaguas está formado por los puntos de mayor nivel topográfico y cruza las corrientes en los puntos de salida muchas veces se requiere dividir las grandes cuencas para facilitar su estudio las subaéreas o cuencas tributarias estarán a su vez delimitadas por parteaguas interiores en general estas subdivisiones se hacen de acuerdo con las estaciones hidrométricas existentes en la zona. No necesariamente se analiza con el mismo criterio una cuenca tributaria o pequeña que una cuenca grande, para una cuenca pequeña, la forma y cantidad de escurrimiento están influidas principalmente por las condiciones físicas del suelo por tanto el estudio hidrológico debe enfocarse con más atención, a la cuenca misma, para una cuenca muy grande, el efecto de almacenaje del cauce es muy importante, por lo cual deberá dársele también atención a las características de este último. Es difícil distinguir una cuenca grande de una pequeña, considerando solamente su tamaño; en hidrología dos cuencas del mismo tamaño son diferentes. una cuenca pequeña se define como aquella cuyo escurrimiento es

sensible a las lluvias de alta densidad y corta duración, y donde predominan las características físicas del suelo con respecto a las del cauce, así el tamaño de una cuenca pequeña puede variar desde unas pocas hectáreas hasta un límite que para propósitos prácticos Chow consideró de 250 kilómetros cuadrados.

El escurrimiento del agua en una cuenca depende de diversos factores, siendo uno de los más importantes las características fisiográficas de la cuenca entre éstas se pueden mencionar principalmente su área, pendiente, características del cauce principal como son longitud y pendiente, elevación de la cuenca y red de drenaje.

a) Area de la cuenca

El área drenada de una cuenca es el área en proyección horizontal encerrada por el parte aguas, generalmente esta se determina con un planímetro y se expresa en kilómetros cuadrados, las áreas pequeñas muchas veces se expresan en hectáreas.

b) Pendiente de la cuenca

La pendiente de una cuenca es un factor importante en el proceso del escurrimiento y es por lo tanto un parámetro hidrológico de interés; particularmente en cuencas pequeñas donde suelen ser el factor dominante en la determinación de la forma del hidrograma.

c) Elevación de la cuenca

La variación en elevación de una cuenca, así como su elevación media, puede obtenerse fácilmente con el método de las intersecciones el mapa topográfico de la cuenca se divide en cuadrados de igual tamaño considerando que por lo menos 100 intersecciones estén comprendidas dentro de la cuenca, la elevación media de la cuenca se calcula como el promedio de las elevaciones de todas las intersecciones.

d) Red del drenaje

Otra característica importante de cualquier cuenca son las trayectorias o arreglos de los cauces de las corrientes naturales dentro de ella, la razón de su importancia se manifiesta en la eficiencia del sistema de drenaje en el escurrimiento resultante, por otra parte, la forma de drenaje proporciona indicios de las condiciones del suelo y de la superficie de la cuenca.

Las características de una red de drenaje pueden describirse principalmente de acuerdo con el orden de las corrientes, longitud de tributarios, densidad de corrientes y densidad del drenaje.

e) Orden de las corrientes

Antes de hablar del orden de las corrientes conviene ver su clasificación, todas las corrientes pueden dividirse en tres clases generales dependiendo del tipo de escurrimiento, el cual está relacionado con las características físicas y condiciones climáticas de la cuenca, así una corriente puede ser efímera, intermitente y perenne.

Una corriente efímera es aquella que sólo lleva agua cuando llueve e inmediatamente después desaparece, una corriente intermitente lleva agua la mayor parte del tiempo, pero principalmente en épocas de lluvias; su aporte cesa cuando el nivel freático desciende por debajo del fondo del cauce, la corriente perenne contiene agua todo el tiempo, ya que aún en épocas de sequía es abastecida continuamente, pues el nivel freático siempre permanece por arriba del fondo del cauce.

El orden de las corrientes es una clasificación que proporciona el grado de bifurcación dentro de la cuenca el procedimiento más común para esta clasificación es considerar como corrientes de orden uno, aquellas que no tienen ningún tributario, de orden dos a los que sólo tienen tributarios de orden uno, de orden tres aquellas corrientes con dos o más tributarios de orden dos, la figura 60 muestra el orden de las corrientes.

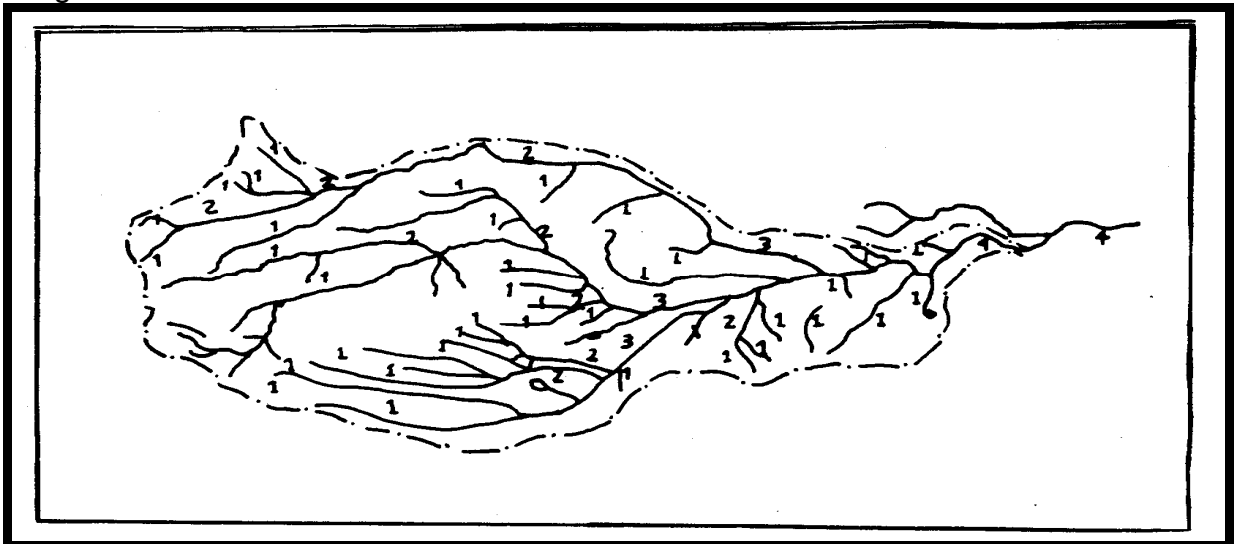


Figura 60. Orden de las corrientes.

(Fuente: Libro Fotogeología 1980 Felipe Guerra Peña U.N.A.M.)

Así el orden de la corriente principal indicará la existencia de la red de corrientes dentro de la cuenca para hacer esta clasificación se requiere un plano de la cuenca que incluya tanto corrientes perennes como intermitentes.

f) Longitud de los tributarios

La longitud de los tributarios es una indicación de la pendiente de la cuenca, así como el grado de drenaje; las áreas escarpadas y bien drenadas usualmente tienen numerosos tributarios pequeños, mientras que en regiones planas donde los suelos son profundos y permeables se tienen tributarios largos que generalmente son corrientes perennes.

La longitud de los tributarios se incrementa como una función de su orden. este arreglo es aproximadamente una ley de progresión geométrica, la relación no es válida para corrientes individuales.

La longitud de las corrientes, en general se mide a lo largo del eje del valle y no se toman en cuenta sus meandros además la longitud que se mide consiste en una serie de segmentos lineales trazados lo más próximo posible a las trayectorias de los cauces de las corrientes.

g) Densidad de corrientes

Se expresa como la relación entre el número de corrientes y el área para determinar el número de corrientes sólo se consideran las corrientes perennes e intermitentes, la corriente principal se cuenta como una desde su nacimiento hasta su desembocadura después se tendrán todos los tributarios de orden inferior desde su nacimiento hasta la unión con la corriente principal y así sucesivamente hasta llegar a los tributarios de orden uno.

Esta relación entre el número de corrientes y el área drenada no proporciona una medida real de la eficiencia del drenaje pues puede suceder que se tengan dos cuencas con la misma densidad de corriente y estén drenadas en muy diferente forma, dependiendo de la longitud de sus corrientes.

h) Densidad del drenaje

Esta característica proporciona una información más real que la anterior ya que se expresa como la longitud de las corrientes por unidad de área.

i) Pendiente del cauce

El perfil de un cauce se puede representar llevando en una gráfica los valores de sus distancias horizontales medidas sobre el cauce contra sus cambios de elevaciones respectivas.

Así pues las aguas superficiales contribuyen de manera importante a distribuir toda el agua que precipita sobre el continente para que ésta sea utilizada por el hombre y posteriormente llevarla a través de los ríos al mar.

Capítulo IV

D) Aplicación del conocimiento de los procesos atmosféricos

D.1) Aplicación del conocimiento de los procesos atmosféricos

Para conocer los procesos atmosféricos, es necesario hacer observaciones atmosféricas para precisarlos y cuantificarlos correctamente; todo estudio formal de la atmósfera necesita ante todo de datos, meteorológicos precisos.

La vista permite hacer un gran número de observaciones por ejemplo: Se puede observar la cantidad de nubes presentes en el cielo sin embargo sucede a menudo que los sentidos no bastan y se tiene que recurrir a los instrumentos de medición.

La observación de los diversos elementos meteorológicos se hace en las estaciones meteorológicas de observación.

D.2) Clasificación de las estaciones

Las diferentes categorías de estaciones meteorológicas son las siguientes:

- a) Estaciones sinópticas (estaciones terrestres y marítimas)
- b) Estaciones climatológicas
- c) Estaciones meteorológicas aeronáuticas
- d) Estaciones meteorológicas agrícolas
- e) Estaciones especiales

a) Estaciones sinópticas

Una estación sinóptica es aquella donde se efectúan observaciones meteorológicas para las necesidades de la meteorología sinóptica, esta rama de la meteorología se refiere al estudio del tiempo real basado en observaciones anotadas en mapas geográficos.

El objeto de este estudio es predecir la futura evolución del tiempo, Las estaciones sinópticas comprenden por una parte las estaciones de observación de superficie y por la otra las estaciones de altitud.

b) Estaciones climatológicas

Los datos meteorológicos utilizados en los estudios climatológicos son suministrados por las estaciones climatológicas.

c) Estaciones meteorológicas aeronáuticas

Están situadas en los aeródromos; en principio han sido creadas para cubrir las necesidades particulares de la aviación.

d) Estaciones meteorológicas agrícolas

Se explotan con el fin de proporcionar asistencia a la agricultura.

e) Estaciones especiales

Se establecen para evaluar fenómenos meteorológicos particulares, comprenden las estaciones explotadas para los siguientes fines.

Observación de parásitos atmosféricos, electricidad atmosférica, localización con radar de nubes e hidrometeoros, hidrología, medida de la radiación o de la iluminación o de ambas, medida del ozono, microclimatología y química atmosférica.

D.3) Observaciones de superficie

Son aquellas observaciones meteorológicas hechas al nivel del suelo o en su proximidad con ayuda de instrumentos situados exclusivamente a este nivel.

En las observaciones de superficie se calculan los siguientes parámetros.

- a) Duración de la insolación
- b) Temperatura del aire, del agua y del suelo
- c) Presión atmosférica
- d) Humedad
- e) Dirección y velocidad del viento
- f) Altura de las bases de las nubes
- g) Precipitaciones
- h) Evaporación

D.4) Observaciones de altitud

Para hacer observaciones de altura se utiliza el radiosondeo y consiste en lanzar a la atmósfera un globo lleno de hidrógeno el cual lleva adherida una radiosonda.

La radiosonda es un aparato que mide la humedad relativa, la presión atmosférica, la temperatura, la dirección y la velocidad de los vientos de los diferentes niveles de altura respecto a la superficie terrestre.

Con el radiosondeo se detectan con precisión los vientos máximos existentes en la atmósfera, la inversión térmica y el nivel de la tropopausa.

El radiosondeo es un gran aporte para la determinación del estado del tiempo, ya que con su perfecta interpretación se colabora a precisar el estado del tiempo prevaleciente durante las 24 horas del día se determina si va a llover, si el día estará nublado o despejado, si hay presencia de inversión térmica etc.

A continuación se anexa un radiosondeo realizado en la estación meteorológica ubicada en el aeropuerto internacional de la ciudad de México el día 26 de junio de 1997 a las 5:00 a.m.

D.5) Sondeo atmosférico realizado en la ciudad de México el día 26 de junio de 1997 a las 5:00 horas a.m.

Tiempo en min.	Altura en m.	Presión en mb	Temperatura en grados Celsius	Humedad relativa en %	Direcciones del viento en grados	Velocidad del viento en m/s
0.0	2234	783.7	15.2	81	0	0
0.10	2294	778.2	13.9	80	179	2.1
0.20	2354	772.7	13.5	82	178	2.9
0.30	2412	767.4	13.2	82	178	3.2
0.40	2469	762.2	12.9	81	179	3.3
0.50	2527	757.0	12.6	81	181	3.3
1.00	2586	751.7	12.2	81	184	3.2
1.10	2646	746.4	11.8	84	186	3.3
1.20	2705	741.1	11.5	85	191	3.4
1.30	2762	736.1	11.2	85	193	3.4
1.40	2824	730.7	10.7	84	194	3.4
1.50	2887	725.2	10.2	83	195	3.4
2.00	2950	719.7	9.8	81	195	3.4
2.10	3009	714.6	9.4	79	193	3.4
2.20	3068	709.6	9.1	79	188	3.3
2.30	3124	704.8	8.9	78	184	3.2
2.40	3185	699.6	8.6	77	183	3.1
2.50	3244	694.7	8.5	77	183	3.0
3.00	3302	689.8	8.0	78	181	2.9
3.10	3369	684.2	7.5	82	181	2.7
3.20	34.65	678.8	6.8	87	178	2.5
3.30	3502	673.3	6.2	92	178	2.4
3.40	3566	668.1	5.9	97	178	2.4
3.50	3632	662.7	5.7	98	178	2.3
4.00	3698	657.4	5.4	98	179	2.2
4.10	3766	652.0	5.1	98	178	2.2
4.20	3832	646.7	4.8	98	180	1.9
4.30	3896	641.7	4.4	98	180	1.8
4.40	3964	636.4	4.1	98	182	1.7
4.50	4033	631.0	3.7	98	186	1.7
5.00	4107	625.3	3.4	98	188	1.6
5.30	4317	609.3	2.3	98	202	1.6
6.00	4545	592.3	0.6	97	234	1.3
6.30	4692	581.6	-0.7	93	306	1.1
7.00	4847	570.5	-1.3	90	1	1.3
7.30	5006	559.1	-2.2	91	25	1.6
8.00	5157	548.6	-3.0	91	35	1.7

8.30	5318	537.6	-3.7	90	66	3.5
9.00	5493	525.8	-5.0	93	94	2.9
9.30	5649	515.5	-5.1	96	132	24
10.00	5808	505.1	-6.0	97	144	2.7
10.30	5976	494.4	-7.1	95	137	3.6
11.00	6148	483.7	-8.1	92	125	4.4
11.30	6311	473.6	-9.1	84	112	5.1
12.00	6458	464.7	-9.8	84	101	5.6
12.30	6601	456.1	-10.6	85	92	6.0
13.00	6742	447.9	-11.6	83	86	6.2
13.30	6876	440.1	-12.6	86	83	6.2
14.00	7007	432.6	-13.5	87	82	5.7
14.30	7148	424.7	-14.6	8/5	84	5.1
15.00	7285	417.0	-15.3	81	85	4.0
16.00	7537	403.3	-16.7	75	81	3.4
17.00	7780	390.4	-18.4	64	72	4.0
18.00	8025	377.8	-19.3	54	69	5.6
19.00	8308	363.7	-20.9	48	49	6.4
20.00	8642	347.5	-22.9	45	16	8.0
21.00	8945	333.4	-25.7	36	11	8.2
22.00	9218	321.0	-27.7	35	16	7.1
23.00	9520	307.7	-30.1	18	6	6.6
24.00	9795	296.0	-32.1	27	352	6.7
25.00	10062	285.0	-34.4	29	345	6.7
26.00	10335	274.0	-36.0	25	335	6.6
27.00	10608	263.4	-38.4	26	339	6.0
28.00	10863	253.8	-40.8	27	337	6.0
29.00	11125	244.2	-42.8	20	340	6.4
30.00	11390	234.7	-45.0	19	342	7.3
31.00	11661	225.3	-47.3	25	340	8.5
32.00	11942	215.9	-49.7	36	339	9.1
33.00	12201	207.5	-52.1	33	343	8.0
34.00	12467	199.1	-54.5	32	332	8.1
35.00	12729	191.0	-56.8	30	330	7.3
36.00	12986	183.4	-58.5	25	339	8.5
37.00	13254	175.7	-60.4	20	6	8.9
38.00	13531	168.1	-62.6	20	8	9.6
39.00	13814	160.5	-64.9	19	13	9.3
40.00	14120	152.6	-67.0	19	27	8.7
41.00	14438	144.7	-69.6	18	38	7.3
42.00	14735	137.6	-71.7	18	56	5.9
43.00	15015	131.2	-74.3	18	41	4.2
44.00	15285	125.2	-76.2	16	26	5.0
45.00	15556	119.5	-76.7	16	31	8.2
46.00	15849	113.5	-77.7	15	41	10.8
47.00	16130	108.1	-78.1	15	51	9.8
48.00	16397	103.1	-77.1	16	73	9.6
49.00	16657	98.6	-76.8	16	82	10.2

50.00	16941	93.8	-75.9	16	88	5.7
51.00	17234	89.2	-76.2	15	94	4.0
52.00	17525	84.8	-75.0	15	80	5.2
53.00	17814	80.7	-73.2	15	62	10.8
54.00	18071	77.2	-73.6	13	60	11.5
55.00	18330	73.9	-70.8	13	73	13.2
56.00	18633	70.3	-68.3	13	96	12.6
57.00	18936	66.8	-68.1	13	97	16.2
58.00	19216	63.8	-69.5	11	113	13.1
59.00	19503	60.8	-69.0	11	132	12.1
60.00	19826	57.6	-68.9	11	125	7.6
61.00	20196	54.1	-67.7	11	92	6.9
62.00	20545	51.1	-67.6	11	86	11.6
63.00	20840	48.6	-65.9	11	90	19.5
64.00	21115	46.5	-65.1	11	85	15.8
65.00	21445	44.0	-64.1	12	77	14.3
66.00	21802	41.5	-61.6	13	75	17.7
67.00	22129	39.4	-59.6	15	78	18.5
68.00	22458	37.4	-58.2	16	85	19.9
69.00	22801	35.4	-57.9	15	90	17.4
70.00	23158	33.5	-56.0	18	96	16.7
71.00	23510	31.7	-55.0	19	98	15.9
72.00	23848	30.0	-55.3	21	104	13.2
73.00	24177	28.5	-54.4	20	109	12.9
74.00	24542	27.0	-54.1	20	88	14.0
75.00	24896	25.5	-53.1	20	88	19.5
76.00	25255	24.1	-53.2	21	98	19.0
77.00	25597	22.9	-53.9	22	103	20.0
78.00	25939	21.7	-52.0	23	98	15.5
79.00	26262	20.7	-50.3	23	86	14.6
80.00	26607	19.6	-48.8	24	79	13.3
81.00	26992	18.5	-49.3	23	77	11.9
82.00	27369	17.4	-47.7	23	75	11.4
83.00	27741	16.5	-47.2	22	80	13.8
84.00	28115	15.6	-47.7	21	81	14.1
85.00	28494	14.7	-48.2	20	90	15.1
86.00	28856	13.9	-48.3	20	100	15.3
87.00	29172	13.3	-47.8	19	96	15.7

D.6) Fotografía de satélite

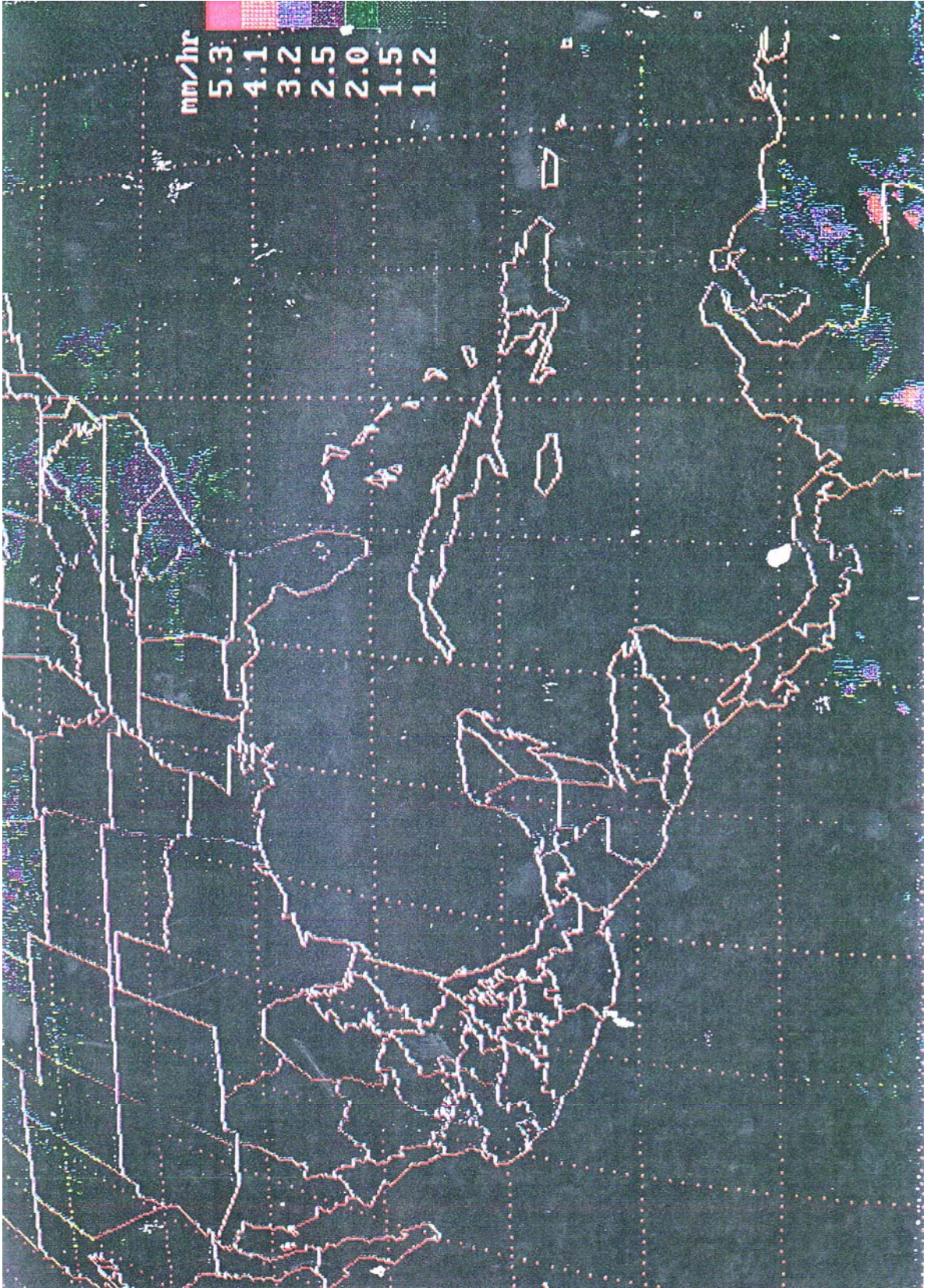
La fotografía de satélite es muy importante dentro de las observaciones atmosféricas.

La fotografía de satélite marca a nivel regional y local la presencia de la nubosidad, la insolación, la precipitación y la presencia de algún fenómeno atmosférico como un huracán o un ciclón dentro de una determinada zona.

Con la fotografía de satélite se puede observar la dimensión y trayectoria de un huracán y por tanto permite dar conocimiento a tiempo en las zonas

costeras donde puede tocar tierra y tomar a tiempo medidas pertinentes en la navegación aérea y marítima.

A continuación se anexa una fotografía de satélite del Territorio Nacional.



Habiendo hecho una descripción general de cómo se recopilan los datos atmosféricos a continuación se establece la aplicación del conocimiento de los procesos atmosféricos y la gran aplicación que tienen en el desarrollo y progreso de la humanidad.

El conocimiento de la medición y cuantificación de los procesos atmosféricos es muy importante para la planeación y desarrollo de cualquier pueblo o cualquier ciudad ya que con esta información se pueden hacer proyectos a corto, mediano y largo plazo de crecimiento y desarrollo económico.

D.7) Aplicación del conocimiento de los procesos atmosféricos en la erosión del suelo por la lluvia.

Se sabe que el suelo es uno de los elementos mas susceptibles a la degradación y a la erosión hídrica, de ahí que el mantener una estrategia de conservación resulte una acción necesaria para el sostenimiento de un uso de estos recursos. Esta estrategia deberá estar basada en un conocimiento a detalle de los factores que intervienen en los procesos degradatorios.

La acción erosiva de la lluvia depende de su energía cinética y ésta depende del diámetro de las gotas de lluvia y de la velocidad final de caída.

El tamaño de las gotas está relacionado con la intensidad del evento, cuando la intensidad aumenta, aumenta el tamaño de cada una de las gotas.

La velocidad terminal de un evento promedio se considera de 33 km/h y ésta puede variar con la temperatura ambiental.

Las primeras gotas son absorbidas por el suelo, pero llegado el momento de máxima intensidad, el horizonte superficial del suelo mostrará una infiltración mínima debido a la desintegración de los agregados que conforman la estructura, a consecuencia del salpicado.

El impacto de las gotas de lluvia es más erosivo cuando una delgada lámina de 1.5 veces el diámetro de gota está presente en la superficie y es relativamente no erosiva cuando esta lámina es de 3 veces el diámetro de gota o mayor.

Aun cuando el escurrimiento es parte del efecto de la lluvia se considera que la energía cinética de la lluvia es mayor que la energía cinética de la escorrentía aproximadamente unas 250 veces (Hudson 1980).

El estudio de la erosión del suelo por la acción de la lluvia, es muy importante ya que esta tiene un gran impacto en la agricultura y en la conservación de los suelos.

La erosión hídrica se da cuando la lluvia cae sobre la superficie y también se da cuando esta escurre después de haber caído.

D.8) Aplicación del conocimiento de los procesos atmosféricos en la actividad del viento

Existen muchas áreas potenciales de explotación del recurso eólico para determinar estas áreas potenciales de explotación del recurso eólico es necesario hacer una recopilación y un detallado análisis de los resultados obtenidos por parte del servicio meteorológico nacional en toda su red de estaciones meteorológicas, con la finalidad de usar este recurso eólico para bombear agua y generar energía eléctrica.

El estudio preliminar del viento realizado en el territorio nacional es de suma utilidad ya que permite delimitar áreas a nivel global donde es factible la explotación energética del viento.

En forma relativamente reciente se ha venido empleando esta fuente de energía para generar electricidad a través de la transmisión de movimiento mecánico a un generador de corriente eléctrica.

En la actualidad existen grandes centrales de generación en las que, a través de un gran número de aerogeneradores interconectados, se suministra energía eléctrica a las redes de transmisión del sistema eléctrico sustituyendo así a los energéticos convencionales tales como el combustóleo, carbón o gas natural.

D.9) Aplicación del conocimiento de los procesos atmosféricos en la influencia de las trayectorias ciclónicas en el régimen de lluvia en México

El 1986 se presentaron en el Océano Pacífico y Atlántico 21 perturbaciones atmosféricas de las cuales 15 corresponden al Océano Pacífico y sólo 6 al Atlántico, sin embargo, sólo 3 se introdujeron al país.

Las entidades más afectadas fueron: Sinaloa, Sonora, Veracruz, Guanajuato, Jalisco y Nayarit.

En general los daños a la agricultura de 1986, por inundaciones ocasionadas por perturbaciones ciclónicas y otros fenómenos meteorológicos como; vaguada polar, línea de confluencia, onda tropical.

Los ciclones traen destrucción en las costas del territorio nacional, pero también los daños de los efectos de las perturbaciones atmosféricas como huracanes o ciclones son de poca significación si se comparan con los beneficios derivado de la humedad de las lluvias ciclónicas básicas para regular el régimen pluvial.

En este caso los daños son provocados principalmente a la agricultura debido a las inundaciones provocadas por perturbaciones ciclónicas y otros fenómenos meteorológicos en este caso si bien algunas zonas del país sufren pérdidas extraordinarias por la furia de los huracanes los daños de éstos resultan

despreciables si se comparan con los enormes beneficios que los ciclones aportan con sus lluvias abundantes al espacio geográfico mexicano.

D.10) Aplicación del conocimiento de los procesos atmosféricos en la fluctuación del nivel freático

Las inundaciones de los terrenos agrícolas sean por avenidas, tormentas o sobre riego ocasionan un encharcamiento de la parte superior del suelo y elevación del nivel freático, lo cual repercute en disminución o pérdida total de la producción agrícola.

La presentación de las lecturas del nivel freático con respecto al tiempo se llaman hidrogramas de pozos de observación los cuales son importantes para evaluar las condiciones del agua superficial y proporciona la siguiente información.

- a) Velocidad de ascenso y descenso del nivel del agua.
- b) Profundidad de la capa de agua por debajo de la superficie del terreno revelando períodos del año crítico.
- c) En combinación con los componentes del balance del agua (precipitación riego, bombeo de pozos, evaporación), un hidrograma puede ayudar a comprender la causa de la variaciones de la capa de agua.
- d) Hidrogramas que cubren varios años, indican la tendencia del comportamiento del agua superficial y subterránea según Ridder (1973) establecida una red de pozos de observación. Las medidas de nivel freático debe ser durante algunos años incluyendo años secos y años húmedos; la comparación de los hidrogramas de los pozos de observación permiten distinguir diferentes grupos de pozos que muestran una respuesta similar al modelo de descarga y recarga de la zona.

La amplitud de la fluctuación del nivel del agua en los diversos pozos no necesariamente debe de ser la misma. Las zonas en las que se sitúan tales pozos pueden ser consideradas unidades hidrológicas.

Los excesos de lluvia dan una elevación del nivel freático. las diferencias anuales entre precipitación y evapotranspiración y su distribución a través del año causan diferencias anuales en las fluctuaciones del nivel freático y en el tiempo altos y bajos niveles del manto freático ocurren.

Así pues para considerar las fluctuaciones del nivel freático es muy importante tener varios pozos de observación.

Y se deben de cuantificar perfectamente los registros de precipitación y evaporación mensual anual y su importancia en la fluctuación del nivel freático, es prácticamente contundente para manejar la explotación de alguna zona hidrológica.

D.11) Aplicación del conocimiento de los procesos atmosféricos en el análisis del viento y su aplicación en el desarrollo económico de México.

Las siguientes actividades están íntimamente relacionadas con el viento:

- a) El turismo en toda la República
- b) La producción de sal en Guerrero Negro B.C.S.
- c) La obtención de fuentes alternas de energía.

Uno de los elementos determinantes para estas actividades lo es el viento, pues es base fundamental su conocimiento para aplicar los criterios adecuados y la obtención de mejores resultados para las inversiones propuestas.

Aunque bien es cierto que en toda actividad humana se tiene influencia de este elemento, por ejemplo, el aspecto urbano, o como sucede en la actualidad la combinación urbana industrial ya que un desarrollo depende del otro.

En caso de establecerse un conjunto urbano en las vecindades de una industria que despidе contaminantes, el humo y el material en suspensión serán transportados por el viento y depositados en la distancia dependiendo de:

- 1) Dirección y velocidad del viento
- 2) Periodicidad del mismo
- 3) El tamaño de las partículas en suspensión

Referente a las actividades turísticas, enfocándose a las costas, se hace necesario contar con estadísticas confiables, en caso de ser desarrollos de nueva creación dependerá del viento la construcción y diseño del puerto.

D.12) Aplicación del conocimiento de los procesos atmosféricos en la influencia de las cortinas rompevientos sobre el coeficiente de arrastre del viento.

El daño causado por fuertes vientos puede ser muy perjudicial para cultivos o suelos sometidos a procesos de erosión un método destinado a disminuir la velocidad del viento y por tanto su efecto perjudicial consiste en la utilización de cortinas rompevientos.

La efectividad de una cortina, es crear una zona de menor velocidad del viento a sotavento de la misma. puede ser determinada por la fuerza de arrastre que ejerce sobre el flujo del aire y por el déficit de cantidad de movimiento que dicha fuerza genera. Diferentes factores afectan la efectividad de una corriente

rompevientos entre ellos su forma, altura, porosidad, la estabilidad atmosférica y las características aerodinámicas del terreno.
Las cortinas rompevientos son una herramienta muy importante para la erosión del suelo debida a la actividad del viento.

Capitulo V

E). Objetivo e importancia económica del estudio ante el contexto económico del país.

E.1) México como cooperador de obtención de datos meteorológicos

México es un país que tiene una red de estaciones meteorológicas muy importante, prácticamente se sondea el espacio aéreo mexicano en la parte del pacífico, como en la parte del Golfo de México y en la parte continental.

La red de estaciones meteorológicas están distribuidas a lo largo de las costas enfocándolas principalmente a la detección de huracanes, tormentas tropicales y el pronóstico del estado del tiempo.

La información que ellas generan generalmente se utiliza en la navegación aérea y en la navegación marítima, enfocándolas principalmente a la prevención de desastres.

México es un país que está insertado en la organización mundial de meteorología (O.M.M.) la cual se encarga de regir las observaciones meteorológicas de altitud y las observaciones meteorológicas de superficie.

Las observaciones meteorológicas de altitud se realizan a las 5:00 a.m. hora meridiano de greenwich y a las 17:00 p.m. hora meridiano de greenwich en todo el planeta.

Las observaciones de superficie son horarias es decir se realizan cada hora.

Esta información se toma diariamente en estos espacios de tiempo y se están pasando todos los datos, prevalecientes durante el día, a la central de recopilación de datos.

Es obvio que esta información esté generando un archivo estadístico donde se puede disponer de datos actuales precisos de una determinada zona por tanto México es un cooperador de obtención de datos ante la (O.M.M).

E.2) Cómo utiliza México la información meteorológica

En lo que se refiere a la utilización de la información meteorológica en México se sabe que se enfoca a la prevención de desastres, a la navegación aérea y a la navegación marítima.

En el aspecto del combate a la erosión de suelos, tanto hídrica como eólica y un buen apoyo a la agricultura, no existe en el territorio mexicano, por parte de la meteorología.

El agricultor prácticamente está desprotegido de la información meteorológica carece de ella completamente, siembra sus cultivos a la buena de la naturaleza, es decir el agricultor siempre espera el temporal sin ninguna predicción y sin ningún control.

Afectando mucho a la productividad agrícola mexicana haciendo que México sea dependiente en productos agrícolas básicos debido a la falta de un buen encauzamiento y control de la información meteorológica y un buen programa de almacenamiento de aguas en presas.

Todo esto se puede hacer y llevar a cabo a nivel nacional. Este tipo de proyectos aunque requieran de mucha inversión inicialmente, a corto, mediano y largo plazo, traen un beneficio de incalculable valor promoviéndose el empleo y el arraigo de los habitantes de las zonas donde se instalaran dichos proyectos.

En los países desarrollados, sobre todo Estados Unidos cuenta con toda la información meteorológica existente en el planeta desde hace años, es obvio que su agricultura está desarrollada pero no pueden tener todos los productos agrícolas del planeta por tanto algunos productos los tienen que importar de otros países.

Utilizando la información meteorológica ellos previenen los productos agrícolas que van a carecer en un momento dado, considerando la meteorología del país que le provee por ejemplo, un producto agrícola determinado no va a tener cosechas óptimas y va haber una baja producción.

Ellos toman medidas anticipadas y las recomiendan a sus agricultores, por ejemplo, que zona del territorio de los estados Unidos va a tener condiciones favorables para la siembra de un producto dado para que sus agricultores lo siembren y cultiven en su mismo territorio.

Así la oferta y la demanda del producto agrícola dado permanece estable en el mercado, sin sufrir ninguna fluctuación permaneciendo los precios estables.

Situación que no sucede en México porque en ocasiones un producto no lo hay, o lo hay muy caro o en otras veces muy barato dependiendo del temporal, del estrago de la sequía o el efecto de las lluvias, permaneciendo siempre una gran fluctuación entre la oferta y la demanda existiendo un gran descontrol de precios en el mercado.

En los países que se han preocupado por tener una buena infraestructura de almacenamiento de agua en presas en las épocas de estiaje y de grandes sequías los campos agrícolas permanecen húmedos debido a su gran infraestructura en sistemas de riego y a su gran capacidad en almacenamiento de agua manteniendo los campos agrícolas productivos durante todo el año.

En México cae o se precipitan mucha agua. La cual así como cae en su mayoría se va al mar.

Existen muchos ríos que llevan el agua al mar sin utilización alguna sin existir un programa de almacenamiento serio inclusive algunas poblaciones o algunas ciudades importantes carecen de agua para su sustento en las épocas de sequía.

Es obvio que el agua está presente en el territorio mexicano y es mal aprovechada ocasionando grandes carencias en el territorio mexicano de este vital líquido.

Es impresionante ver bajar un gran caudal de agua por los ramales de una sierra y acumularse este caudal en una corriente principal y que toda esta agua vaya a parar al mar y por los poblados y ciudades por donde pasa esta corriente principal a mediados de la primavera carezca de agua.

México es un país inmensamente rico en recursos hídricos y cuenta con una red importante de estaciones meteorológicas en todo el territorio nacional, Pero

le es necesaria una fuerte infraestructura para un mejor aprovechamiento de estos recursos.

Se puede promover mucho la producción agrícola manejando y administrando bien el agua que proveen las lluvias. es posible llegar a la autosuficiencia alimentaria si existiera una buena organización en el campo en este aspecto.

Si se aprovechara bien el agua proveniente de la época de avenidas, el agua que traen consigo los huracanes y el agua de los nortes, de tal forma que se almacenara y se distribuyera racionalmente de una forma organizada, México sería un país con muchos excedentes agrícolas existiera más trabajo, más competitividad y más riqueza en el campo mexicano. Pero le es necesaria una buena planeación y un buen aprovechamiento de los recursos hidrológicos debido a un riguroso almacenamiento por medio de presas.

E.3) México ante el aprovechamiento de las aguas subterráneas

Las aguas subterráneas son un recurso muy importante para el abastecimiento del agua en el país.

Las aguas subterráneas proveen una gran cantidad de agua para el consumo humano para la agricultura, y para la industria.

México tiene una gran cantidad de cuencas hidrológicas donde se filtra una gran cantidad de agua subterránea la cual es aprovechada para abastecer agua en las grandes ciudades y en la industria.

Una gran cantidad de agua para usos domésticos, industriales y agrícolas se toma de las corrientes y de los lagos naturales o artificiales. Sin embargo, una gran parte del agua utilizada en los hogares e instalaciones industriales y una proporción todavía mayor de la que se emplea en la agricultura se obtiene de las capas profundas del suelo.

En México existen bastantes zonas áridas con problemas de abastecimiento de aguas.

El Ingeniero Geólogo se enfrenta con el agua subterránea cuando tiene que resolver problemas de abastecimiento de aguas.

El ingeniero Geólogo dispone de conocimientos de Geología tales como: litología, geología estructural, estratigrafía, topografía, sedimentología, etc.

Se ha hecho mucho énfasis en que el Ingeniero Geólogo utilice a la meteorología para tener mejores resultados en la búsqueda de aguas subterráneas en una determinada región.

En México generalmente se llevan a cabo proyectos de exploración cuando el problema de abastecimiento de agua está muy acentuado ya sea en una población o en una ciudad

Desde luego, México capta una gran cantidad de agua subterránea en sus cuencas pero no existe todavía un buen programa de explotación y racionalización de este recurso.

Se ha dicho que el ingeniero Geólogo debe de poseer conocimientos de geología y de meteorología para obtener buenos resultados se sabe que el uso del agua subterránea requiere de su descubrimiento y por tanto su explotación y exploración.

El reconocimiento geológico de un área suele bastar para obtener una idea adecuada de las condiciones del agua subterránea, si por ejemplo un terreno

esta relativamente nivelado y se ven en las zonas pantanosas o lagunas, es casi seguro que puede encontrarse un manto freático.

La mayoría de las ciudades de la República Mexicana hacen uso de las aguas subterráneas para su abastecimiento.

En algunas épocas del año estas ciudades padecen de falta de abastecimiento de agua en una forma consecutiva y periódica. Desde luego se toman decisiones cuando los problemas de falta de agua se acentúan demasiado y se toman decisiones precipitadas para darle una salida rápida al problema. Pudiéndose prevenir el problema de manera ordenada llevándose a cabo programas de exploración y explotación adecuados para corregir el problema oportunamente, es obvio que para corregir este asunto, es muy importante disponer de información meteorológica y geológica oportuna para cuantificar debidamente las reservas disponibles de aguas subterráneas y las necesidades de consumo en una determinada zona y evitar problemas de falta de abastecimiento de agua.

Capítulo VI

F). Expectativas

F.1) El cambio de clima

El clima terrestre ha sido siempre idéntico; han ocurrido cambios significativos incluso en los tiempos históricos, aunque ligeros en comparación con los acaecidos durante los millones de años de la vida del planeta. El problema de los científicos ha sido establecer cómo han tenido lugar estos cambios. Algunos pueden expresarse por alteraciones geográficas debido a la Deriva Continental, pero estos grandes movimientos no explican las variaciones habidas en el lapso comparativamente corto de unos cientos o miles de años. Los cambios ¿son de la tierra o del sol? El problema es que hay muchos aspectos a considerar: ciclos de las manchas solares, erupciones volcánicas, alteraciones en el campo magnético o en el ángulo de la órbita terrestre, y todos ellos son posibles factores de cambio.

Las condiciones que han persistido durante los cinco millones de años o más, durante los que ha emergido el género humano como una especie inteligente, son en realidad notablemente anormales. La faz de nuestro planeta está cambiando constantemente a medida que los continentes flotan sobre la superficie del globo: la geografía ha sido crucial en la producción de los climas terrestres. Los períodos glaciares separados por los interglaciales, ligeramente más cálidos, actualmente se vive en un interglacial; estos períodos han contribuido directamente a la evolución humana en los últimos millones de años.

Es normal tener casquetes de hielo en los polos, sin embargo durante la historia de nuestro planeta (4500 millones de años) la existencia de tan solo un casquete polar ha sido un raro y breve acontecimiento. La razón es simple: la mayor parte de nuestro planeta está cubierto de agua, y el agua caliente es muy eficaz transportando el calor de los trópicos a los polos. Por regla general el agua caliente tropical ha mantenido los polos libres de hielo, pero ocasionalmente un continente como la Antártida hoy bloquea esta circulación.

En el transcurso de su lento desplazamiento, un continente puede situarse durante millones de años en uno de los polos bloqueando la circulación del agua tropical, caliente y propiciando el desarrollo de un casquete helado.

Es incluso más raro, un grupo de continentes que pueden amontonarse en una posición determinada rodeando a uno de los polos, bloqueando el flujo de agua y dejando que se congele un mar polar cercado por tierra. Esto ha sucedido en el Ártico, donde las aguas cálidas de las corrientes del golfo están herméticamente aisladas de la cuenca ártica por Groenlandia e Islandia. De esta forma hoy por primera vez en la historia de nuestro planeta se tienen dos casquetes de hielo en los polos esto no ha sucedido nunca antes y quizá no vuelva a suceder nunca más; la geografía adecuada para que se desarrolle aunque sólo sea un casquete polar acontece únicamente durante cinco o diez millones de años cada 300 millones de años más o menos, lo que constituye menos del 10% del tiempo .

La presencia de casquetes polares congelados a ambos extremos de la tierra es una combinación realmente rara y extraordinaria. Sin embargo, es esta combinación el factor dominante en la determinación de los actuales modelos meteorológicos y climáticos, las regiones tropicales calientes, los fríos polos, un flujo de aire de las unas a los otros y viceversa, al menos en el hemisferio norte; tierra donde puede caer la nieve y cuajar cuando las condiciones son adecuadas.

En consecuencia, en los últimos millones de años, la tierra ha estado sometida a cambios muy pequeños en el balance de radiación que llega desde el sol hasta la superficie.

Actualmente se estaría viviendo una época glacial completa, si no fuese por el hecho de que todas las variables que influyen en el clima han conspirado para caldear la tierra, y este período interglacial, el intervalo comparativamente templado entre los periodos glaciales, establecido durante los últimos 10, 000 años. El modelo persistirá hasta que cambie la geografía, dentro de 50 millones de años, el Atlántico norte se habrá dilatado tanto (actualmente Norteamérica y Europa se están separando a un ritmo de 2 centímetros cada año) que el agua caliente entrará en el Ártico y los calentará, destruyendo el modelo climático, pero en lo que concierne puede considerarse permanente teniendo en cuenta que el actual período interglacial está quizás a tan solo 1,000 años.

A continuación la figura 61 representa los siguientes períodos glaciales.

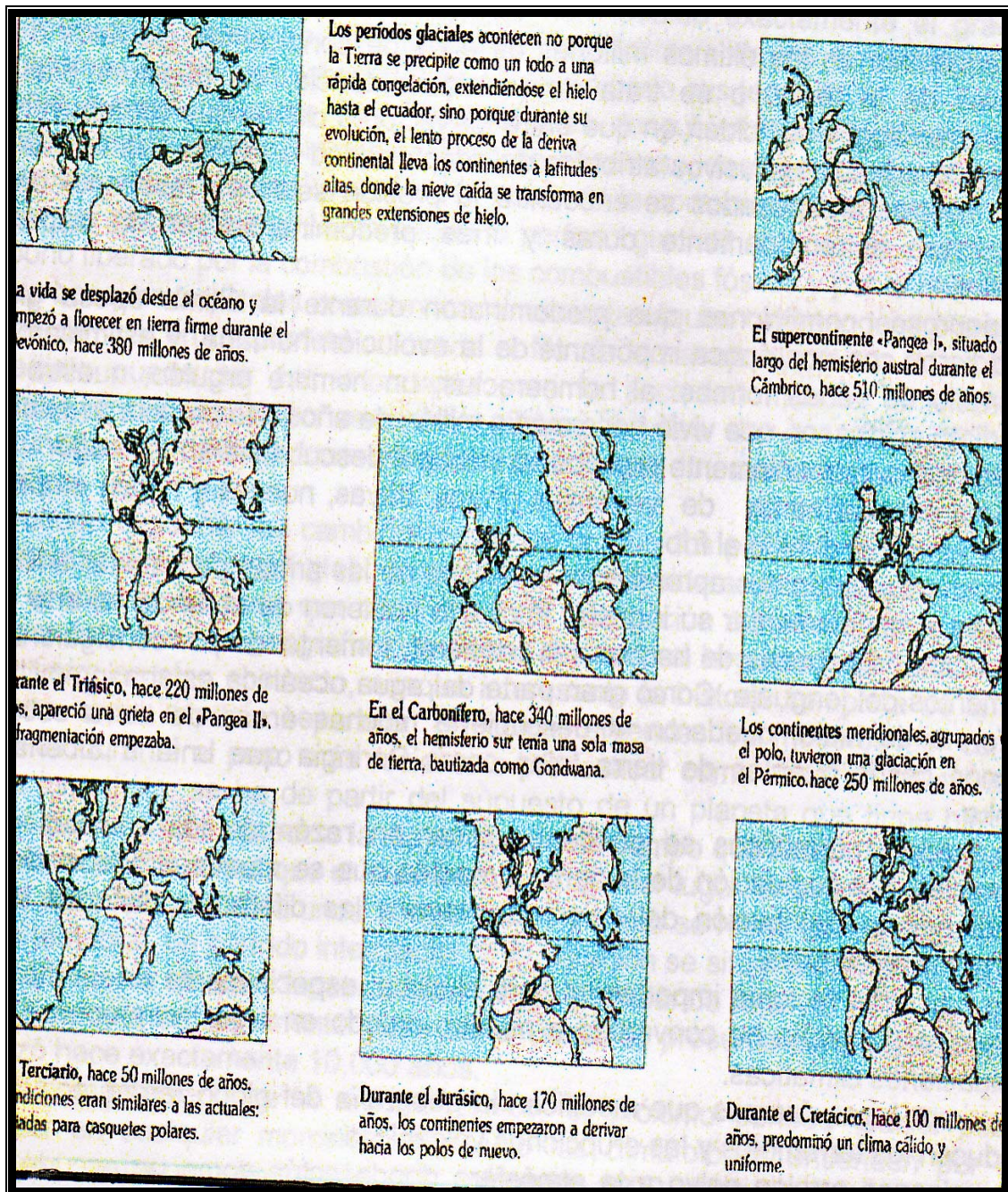


Figura 61. Períodos glaciales.
(Fuente: El Libro del Clima 1982 R. Hardy)

F.2) Causas del cambio climático

Está contenida en los últimos millones de años de condiciones glaciales o casi glaciales de la tierra, o se trata de una coincidencia, en nuestros días los paleoantropólogos coinciden en que entre los factores claves que contribuyeron

a la aparición de los exclusivos atributos de adaptabilidad e inteligencia tan valiosa para nuestros antepasados se encuentra la presión selectiva resultante de las condiciones extremadamente duras y frías predominantes en la superficie terrestre.

Las rigurosas condiciones que predominaron durante la última época glacial coincidieron con una época importante de la evolución humana, y estimularon su desarrollo de varias formas: al homo erectus, un hombre erguido, nuestro más inmediato antecesor, que vivió hace medio millón de años. No parecía asustarle el frío de hecho, probablemente provocó su principal descubrimiento, el fuego.

La dieta esencialmente de vegetales (frutos, bayas, nueces y hojas) empezó a no ser funcional debido al frío.

Los primeros homínidos aprendieron a servirse de las armas para matar animales salvajes y complementar su ingesta. Para ello hubieron de aprender el arte de la fabricación de cabezas de hachas y a cooperar, fomentando por consiguiente los rudimentos del lenguaje. Como gran parte del agua oceánica estaba inmovilizada en forma de hielo, quedaron al descubierto muchas áreas de tierra seca, en algunos casos puentes de tierra tales como Beringia que unía a Siberia con Alaska.

Los modelos climáticos se pueden explicar en razón de los cambios en la inclinación y la fluctuación de la tierra a medida que se mueve alrededor del sol, cambiando la distribución del calor que llega a las diferentes latitudes en las diferentes estaciones.

Pero hay otros factores importantes para el clima, especialmente en un momento en que la geografía ha convertido a nuestro mundo en algo tan propenso a las fluctuaciones climáticas.

En primer lugar, fuerzas que modifican la geografía del globo terráqueo también producen los terremotos y las erupciones volcánicas.

Los volcanes arrojan polvo a la atmósfera donde actúa como un escudo solar, bloqueando el calor que llega del sol y empujando a la tierra hacia un breve periodo glacial. Durante la mayor parte del siglo XX los volcanes terrestres han permanecido anormalmente tranquilos, pero entre 1960 y los primeros años 80 muchos entraron en actividad. ¿podría ser esto el presagio de un ciclo de actividad volcánica que enfríe el globo en las épocas venideras?

En segundo lugar, durante la primer mitad de 1980 se obtuvo la prueba, para el asombro no disimulado de muchos astrónomos, de que el propio sol varía, entre 1976 y 1979 la energía suministrada por el sol se incrementó en un 0.4 % durante la fase de mayor actividad de las manchas solares actuales.

Los climatológicos habían notado ya que el siglo XVII, un periodo de encarnizado frío, cuando el río Támesis, en Inglaterra, se congeló durante muchos inviernos, coincidió con una ausencia total de las oscuras manchas características de la superficie solar, sugirieron que el sol podía estar en 1% más frío cuando no ostentaba manchas.

Actualmente los cohetes y los satélites han medido exactamente el grado de variación solar necesario para encajar en la hipótesis de los climatólogos y los astrónomos se han visto obligados a tomar en serio sus teorías.

¿Cómo pueden utilizarse estas fluctuaciones descubiertas para pronosticar los cambios climáticos posibles en el curso de nuestras vidas? ¿de que modo influye el hombre sobre el clima? ¿actuará el polvo de la contaminación como un volcán humano y acelerará el próximo pequeño período glacial? o ¿actuará

el dióxido de carbono liberado por la combustión de los combustibles fósiles y por la destrucción de los bosques tropicales como un manto circunterráneo calentando el planeta?

Se ha de vivir en un planeta colocado al filo de la navaja climática; en un futuro inmediato puede ser tan importante para la sociedad mundial entender los cambios climáticos como encontrar nuevas fuentes de energía y alimento, afortunadamente parece que si se han descubierto los mecanismos del cambio climático.

Se pueden desdeñar los cambios climáticos producidos por el movimiento de los continentes alrededor del globo terráqueo si se considera un período significativo para el hombre. Se tiene que convivir con la distribución actual de tierras y mares y el que ésta sea una geografía inusual con respecto al largo período de la historia de la tierra en algo abstracto, aunque interesante la historia completa de la raza humana como especie separada. Se quiere entender los modelos del cambio climático durante el paso más reciente o pronosticar como variará el clima en el futuro inmediato, se ha de partir del supuesto de un planeta que tiene hielo en ambos polos, a este respecto la mayor escala de tiempo que resulta trascendente, es el ritmo cíclico con el que el hielo avanza en primer lugar, originando un período glacial completo que dura unos 100,000 años y luego se retira, dando lugar a una calma temporal, un período interglacial cuya duración se sitúa alrededor de 10,000 años. El interés de tales lapsos puede seguir pareciendo relativo, pero un hecho específico apunta claramente hacia estos ciclos. El presente período interglacial empezó hace exactamente 10,000 años.

Si sigue manteniéndose el modelo cíclico, el próximo período glacial podría empezar en cualquier momento, e incluso los climatólogos entienden por ello cualquier momento dentro de los próximos 1000 años, sigue siendo una posibilidad escalofriante, que le confiere un aspecto mucho más significativo a la tarea global del estudio climático.

F.3) Ritmos de la geometría tierra-sol.

¿Qué es lo que origina este ritmo básico de variación climática? Durante los 70's tuvo lugar la combinación de una serie de circunstancias que confirmaron que la fuerza directriz de este modelo es la forma en que se cambia la órbita terrestre alrededor del sol. Su ligera excentricidad hace variar el calor recibido a diferentes latitudes en las diferentes estaciones. Esta hipótesis sobre el origen de los períodos glaciales la propuso un astrónomo yugoslavo llamado Milankovitch en los años 30 en realidad, la idea básica es bastante más vieja y entre sus primeros defensores se encuentra Alfred Wegener, mejor conocido hoy día como uno de los fundadores del concepto de la Deriva Continental; por razones de peso, sin embargo, el modelo Milankovitch ha permanecido sin comprobar hasta hace muy poco.

La teoría en si misma es muy simple: tres cambios cíclicos en los movimientos de la tierra separados especialmente se combinan para producir los cambios climáticos globales en el patrón de radiación solar que incide sobre la tierra. Permanece inmodificada la cantidad de calor que llega hasta el sol a lo largo del año (a menos que cambie la energía suministrada por el propio sol) pero se altera su distribución produciendo por ejemplo, veranos calurosos con inviernos

muy fríos, o veranos fríos e inviernos relativamente suaves. Resulta pues, que una de las claves de los períodos glaciales es un modelo de veranos y otoños fríos en el hemisferio norte que no permite que la nieve invernal se derrita antes de que la del próximo invierno caiga sobre ella.

La órbita circunsolar de la tierra cambia con una periodicidad de 90,000 a 100,000 años, alargándose desde una forma circular a una más elíptica y vuelta a empezar. Cuando la órbita es circular, la distribución del calor durante el año es uniforme; cuando es elíptica, la tierra está más próxima al sol y por tanto, más caliente en algunos momentos del año. Esto puede paliar el frío del invierno o intensificar el calor del verano.

El polo que apunta hacia el sol recibe más calor, mientras que el polo opuesto recibe menos; éste es el porqué de que existan estaciones. Pero el grado de esta inclinación varía al oscilar la tierra arriba y abajo con un ritmo de unos 40,000 años.

Cuando la inclinación es más pronunciada, hay fuertes cambios estacionales en el curso del año; cuando la tierra está más derecha, hay mucho menos diferencia entre los veranos y los inviernos, finalmente la atracción gravitacional que ejercen el sol y la luna sobre las prominentes regiones ecuatoriales de nuestro planeta, hace que éste se tambalee como una peonza según un período de 26,000 años.

El efecto combinado de todos estos ritmos produce un cambio completo de la distribución del calor en las diferentes regiones del globo en distintos momentos del año. El modelo es complicado, motivo por el cual ha necesitado tanto tiempo en confirmar que la historia del clima sobre la tierra se ajusta realmente a un patrón, patrón que muestra dos notables características: temporadas muy frías, o períodos glaciales con una duración de alrededor de 100,000 años, separados por intervalos menos fríos, interglaciales, de alrededor de 10,000 años.

Es sencillo como funciona el modelo pero mucho más difícil hacer los cálculos precisos para evaluar correctamente la teoría. En el hemisferio norte hay mucha tierra alrededor del congelado mar polar: la nieve caída en el invierno cuajará sobre la tierra fría. Si los veranos son fríos, la nieve persistirá hasta el próximo invierno, añadiéndose cada año una nueva capa a lo que se ha transformado en un casquete polar en crecimiento, de hecho esto es un punto de vista bastante limitado, basado en la experiencia diaria de un período interglacial, es mucho más realista volver al argumento inicial. Dada la geografía actual del hemisferio norte, la única manera de detener el desarrollo de un período glacial es contar con que todos los factores orbitales actúan conjuntamente para producir veranos anormalmente calurosos que derritan la nieve invernal y permitan la persistencia del presente período interglacial. Puesto que los campos de blanca y brillante nieve reflejan gran parte del calor, los períodos interglaciales son raros. Una vez establecido uno puede persistir durante cierto tiempo, ya que el suelo no cubierto de nieve, más oscuro, absorbe el calor que llega del sol y ayuda a mantener la nieve pero hoy se ha alcanzado un estado en el que, si la nieve volviese a cubrir un área extensa del hemisferio norte, el calor solar sería demasiado débil para derretirla de nuevo.

Muchos climatólogos son todavía reacios a admitir que ello significaría un nuevo período glacial que empezaría en el espacio de un invierno, pero los períodos glaciales parecen tardar unos pocos años en establecerse, empezando abruptamente a no derretirse la nieve invernal, en lugar de hacerlo

lentamente durante miles de años a causa de glaciales provenientes de los polos, por lo tanto, una racha persistentes de malos inviernos a lo largo de unas pocas décadas podrá iniciar el principio de la próxima época glacial.

Pero ¿qué hay en el hemisferio sur? Sin duda allí las estaciones son opuestas, de modo que los fríos veranos del norte se corresponde con los duros inviernos australes, seguidos de veranos suaves que licuan la nieve. Ello no se sigue necesariamente de la diferente geografía. Alrededor del polo sur hay una gran masa de tierra cubierta siempre de hielo y nieve: la Antártida, el continente polar, ésta rodeado de mar; la nieve que caiga sobre él probablemente se derretirá. No importa que los veranos sean fríos o cálidos porque de cualquier manera no hay campos nevados que hayan de derretirse. Un factor vital en el sur es el hielo, cuanto más haya, más reflejará su brillante superficie el calor procedente del sol y más fría se mantendrá la región, si tuviese lugar una serie de inviernos duros, las grandes cantidades de agua marina se congelarían dando lugar a un casquete polar en crecimiento.

Debido a lo insólito de la geografía actual con un mar polar cercado por tierra y polo ocupado por un continente, el mismo modelo de variaciones orbitales que produce los suaves veranos en el hemisferio norte causará también inviernos duros en el hemisferio sur.

Hasta la mitad de los años setenta no se realizaron los cálculos confirmatorios de que hay suficiente variación en la cantidad de calor que reciben las latitudes altas en las diferentes estaciones como para producir el modelo de períodos glaciales e interglaciales, no importa lo que la teoría dijese, nadie estaba dispuesto a aceptar el modelo de Milankovitch hasta que se hizo patente como encajaba perfectamente con las fluctuaciones climáticas actuales, esto implica que es necesario un registro fidedigno de la forma en que ha fluctuado la temperatura sobre la tierra, durante al menos el ciclo de los últimos 150,000 años o mas, el punto de inflexión se produjo en 1976, a partir del análisis de los restos de criaturas marinas fosilizados extraídas del fondo del océano Antártico gracias a las operaciones de perforación efectuadas desde una embarcación especial de investigación. Los caparzones de estos diminutos animales marinos caen al fondo cuando mueren, constituyendo con el transcurso de millones de años, una roca desmenuzable conocida como creta. La creta es básicamente carbonato de calcio rico en oxígeno que los paleoclimatólogos utilizan para determinar las antiguas temperaturas de la tierra.

Esto se basa en el hecho de que hay dos clases de oxígeno en el aire que respiramos, el oxígeno 16 y el oxígeno 18, el oxígeno 18 es ligeramente mas pesado que el 16 y como resultado las moléculas de agua que contengan oxígeno 18 no se evaporan del mar tan fácilmente como las del oxígeno 16. Algunas de las moléculas presentes en el aire se incorporan en el ciclo del agua y con el tiempo quedan atrapadas en las capas de hielo durante los períodos glaciales. Cuando el tiempo es más frío las moléculas más pesadas de oxígeno 18 tienen que quedarse en el mar sin evaporarse y las moléculas de agua de oxígeno 16 tienden a ser las que quedan encerradas en dichas capas.

Midiendo la proporción de los dos tipos de isótopos en los sedimentos cavados del fondo del mar, los climatólogos pueden deducir la temperatura de tiempos remotos. Para clarificar exactamente en qué momento ocurrieron los cambios de temperatura, se les atribuye una fecha exacta a los restos fósiles.

En 1976 un equipo del Lamont-Doherty Geológica Observatorio de Nueva York realizó un análisis de las fluctuaciones térmicas habidas durante los últimos 500,000 años. Tiempo suficiente para evaluar hasta los ciclos más largos de periodos interglaciales interrumpidos por las épocas glaciales, encontraron exactamente lo que pronostica el modelo de Milankovitch: un ciclo de 100,000 años, modulado por ciclos más cortos de entre 42,000 años y 24,000 años. De estos resultados se deduce que dada la actual geografía del planeta, cualquier cambio en la geografía orbital de la tierra sería la causa fundamental de los períodos glaciales.

Desde esta perspectiva puede entenderse nuestro actual período interglacial: se inició cuando la órbita de la tierra era más circular, coincidió con un cambio en el “tambaleo” de la tierra que hizo de junio el mes de mayor proximidad del sol, fomentando el calor de los veranos septentrionales y derritiendo los casquetes de hielo presentes durante 100,000 años, al mismo tiempo se hizo máxima la inclinación de la tierra colocando al sol encima en verano e incrementando el calentamiento, aunque el máximo calor estival se alcanzó hace 6,000 años. Desde entonces todos estos factores están retrocediendo, se hacen menos favorables. La inclinación está disminuyendo enfriando los veranos y calentando los inviernos. Los cambios orbitales trabajan en contra nuestra: lentamente se modifica el mes de mayor proximidad al sol. El fin del actual período interglacial es evidente.

F.4) Modelos climáticos recientes

las fluctuaciones climáticas a menor escala, son los cambios que acontecen en lapsos de miles, cientos o décadas de años, dentro del actual periodo interglacial y durante los tiempos históricos.

La fase de glaciación más reciente la última, pero no el último período glacial finalizó hace aproximadamente 10,000 años.

Desde entonces han habido 4 épocas climáticas principales, identificadas por los cambios climáticos, las proporciones de isótopos (como los que esclarecieron los ciclos Milankovich) y los restos de especies vivientes. Por ejemplo, los granos de polen de los árboles se depositan y conservan en muchos sedimentos incluyendo lodos lacustres.

Cada año el lodo indica qué especies de árboles, flores o hierbas predominan alrededor de las orillas del lago y cuando cambia el clima, cambian con el las especies vecinas. Hoy día un climatólogo puede extraer una muestra de lodo del fondo del lago y analizar las distintas capas de polen para determinar los cambios climáticos. Éstas y otras técnicas proporcionan una buena guía para conocer el clima a todo largo del presente interglacial. El registro es más detallado y completo cuanto más se acerque a la actualidad; de los últimos cientos de años se tienen medidas directas de la temperatura y las precipitaciones.

Desde hace 18,000 años la tierra empezó a salir del período glacial gracias a una combinación de factores orbitales, aunque el periodo interglacial propiamente dicho no comenzó hasta hace unos 10,000 años. Conociendo el modelo de Milankovitch, resulta evidente hoy día que solo los veranos septentrionales mas cálidos detienen los períodos glaciales, siempre y cuando los continentes estén ordenados en su actual posición geográfica; no es sorprendente, por tanto, descubrir que el período mas cálido de todo el período

interglacial se produjera justo después de derretirse el hielo y alcanzase su máximo hace entre 7,000 y 5,000 años.

Durante la edad de hierro hubo una época más fría cuya dureza alcanzó su clímax hace alrededor de 2900 y 2300 años seguidos de un óptimo climático secundario que culminó al principio de la edad media, aproximadamente entre los años 1000 y 1200 después de Cristo. Desde entonces se está experimentando la pequeña época glacial, una vuelta a las duras condiciones durante el siglo XVII y que puede no haber terminado todavía. El modelo consiste en olas de calor relativo frío, siendo cada intervalo cálido un poco más frío que el anterior y cada período frío más duro que el precedente, hasta que en cuestión de uno o dos ciclos se puede esperar un intervalo tan riguroso que inicie la época glacial propiamente dicha.

Probablemente sea distinta la combinación exacta de las causas que producen cada uno de estos períodos, pero sin duda han sido importantes la cantidad de polvo depositado en la atmósfera por los volcanes, los cambios en la actividad del sol y los cambios en el campo magnético de la tierra.

Durante los períodos postglaciales, más cálidos, el nivel del mar superaba en unos 3 metros al de hoy.

Las temperaturas estivales en Europa eran como media 2 o 3 grados centígrados más altas que las correspondientes de hoy, en la época fría, durante la edad de hierro, la temperatura era inferior a la actual, pero las técnicas paleoclimáticas han revelado que hubo un gran aumento de precipitaciones a través de toda Europa, desde Irlanda hasta Alemania y más allá, los bosques Rusos se extendían mas al sur y la región mediterránea era más seca que en la época cálida, pero mas húmeda que hoy. Para el período del óptimo secundario hay datos históricos fiables, a medida que se derretía la banquiza Ártica de hielo se abrieron nuevas rutas para los viajeros escandinavos, quienes colonizaron Islandia y Groenlandia y visitaron Norteamérica, en la Europa occidental y central los viñedos se extendían de 3 a 5 grados de latitud más al norte que hoy, lo que significa que las temperaturas deben haber sido aproximadamente 1 grado centígrado mas altas que las consideradas normales en la actualidad.

En el pasado milenio la Deriva Continental no tuvo nada que ver con el cambio del clima y los ciclos de Milankovitch sólo han tenido tiempo para inclinar una mínima distancia hacia el próximo período glacial. Una razón por la que el clima varía de siglo en siglo es sencillamente que el tiempo existente sobre la tierra es un sistema tan sutilmente equilibrado que las simples fuerzas aleatorias de la casualidad fuerzan las variaciones; de la misma forma que un día está brillante y soleado en una localidad otro día puede estar nublado y lloviendo.

Ciertos climatólogos creen que con esta simple aclaración se explica la diferencia entre el pequeño período glacial del siglo XVII y el calor suave de los años 40, pero para predecir el clima en los próximos 50 años se deben tomar en cuenta los detalles de las 2 o 3 ideas mas bien encaminadas a explicar el cambio del clima más que dar por sentado que se deben sencillamente a las fuerzas ciegas de la casualidad. Parece más probable que sea más que un proceso el responsable y que las fluctuaciones del clima representen una derivación del punto de equilibrio entre varias fuerzas, que pueden estar sincronizadas o enfrentadas; algo semejante a la interacción de los ciclos del modelo Milankovitch.

Hay 3 principales candidatos naturales implicados en esta contienda. La primera posibilidad que obviamente afectaría al clima sobre la tierra es una variación de la cantidad de calor liberada por el propio sol.

La segunda igualmente aceptable, es que los cambios en la atmósfera de la tierra influyan en su transparencia, de forma que incluso aunque llegue la misma cantidad de calor al exterior de la atmósfera, podría variar la cantidad que alcanzará el suelo.

La tercera posibilidad establecida más recientemente y más difícil de entender, es que los cambios en el campo magnético de la tierra influyan sobre el clima.

Además de estos 3 factores hay en pugna otros 2, originados por las actividades humanas, en particular durante el siglo XX: como resultado de la combustión de

los combustibles fósiles aumenta la cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera.

Esto se acentúa por la tendencia cada vez mayor de quemar los árboles como combustible o para obtener claros agrícola y forestalmente aprovechables; el carbono almacenado en sus troncos se convierte en dióxido de carbono atmosférico.

F.5) Transparencia atmosférica

Está claro que el sol varía a través de los siglos, aunque está lejos de ser tan claro si estas variaciones afectan su temperatura. A lo largo de un ciclo de aproximadamente 11 años el sol cambia de aspecto; pasa de no tener casi ningún rasgo característico, a estar moteado de manchas negras, para volver luego a su estado inicial, éste se llama ciclo de las manchas solares y aunque éstas eran conocidas ya por los astrónomos chinos y los antiguos griegos, su descubrimiento por Galileo marca el comienzo del interés astronómico moderno.

Los astrónomos saben ahora que las manchas son sólo un síntoma de cambios mucho más fundamentales en el nivel global de la actividad solar. Cuando hay más manchas, el sol es más activo y el haz de partículas enviado a través del espacio, forma el viento solar de rayos cósmicos que sopla fuerte e impetuoso. Cuando hay pocas, el sol está tranquilo y el viento solar es más suave, además del ciclo regular de manchas solares propiamente dicho hay un modelo a plazo más largo, a veces hay relativamente pocas manchas, incluso en el año de mayor número de manchas. Se ha sugerido que en las décadas en las que el sol está en una fase de tranquilidad general, cuando incluso la máxima actividad alcanzada por las manchas solares es relativamente baja, la tierra se enfría.

La mejor prueba de esto proviene del propio pequeño período glacial, que coincidió con el período más tranquilo de la actividad solar observado desde que se empezó a registrar el ciclo de las manchas solares por primera vez. Esto podía ser una coincidencia pero las observaciones posteriores que demostraron como desde 1800 a 1820, cuando el frío volvió, el sol estaba de nuevo relativamente tranquilo y proporcionaron una prueba más sustancial, en la mitad del siglo XX, cuando las temperaturas eran anormalmente altas, el sol pasaba por una fase de actividad intensa.

Los astrónomos y los meteorólogos han precisado la correlación desde hace dos mil años, utilizando una serie de técnicas que incluyen los viejos registros chinos y la forma en que las partículas de rayos cósmicos del viento solar

generan carbono 14 radiactivo en la atmósfera. Permanece la relación según la cual, cuando el sol está menos activo, la tierra está más fría, quizá el propio sol está más frío cuando menos activo o quizá es menos activo porque está más frío. La última prueba sugiere que la actividad variable del sol influye sobre la transparencia de la atmósfera a través de la influencia del viento solar. Esta última posibilidad surgió de una serie de estudios realizados a finales de los 70. La prueba más convincente procede de una serie de globos aerostáticos lanzados por los científicos soviéticos en los 70's. Enviaron bastantes instrumentos 30 Km por encima del suelo. Para inspeccionar las manchas solares sin interferencia atmosférica, sus primeros resultados publicados en 1970 parecían confirmar que el calor del sol varía de acuerdo con la actividad de las manchas solares, sin embargo a principio de los años 70's se fue descubriendo gradualmente que las pruebas con bombas nucleares afectan a esta clase de medidas. Los óxidos de nitrógeno producidos por la bola de fuego de una explosión nuclear se elevan tan alto en la atmósfera que influyen en su transparencia, incluso en las delgadas capas por encima de los 30 Km. En 1961 y 1962, las superpotencias hicieron explotar más de 300 megatonnes de explosivos nucleares. En replica, el mismo equipo soviético reanalizó sus datos del globo aerostático y en 1979 llegó a una conclusión diferente. Los datos demostraron una reducción del 2.5 % en la cantidad de calor solar que penetra la atmósfera inferior debido a que los óxidos de nitrógeno producidos por los explosivos, absorbían radiación en las capas estratosféricas altas. El efecto general era que la estratosfera se calentaba mientras que el suelo se estaba enfriando. ahora esto parece que ésta puede ser la explicación del porque el invierno de 1962 y 1963, el peor del siglo en el hemisferio norte resultó ser tan duro.

Fue éste un descubrimiento dramático, que invirtió completamente el abandono por parte de los meteorólogos tradicionales de la idea de que la bomba causa mal tiempo. También explica el porqué de las bajas temperaturas cuando el sol está inactivo.

La tierra además de ser regada con partículas procedentes del sol, es bombardeada con vigorosas partículas o rayos cósmicos intergalácticos. Un efecto de éstos es fomentar la formación de óxidos de nitrógeno en la atmósfera. Si los óxidos de nitrógeno bloquean el calor solar como sugiere el estudio ruso, entonces la tierra debería estar fría cuando el sol está calmado, puesto que no puede protegerse de los rayos cósmicos galácticos cuando el viento solar es débil. En lo que se refiere a la temperatura del suelo, el efecto seguirá siendo equivalente a un cambio en la producción de calor del sol. Esto podría explicar los resultados de otros estudios llevados a cabo al final de los años 70 por Stephen Schneider y Clifford Mass del centro nacional de los Estados Unidos para la investigación atmosférica. Estos investigadores supieron que el calor recibido del sol cuando hay manchas solares es el 2 % menos que cuando el número de manchas solares mensuales está entre 80 y 100. Como estaban interesados en los efectos a largo plazo, que acontecen a lo largo de varios siglos, más que en décadas, se concentraron sólo en los cambios generales de temperatura de la superficie terrestre.

Los sistemas atmosféricos no pueden responder inmediatamente a un cambio en la producción del sol ya que los océanos almacenan calor y por tanto, recuerdan el clima promedio de los pocos últimos años: ello significa que los datos dan una gráfica más espigada, con un ciclo irreal de 11 años, de la

tendencia real de la temperatura. Pero el equipo americano, además de analizar la variación en el número de manchas solares desde 1600, también tuvo en cuenta una valoración de la cantidad de polvo incorporado en la atmósfera cada año debido a las erupciones volcánicas (como la del Krakatoa en 1883 o la del Monte Santa Elena en 1980), que enfrían el globo, dado que el polvo proyectado a la atmósfera bloquea el calor del sol. Una vez más, la estratósfera se calienta mientras que el suelo se enfría.

La secuela típica de una gran explosión volcánica es un verano lluvioso, tal como el experimentado a lo largo y ancho de Norteamérica y Europa en 1980. Los registros de la actividad volcánica son suficientemente buenos como para hacer un cálculo razonable de la amplitud del efecto volcánico sobre el escudo solar cada año desde el año 1600.

Combinando el índice de variaciones del calor solar con el índice de polvo volcánico, Schneider y Mass hicieron un pronóstico de las fluctuaciones de la temperatura desde el año 1600 que se ajustaba exactamente con lo observado históricamente.

Las características dominantes son el frío de finales del siglo XVII y el calor del siglo XX. Parece como si esta combinación de factores: manchas solares y polvo volcánico, explicase los cambios climáticos pasados. Pero desgraciadamente para utilizar esta combinación en la predicción de las futuras tendencias climáticas es necesario contar con el pronóstico del nivel de variación de la actividad solar más que con la existencia de las erupciones volcánicas y esto todavía no es posible. En el pasado la actividad solar alcanzó cotas insólitas a mediados del presente siglo, mientras que los volcanes estaban también insólitamente tranquilos. Si se reanuda el funcionamiento normal la tierra debería enfriarse en los próximos 50 a 100 años.

Es importante hacer hincapié en que tanto la actividad volcánica como la solar tienen el mismo efecto fundamentalmente, el cambiar el escudo solar atmosférico a lo largo del ciclo de las manchas solares, más bien los cambios en el viento solar influyen en la producción de óxidos de nitrógeno en la atmósfera; cuanto más óxidos de nitrógeno contiene la estratosfera, menos calor deja pasar hasta el suelo, exactamente igual que cuando contiene más polvo volcánico. En ambos casos la atmósfera actúa como una pantalla reflejante, una barrera contra el calor procedente del sol.

Cuando los volcanes entran en erupción lanzan una enorme cantidad de polvo a la atmósfera. El que se establece en las capas superiores juega un papel importante en la modulación del clima de año en año. El polvo refleja el calor del sol, actuando como un escudo solar, la conexión entre las erupciones volcánicas y el tiempo frío se hizo evidente por primera vez después de la erupción del Tambora en Indonesia en 1816. Ese año fue el más frío de los registrados y durante meses se vieron puestas del sol de color rojo brillante en un lugar tan alejado como Londres en Inglaterra. La erupción más grande y más espectacular de este siglo fue la del Krakatoa, la isla situada entre Java y Sumatra en el Océano Pacífico. A un mes de la explosión, el polvo producido había dado la primera vuelta al mundo entero originando puestas del sol de color rojo y brillo inusual. Los astrónomos de la época estimaron que la densa nube de polvo había reducido el efecto del calentamiento del sol en una quinta parte.

La energía de la gran explosión del Krakatoa equivalió a 26 bombas de hidrógeno.

Utilizando una serie de pruebas fósiles, rocas y registros históricos, los climatólogos han relacionado las épocas más frías de la tierra con episodio de actividad volcánica excepcional. Durante los siglos XVII y XX el exceso de polvo volcánico en la atmósfera coincidió con los peores veranos y los inviernos más fríos padecidos en América, Japón y Gran Bretaña. Por el contrario, durante los años intermedios del siglo XX hubo una notable reducción en la actividad volcánica mundial estas décadas coincidieron con períodos de tiempo uniforme y estable, sin embargo, la situación ha cambiado en los últimos años al reanudarse la actividad volcánica durante los años 70 liberando más polvo a la atmósfera, culminando la tendencia el 18 de mayo de 1980 con la gran erupción del volcán inactivo del Monte Santa Elena, en el estado de Washington, USA. A causa de ello el verano de 1980 vio un 25% más de lluvia, un 15% menos de luz solar y una disminución media de la temperatura de 1°C. Estos efectos se sienten con mayor intensidad en las regiones de las latitudes más altas, no porque el volcán esté situado a 65° N, sino porque la luz en los trópicos atraviesa la atmósfera con una trayectoria casi vertical. Mientras que en las latitudes más elevadas entra en la atmósfera sesgada y por tanto la trayectoria que recorre es más larga. Si la atmósfera contiene polvo, la luz solar tiene que atravesar un camino más largo y disminuye su fuerza.

Un volcán debe hacer erupción de una forma impresionante para producir un efecto perceptible sobre el tiempo y las grandes erupciones, como las del Krakatoa y el Monte Santa Elena, son raras: sólo se produjo un efecto comparable durante los períodos geológicamente activos de la historia terrestre, que demuestran una íntima correlación con las épocas frías y el avance de los casquetes polares en la latitudes altas. El volcanismo se asocia con acontecimientos normales en la evolución de la tierra, como la colisión continental o como sucesos como el impacto de un meteorito.

F.6) Magnetismo

Es el factor menos comprensible de los tres, proporciona curiosamente una mejor perspectiva para hacer un pronóstico de largo alcance, aunque el descubrimiento de la conexión entre el magnetismo y el clima es relativamente nuevo y los detalles tienen que verificarse todavía. El trabajo lo ha realizado el Doctor Wollin y sus colegas en el Lamont-Doherty Geological Observatory en Palisades, Nueva York; empezaron investigando los cambios climáticos a plazo relativamente largo en una escala de tiempo de miles de años, el período que corresponde a los ciclos Milankovitch. Se encontraron con un curioso efecto por medio del cual los cambios magnéticos fortalecen la influencia del ciclo de Milankovitch más largo, el ritmo de 100,000 años en que la órbita de la tierra se alarga pasando de ser circular a elíptica y al revés.

La tierra posee un campo magnético que varía tanto en fuerza como en dirección. En este período, el polo norte magnético está localizado a unos pocos kilómetros del polo norte geográfico, pero su posición y fuerza varían de año en año, sin conocer exactamente como se produce el campo magnético. Los científicos se las han ingeniado para establecer un campo notablemente detallado del magnetismo del planeta estudiando las rocas terrestres, a lo largo de un periodo de unos pocos de miles de años, el campo magnético se extingue gradualmente y luego se intensifica de nuevo en la dirección opuesta

y por tanto, a lo largo de millones de años, los polos magnéticos norte y sur invierten sus posiciones.

Esto no significa que la tierra se vuelque en el espacio destruyendo toda la vida de su superficie. La tierra permanece girando sobre su eje mientras viaja alrededor del sol, y sólo se invierte la dirección del campo magnético.

La dirección del campo magnético en el pasado se puede averiguar en las rocas de la tierra. Cuando la roca fundida de las erupciones volcánicas se solidifican, las partículas magnéticas se alinean en las rocas en la misma dirección del campo terrestre. El alineamiento de las partículas magnéticas dentro de las rocas se establece cuando ésta se solidifica y las partículas magnéticas dentro de la roca, conservan su dirección original, aunque se invierta al campo magnético de la tierra, propiedad que recibe la denominación de magnetismo remanente. Las técnicas geológicas pueden determinar la edad de las rocas y la fuerza y dirección del campo magnético terrestre en la época en que las rocas se depositaron.

El descubrimiento más evidente que se infiere de esta clase de análisis es que durante la inversión geomagnética, cuando no hay campo magnético alguno la tierra está más fría y muchas especies de plantas y animales pueden extinguirse, esta es una de las teorías propuestas para explicar la desaparición de los dinosaurios, hace 65 millones de años, y también se ajusta al último trabajo realizado por los meteorólogos soviéticos sobre el cambio de transparencia de la atmósfera superior. Uno de los muchos efectos del campo magnético es que ayuda a proteger a la tierra de los rayos cósmicos galácticos; la barrera no es perfecta pero impide el paso de parte de los rayos. Cuando desaparece el escudo, debería haber más rayos cósmicos en la atmósfera, causa a su vez de más óxidos de nitrógeno y de un mayor bloqueo del calor procedente del sol. Esto encaja con la idea de que un campo magnético más débil origina una tierra más fría. En la actualidad, el campo magnético terrestre se debilita, encaminándose quizá hacia la próxima inversión geomagnética que contribuirá al enfriamiento climático.

La coexión de los ritmos de Milankovitch se lleva a cabo más indirectamente, aunque los detalles de cómo se genera el campo magnético de la tierra siguen siendo un misterio y nadie sabe cómo ni porqué se invierte, hay pocas dudas acerca de que el campo se genera por corrientes eléctricas presentes en el material fundido del núcleo planetario. Las corrientes eléctricas generan campos magnéticos y los campos magnéticos variables producen corrientes eléctricas en conductores cercanos cuando el conductor es un alambre de cobre, una roca fluida rica en hierro o incluso agua de mar. Cuando la corriente

del fluido interior de la tierra es suave, el campo debería ser fuerte y uniforme, pero cuando se desequilibra debería de ser más débil y errático, con la tierra consecuentemente más fría.

Los cambios en la órbita terrestre que pasa de ser circular a ser elíptica y viceversa, se originan por el empuje gravitacional del sol y los planetas del sistema solar empujan todos en diferentes direcciones pero con ritmo regular. Las mismas fuerzas y con el mismo ritmo actúan sobre el núcleo fluido del planeta, alterando su flujo y alterando por tanto la fuerza del campo magnético. Wollin ha descubierto que el efecto magnético a largo plazo concuerda exactamente con el efecto Milankovitch a largo plazo, intensificando su influencia sobre la temperatura. Éste es un descubrimiento esperanzador, ya que la única objeción real que se podía poner al modelo de Milankovitch como explicación de los últimos ciclos climáticos era que daba la impresión de que en el ciclo de 100,000 años revelado por las muestras del lecho marino tenían que haber concurrido fuerzas mucho más fuertes de lo que podía explicar por sí sólo el ciclo de Milankovitch.

Se puede ver como se entrelazan las diferentes influencias climáticas, tanto los cambios magnéticos como los solares afectan a la transparencia de la atmósfera, de la misma forma que el polvo volcánico, pero los cambios magnéticos se entrelazan con el ambiente también de otra forma, en un lapso mucho más breve después de establecer la realidad de estos efectos a largo plazo.

El equipo de Wollin se dedicó a estudiar los campos anuales de la temperatura en el hemisferio norte, esperando encontrar una relación con las fluctuaciones anuales en el campo magnético. Al principio de los 80 hicieron un descubrimiento importante: investigando la influencia del cambio de temperatura sobre la circulación del Océano Pacífico, explicaron el camino que parecían seguir estas fluctuaciones, precisamente dos años después de las fluctuaciones magnéticas. El Océano Pacífico es la mayor masa de agua circulante del globo. Una gran corriente de movimiento lento, transporta el agua tropical cálida hacia el norte, al Pacífico occidental, dirigiéndose a Alaska, desde donde el agua, ahora fría, vuelve al ecuador siguiendo el límite oriental del océano, el agua marina es conductora de la electricidad, en realidad esta corriente oceánica es también una corriente eléctrica. Puesto que el campo magnético y las corrientes oceánicas están unidas por fuerzas eléctricas, dondequiera que el campo magnético experimente un incremento notable, se intensificará la fuerza eléctrica y la corriente oceánica se desplazará más despacio. El agua caliente de los trópicos tardará más en llegar al norte y perderá más calor durante el camino, enfriando así las latitudes altas, esto no sólo afecta al pacífico que es un inmenso depósito de calor, sino que afecta la temperatura superficial del planeta entero. El resultado neto de un súbito aumento en la fuerza del campo magnético será, por tanto, que el mundo tenga temperaturas más frías, inversamente, cuando el campo debilita su fuerza de atracción electromagnética sobre el océano, el movimiento circulatorio del pacífico se acelerará. El agua caliente viajará más deprisa hacia el norte y se beneficiará el hemisferio entero.

En términos climáticos, este descubrimiento tiene un interés relativo. Las fluctuaciones anuales son demasiado rápidas para resultar relevantes en una valoración de las tendencias climáticas a largo plazo. Pero si la relación es válida, significa que Wollin y sus colegas han descubierto una forma de

pronóstico, con dos años de antelación, de los cambios de temperatura probables de año en año, (el retraso bianual se debe simplemente a que las corrientes oceánicas de movimiento lento tardan este tiempo en actuar sobre la alteración de la circulación de la atmósfera y la temperatura del hemisferio norte) dejando de lado estas fluctuaciones a corto plazo, todas las influencias naturales con repercusión sobre el clima apuntan al enfriamiento en un futuro inmediato, a la vuelta del pequeño periodo glacial en cuestión de un siglo y al período glacial total en unos pocos miles de años como máximo. Pero en el último cuarto de siglo entró en juego un nuevo factor, puesto que todos somos producto del ambiente terrestre, cualquier influencia de la humanidad sobre el clima es, en última instancia, natural también. Pero estas influencias antropogénicas son ciertamente únicas en la larga historia de nuestro planeta. El hombre es el comodín en la baraja capaz de echar por la borda todas las predicciones basadas en lo anteriormente sucedido.

F.7) Las actividades humanas

Existen dos teorías principales acerca de como las actividades humanas están alterando el clima. Una idea es que al aumentar el contenido de polvo en la atmósfera por la contaminación expelida por las chimeneas de las fábricas y la tierra transportada por el viento en los campos agrícolas, se está actuando como un volcán humano poniendo un escudo frente al sol que bloquea algo del calor solar y hace que la tierra se enfríe. Se piensa, alternativamente en una acumulación progresiva de dióxido de carbono en la atmósfera debido al quemado de los combustibles fósiles y la destrucción simultánea de los bosques, impidiendo que los árboles absorban el dióxido de carbono. Éste actúa como un manto alrededor de la tierra aumentando su temperatura.

En realidad, algunos cálculos sugieren que la clase de partículas de polvo producidas por las actividades humanas podrían ser de ayuda para calentar el globo, al reflejar hacia el suelo un calor de otro modo perdido en el espacio.

Se dice que la humanidad está originando en efecto un calentamiento mundial, quizás a través del efecto del polvo y ciertamente por la influencia del dióxido de carbono.

F.8) El efecto invernadero

La mayor parte de la energía irradiada por el sol lo es en frecuencias próximas a la de la luz visible. Esto no es una coincidencia ya que los ojos humanos han evolucionado precisamente para utilizar dichas frecuencias en razón de las que irradia el sol.

La radiación solar calienta las tierras y mares que, a su vez devuelven la energía hacia donde ha venido, las moléculas aéreas de vapor de agua y dióxido de carbono absorben algo de calor infrarrojo que sale y lo envía de nuevo hacia el suelo, manteniendo la tierra mas caliente que si hubiese un manto de aire rodeándola: se forma el efecto de invernadero. Al quemar carbón y petróleo se está aumentando la concentración de dióxido de carbono en el aire; y al talar los grandes bosques mundiales, se impide que absorban el dióxido de carbono extra y lo almacenen como madera. El resultado es que el efecto invernadero se está haciendo mas fuerte y pronto puede trastornar el

proceso climático natural sobre la tierra. Mirando hacia delante, a los próximos 50 años más o menos mucha gente considera este efecto invernadero del dióxido de carbono como la cuestión clave del problema ambiental que afronta la humanidad y a veces se considera incluso más importante que los riesgos de escape de radiación de las centrales nucleares. En realidad uno de los argumentos más poderosos a favor de la energía nuclear es que las centrales, al no producir dióxido de carbono, no incrementarían el efecto invernadero. Pero es todavía demasiado pronto para que los climatólogos puedan predecir exactamente como cambiara el clima si se sigue haciendo un uso ilimitado del combustible fósil. Se necesita más tiempo para observar como responde en realidad la atmósfera a los niveles crecientes de dióxido de carbono.

La opinión actual es que la duplicación del nivel natural de dióxido de carbono en la atmósfera producirá un aumento en la temperatura cercano a los 2 ° C, con un incremento quizás 3 veces superior en las latitudes altas alrededor de los polos, que son más sensibles, si no se pone freno al uso creciente del combustible fósil. Este nivel se alcanzará en unos 50 años.

Y aunque se diga cándidamente que un mundo más caliente sería un lugar más agradable para vivir, esto no tendría que ser así necesariamente. Además de los cambios de temperatura, se modificarían las precipitaciones, tanto unas como otras cambiarían de modo irregular en todo el mundo: algunas regiones estarían más calientes, una pocas efectivamente mas frías, algunas más húmedas, otras más secas. Todos estos cambios podrían tener un dramático efecto sobre la agricultura en una época en la que la población se está incrementando muy de prisa y los alimentos escasean.

Esto es especialmente significativo a los dramáticos cambios que han tenido lugar en la agricultura durante el siglo XX. La agricultura orientada más científicamente significa, en algunos casos la dependencia de una sola cosecha, intensamente fertilizada e irrigada. Cualquier cambio climático será obligatoriamente beneficioso para algunas cosechas y perjudicial para otras, pero da la casualidad de que hoy, virtualmente la única región del mundo que exporta alimentos en gran cantidad es Norteamérica. El resto del mundo depende, en los años malos, de los excedentes de cereales producidos de los excedentes de Estados Unidos y Canadá; Así cuando se intenta escudriñar en el interior de la turbia bola de cristal para predecir como variará el clima a lo largo de nuestras propias vidas, se tiene que hace un siglo, sí cambiaba el clima un granjero podría perder algunas cosechas, pero otras no; hoy se han consagrado bastas áreas a un cultivo único y sí éste fracasa, se pierde todo. Cualquier otra consideración como las inundaciones costeras, los efectos sobre las necesidades energéticas o el transporte se vuelve insignificante al lado del interrogante clave: ¿cómo afectará el cambio del clima a la agricultura mundial en general?

F.9) Efectos del clima futuro.

Para entender cómo pueden afectar a la humanidad los cambios climáticos futuros, es importante examinar algunos detalles del efecto que las condiciones climáticas extremas han tenido, en el pasado sobre la humanidad.

Se sabe que a largo plazo debe llegar un nuevo período glacial, suponiendo aún los modelos naturales; las pruebas de las variaciones cíclicas obtenidas de los análisis de muestras de hielo Groenlandés sugieren que un pequeño

periodo glacial puede ser inminente. Por supuesto, las civilizaciones europeas del siglo XVII sobrevivieron a las condiciones extremas sin la ayuda de la tecnología moderna y por tanto, desde este punto de vista, ahora se está mejor preparado para hacerles frente. Pero hoy el mundo está más densamente poblado que el mundo del siglo XVII.

En realidad no es necesario retroceder más del año 1972 para ver como la humanidad sigue estando a merced del clima.

El año 1972 fue un periodo inesperado de extremo climático, en Rusia, Moscú experimentó la peor sequía en 300 años y la producción de alimentos de toda Rusia descendió un 8%. En África la sequía del sahel alcanzó cuotas máximas y en la India la ausencia del monzón provocó una disminución del 8% en la producción de arroz. Además de la sequía, en Australia y Sudamérica hubo un desplome en la captura de anchoa en la costa Peruana, en Sudamérica, provocada por los modelos de circulación de las aguas del pacífico. Desde 1972 ha resultado evidente que este año inesperado era más un presagio de los extremos climáticos por venir, que un año malo aislado. A lo largo de los años 70 han continuado las fluctuaciones extremas del clima anual. Las sequías y las ventiscas que batieron el récord en los Estados Unidos, las inundaciones de ciertas partes de Rusia en 1976, coincidentes con la peor sequía registrada en algunas partes de Europa y las intempestivas heladas que afectaron la cosecha de café en Brasil son sólo parte de las calamidades registradas en esta década.

Dichos brotes de tiempo anormal no serían tan catastróficos si la sociedad mundial estuviese organizada para hacer un uso más eficiente de las tierras de cultivo que alimentan a la creciente población mundial.

Los economistas agrícolas han calculado que se podría alimentar adecuadamente al doble de la población actual si se usasen técnicas de cultivo modernas y existiesen terrenos aprovechables. La gente padece de hambre en nuestros días no porque la tierra esté superpoblada en un sentido absoluto, sino por factores políticos y económicos. En pocas palabras, la gente pobre de los países pobres pasa hambre porque, ni como individuos ni como países tienen dinero para comprar alimentos en los mercados mundiales.

F.10) Influencia de los planetas

En 1980 se fortaleció la credibilidad del pronóstico de una tendencia hacia el enfriamiento basado en los ciclos 80 y 180 años deducidos en las muestras de hielo de Groenlandia, cuando dos científicos chinos publicaron un estudio de como habían afectado las alineaciones planetarias al tiempo durante los últimos 3000 años.

Ren zhenqiu, de la academia de ciencias meteorológicas de Pekín y Li Zhisen del observatorio astronómico de Pekín, compararon inicialmente los datos del clima durante los últimos 1000 años (los chinos tienen registros históricos más detallados y exactos que cualquier país occidental ya que es una civilización más antigua) con las alineaciones de los 9 planetas en el sistema solar, cada planeta tardó un lapso característico en recorrer una órbita completa alrededor del sol.

Los más próximos a él (mercurio, venus, tierra y marte) describen la órbita más rápidamente que los alejados (Júpiter, Saturno, Urano, Neptuno y Plutón).

Normalmente los 9 planetas están diseminados alrededor de sus órbitas sin un esquema perceptible, como los corredores internos más rápidos superponiéndose a sus compañeros externos más lentos. Pero inevitablemente, de vez en cuando da la casualidad de que todos los planetas se encuentran al mismo lado del sol. Agrupados en la misma parte del cielo según se mira desde la tierra, aunque por supuesto siguen siendo separados por grandes distancias a lo largo de la línea de visión. Se da la circunstancia que de esta clase de modelo que los chinos llaman Sínodo. Aparece a intervalos regulares de casi 179 años exactamente debido al movimiento regular de cada planeta sobre su propia órbita. Este ciclo regular coincide con el ciclo aproximado de 180 años encontrado por algunos astrónomos en las variaciones de la actividad solar, incluyendo las manchas solares. La coincidencia ha estimulado a muchos a intentar desarrollar explicaciones acerca de como la alineación planetaria podría afectar el clima terrestre.

Ninguna de esas ideas parece ser tan plausible como la nueva teoría China. Los datos experimentados por los chinos señalan que un sínodo causante del enfriamiento terrestre se producirá cuando exista una alineación de los planetas donde la tierra está sola a un lado del sol y todos los otros planetas agrupados en la otra cara del sol desde 1300 años d.C. hasta nuestros días. Esta clase de sínodo ha estado asociado con décadas frías en la tierra.

En lo tocante a la tierra durante un sínodo, al estar todos los demás planetas empujando juntos, la órbita terrestre se alarga de forma real en 1.5 millones de Kilómetros, el 1 % de su distancia media al sol. Este cambio es significativo: reduce la cantidad de calor que llega a la superficie de la tierra y prolonga el invierno. Y puesto que los gigantescos planetas externos se mueven muy lentamente en comparación con la tierra, la situación persistirá durante varios años, dando tiempo para que opere el sutil cambio de la temperatura.

Desde el año 100 después de Cristo ha habido 5 intervalos de temperaturas bajas en China: en la primera mitad del siglo XX, en el siglo XIV, al final del siglo XV, en el siglo XVII (el pequeño período glacial) y en el siglo XIX, en el mismo período hubo precisamente 5 sínodos planetarios en 1126, 1304, 1483, 1665 y 1844. Si esto es tan solo coincidencia muy notable el método da un pronóstico claro e inequívoco para las décadas venideras, que sirve de base al pronóstico obtenido al cumplir los ciclos establecidos en el registro isotópico. El último sínodo corresponde a finales de 1982.

CONCLUSIONES

El conocimiento de la atmósfera y la relación que esta tiene con la superficie terrestre es muy importante, ya que este conocimiento le permite a un geólogo tener una panorámica más amplia, en su concepción respecto al planeta tierra. En la actualidad, las aguas superficiales y las aguas subterráneas al igual que las cuencas hidrológicas están siendo explotadas sin control alguno; al mismo tiempo la contaminación ambiental está deteriorando considerablemente a los mantos acuíferos y a las cuencas hidrológicas, ya que en ellas se vierten todos los desechos de las industrias y de las actividades humanas, desechos tales como ácidos, cromos y algunos metales tóxicos que están contaminando los acuíferos y las aguas superficiales.

Es tiempo pues de que se tomen iniciativas enfocadas a la prevención y control de estos cuerpos de agua, ya que si no hace algo oportunamente, se puede llegar a deteriorar este equilibrio, y si esto sucede, se puede llegar a enfrentar un problema de carácter irreversible que puede demandar costos muy altos, sin resolver totalmente el problema.

Existen zonas del país donde los problemas de contaminación ambiental de ríos y acuíferos ya es alarmante.

El enfoque de este trabajo es que el ingeniero geólogo debe enfrentar esta problemática, haciendo una buena planeación y ejecución de un trabajo sustentado en el conocimiento de los fenómenos atmosféricos prevalecientes una región y al mismo tiempo con el conocimiento de la geología de la región sacando así deducciones y conclusiones bien definidas respecto a la solución de dicho problema.

He allí la propuesta fundamental de este trabajo, poner de manifiesto los conocimientos de dinámica atmosférica para que un geólogo pueda disponer de ellos, formándose así una panorámica mas amplia del planeta en todos los aspectos geológicos y meteorológicos , y poder de esta manera dar respuestas mas estructuradas y mas integrales a esta problemática actual de la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas por medio de las aguas residuales derivadas de las industrias y de las grandes ciudades.

Este trabajo es un intento de fortalecimiento de para que el geólogo amplíe su criterio en este campo y quien mejor que el, como profesionalista, pueda dar soluciones óptimas a esta problemática de la contaminación ambiental.

Por otro lado un ingeniero geólogo está directamente relacionado con las necesidades de abastecimiento de agua, por lo tanto es muy importante que el geólogo disponga de conocimientos de meteorología. Estos lo enriquecen y ayudan a tener una cultura y una visión más amplia en lo que se refiere a la solución de problemas relacionados con la exploración y explotación de los recursos hídricos.

Como se puede observar, el ingeniero geólogo está directamente vinculado con el abastecimiento de agua para las necesidades fundamentales. Esta agua cada día escasea mas debido al crecimiento demográfico y los problemas de contaminación ambiental descritos anteriormente.

Por ello, la capacidad de preparación de este profesionalista debe de ser continua y sobre todo fortalecerla con el conocimiento de la atmósfera a nivel

planetario; allí estará la clave para resolver los problemas que se están presentando de falta de agua para abastecer las necesidades humanas.

Se debe de hacer todo lo posible para que se instrumenten modelos que ayuden a la buena planeación, buena explotación y buen control de los cuerpos de agua.

Todavía se puede dar la gran avanzada, monitoreando estrictamente la capacidad de cada acuífero con las necesidades de las diversas poblaciones.

Establecer controles estrictos a las zonas donde ya no se puede crecer demográficamente ni industrialmente.

Establecer las cuencas que pueden aportar más agua de la actual, y buscar mecanismos de infraestructura que contribuyan a distribuir el agua a las zonas donde más se necesita.

En México actualmente hay más agua distribuida en las zonas menos densamente pobladas, que en las zonas más densamente pobladas; de allí surge la necesidad de un proyecto de distribución de agua que equilibre esta situación.

La influencia que tiene la Meteorología en la Geohidrología es muy grande.

Existe un gran vínculo y una gran interacción entre la atmósfera y la superficie terrestre, y por tanto el acercamiento existente entre la Meteorología y la Geología es muy significativo, ya que entre ellas está de por medio, desde el punto de vista económico, el líquido tan esencial para la vida llamado agua.

El manejo adecuado del agua es representativo para la riqueza de una región desde el punto de vista económico, político y social.

Se sabe que el agua es fuente de riqueza cuando ésta se encuentre bien administrada.

En México la cultura de una buena administración del agua es escasa, ya se ha dicho en ocasiones anteriores que tanto la población que la consume como el gobierno que la administra tienen un enfoque distorsionado de este recurso.

Para esto, es necesario que existan buenas obras de infraestructura de almacenamiento y una adecuada distribución tanto para la agricultura como para el abastecimiento de industrias, pueblos y ciudades.

También es necesario que el consumidor no la desperdicie y haga un buen uso del agua.

Se sabe que el agua, cuando está presente genera riqueza agrícola, pecuaria, desarrollo industrial y desarrollo urbano, creando así fuentes de empleo y arraigo de los habitantes de los pueblos y ciudades.

Los problemas de migración que presenta México se deben en parte a la mala administración del agua.

En la actualidad, los habitantes dedicados a la agricultura, en su mayoría están desprotegidos de la información meteorológica; éstos siembran sus productos en las temporadas de lluvia sin control alguno. Siendo víctimas, de los malos temporales con excesivas lluvias o prolongadas sequías, también se carece de obras de infraestructura que almacenen el agua.

El ciclo hidrológico descarga una gran cantidad de agua en las montañas del territorio nacional, y así como cae en forma de lluvia, se va directamente por medio de las corrientes al mar pasando por los pueblos donde se necesita, sin aportar algún beneficio.

Esta problemática de falta de infraestructura contribuye a que los pobladores queden empobrecidos y piensen en la migración, pudiéndose evitar esta

situación con la construcción de obras de infraestructura hidráulica. Fortaleciéndose el instinto del arraigo de dichos pobladores.

Grandes civilizaciones florecieron a lo largo de grandes ríos. El agua ha sido fuente de riqueza a lo largo de la historia de la humanidad. En México este recurso es abundante, pero está mal administrado; por ello, la propuesta de este trabajo es llegar a la buena administración de este recurso. Para que así; de esta manera, se logren, buenas estrategias y buenos resultados en lo inherente a este problema. Para esto es necesario manejar bien este recurso en todos sus aspectos. Es muy importante hacer estudios meteorológicos y geológicos para manipular bien este recurso, y así evitar este caos de los agricultores del campo mexicano. Es importante desarrollar una cultura donde se encauce un mejor aprovechamiento de este recurso hídrico.

En México lo que se requiere es que se lleven a cabo obras de infraestructura para su almacenamiento y su buena explotación y distribución.

En lo que se refiere a las aguas subterráneas se deben de llevar a cabo mejores programas de exploración, cuantificación y explotación, adecuados a las necesidades existentes de una manera previsiva.

Hacer que los acuíferos sean monitoreados continuamente considerando de una manera detallada parámetros de carga y descarga de agua, llevando un buen control de explotación.

Llevar a cabo programas de prevención y control de la contaminación ambiental, controlar más estrictamente las industrias contaminantes que vierten sus aguas residuales en los ríos y están causando paulatinamente daños irreversibles a las cuencas hidrológicas, es hoy día una necesidad.

La dinámica atmosférica a nivel planetario indica que van a seguir sucediendo éste ir y venir del agua de los océanos a los continentes y de los continentes a los océanos lo que seguirá sucediendo ininterrumpidamente.

El movimiento de traslación de la tierra seguirá por el mismo camino a través de las órbitas elípticas respecto al sol. El movimiento de rotación de la tierra respecto a su eje seguirá su camino impulsando el dinamismo de los vientos contribuyendo a la distribución del equilibrio térmico en todo el planeta.

El sol seguirá con su ciclo de las manchas solares como parte de su actividad, repercutiendo estos ciclos en las temperaturas de todo el planeta.

Los planetas seguirán viajando alrededor del sol a través de los tiempos para que en algún tiempo determinado estos se apoltonen y se agrupen formando un sínodo planetario. Donde la órbita elíptica se agranda más.

También el hombre seguirá contribuyendo con su actividad depredadora, aportando contaminantes indiscriminadamente a los océanos y a la atmósfera tales como bióxido de carbono, polvo, aguas residuales de la actividad industrial, formando de esta manera el efecto de invernadero y la destrucción de la capa de ozono. No se sabe cuantitativamente hasta este momento, en que grado se está afectando este ciclo natural. Se espera que se advierta con tiempo, hasta que límite se pueden seguir aportando contaminantes, porque después cuando se presente un proceso irreversible de degradación ambiental sería demasiado tarde para la supervivencia de los seres vivos en el planeta.

Se sabe que el planeta tierra ha pasado por períodos glaciares, el hombre como especie ya enfrentó un período glacial y pudo sobrevivir, es más hasta le ayudó este período glacial a desarrollar su inteligencia, debido a que tuvo que enfrentar las inclemencias del tiempo y sobrevivir a través de ellas.

Se dice que en la actualidad se está viviendo un período interglaciar y que se está en los últimos mil años de este período, las preguntas obligadas son ¿toda la humanidad será capaz de enfrentar el nuevo período glacial? ¿será capaz de sobrevivir ante las inclemencias del clima? ¿ Habrá suficiente alimento en el planeta para todos? ¿ La tecnología desarrollada en la actualidad contribuirá a que el período glacial sea menos drástico con la humanidad? ¿existirá alguna tecnología capaz de derretir los hielos perpetuos de los polos? ¿ Que tan capaces seremos ante esta nueva prueba de la naturaleza?. Esto se verá más adelante.

Así pues se espera que la contribución de este trabajo ayude a que el Ingeniero Geólogo combine estos dos aspectos de la geología y la meteorología para así resolver problemas inherentes a ese vital y esencial líquido para la vida en toda su diversidad, llamado agua.

GLOSARIO

Ablación

Procesos combinados (tales como fusión, sublimación, evaporación) que eliminan la nieve o el hielo de un glaciar o de un campo de nieve.

Absorción en el casquete polar

Efecto de las altas latitudes sobre las ondas radioeléctricas, ocasionando por un momento repentino de la concentración de electrones de la capa D de la ionosfera. Este efecto es producido por la llegada de protones solares de gran energía. Comienza una hora después de que se ha observado una erupción solar y puede durar, aunque raras veces, unos días.

Absorción auroral

Absorción de las ondas radioeléctricas durante fenómenos aurorales que conduce a la ausencia total de ecos ionosféricos.

Acción rectora térmica

Acción rectora térmica sobre una perturbación atmosférica en la dirección del viento térmico en la misma región.

Acción rectora de la estratósfera

Acción rectora de la estratósfera sobre las perturbaciones troposféricas.

Aclimatación

Ajuste gradual de los seres vivos a condiciones climáticas diferentes de aquellas a las cuales están acostumbrados.

Acreción

Aumento del volumen de las partículas de una nube o de la precipitación por colisión y unión de partículas congeladas (cristales de hielo o copos de nieve), gotas de agua subfundida que se congelan al chocar.

Actinometría

Rama de la Meteorología que se encarga de estudiar y medir la intensidad de la radiación solar.

Acumulación

Cantidad de nieve u otra forma de agua en estado sólido que se añade por alimentación a un glaciar o campo de nieve; es lo contrario de ablación.

Adsorción

Adhesión de una fina película de líquido o vapor a una sustancia sólida sin que se produzca reacción química alguna.

Adiabática

Curva que representa, en un diagrama termodinámico, los cambios que experimenta la temperatura de una pequeña masa de aire sometida a un proceso adiabático.

Advección

Transporte de las propiedades de una masa de aire producido por el campo de las velocidades de la atmósfera.

Adiabática del aire seco

Curva que representa, en un diagrama termodinámico, los cambios de temperatura de una pequeña masa de aire seco elevada por un proceso adiabático del aire seco.

Adiabática del aire saturado

Curva que representa, en un diagrama termodinámico un valor constante de la temperatura potencial del termómetro húmedo.

Aeropoluto

Es cualquier contaminante atmosférico.

Aglomeración de nubes

Sistema de nubes convectivas generalmente asociado a zonas de convergencia en las latitudes bajas que abarca una superficie de 500 a 1,500 km².

Agroclimatología

Estudio de los efectos de clima (incluyendo su variabilidad y sus cambios) sobre la agricultura en el sentido más amplio.

Agro meteorología

Estudio de la interacción entre los factores meteorológicos e hidrológicos, por una parte, y la agricultura el sentido más amplio, por otra parte, incluyendo la horticultura, la ganadería y la silvicultura.

Aguacero

Chubasco de precipitación líquida.

Aguanieve

Según las distintas regiones, precipitación mezclada de lluvia y nieve, o de lluvia y granizo, o de lluvia y gránulos de hielo, o de nieve en fusión, o de lluvia repentina y de breve duración acompañada a menudo de viento y granizo.

Aire

Mezcla gaseosa que forma la atmósfera de la tierra.

Aire antártico

Masa de aire procedente del continente Antártico, muy fría en sus niveles inferiores.

Aire ártico

Masa de aire que desde las regiones árticas invade ocasionalmente latitudes más bajas. Está relativamente muy fría en sus niveles inferiores.

Aire caliente

Aire cuya temperatura es alta por sí misma o más elevada que la temperatura de la superficie subyacente o de las masas de aire subyacentes

Aire claro

Aire sin nubes ni niebla.

Aire contaminado

Aire que contiene en suspensión partículas de polvo, humo, microorganismos o gases diferentes de los que normalmente lo componen.

Aire continental

Masa de aire que ha permanecido durante varios días sobre un continente y por ello contiene relativamente poco vapor de agua.

Aire ecuatorial

Masa de aire que ha permanecido durante varios días en regiones próximas al ecuador y que, por tanto, está relativamente caliente.

Aire en el suelo

Aire y otros gases contenidos en cavidades del suelo que son necesarios para la vida vegetal.

Aire estable

Masa de aire en la que prevalece la estabilidad estática. Esta condición depende de los gradientes verticales de la temperatura y de la humedad del aire.

Aire húmedo

En termodinámica, aire que contiene vapor de agua.

Aire inestable

Masa de aire en la que prevalece la inestabilidad estática. Esta condición depende de los gradientes verticales de la temperatura y de la humedad del aire.

Aire marítimo

Masa de aire que ha permanecido durante varios días sobre una región marítima y que, por tanto, tiene un contenido de vapor de agua relativamente alto, por lo menos en sus niveles inferiores.

Aire polar

Masa de aire que ha permanecido durante varios días sobre las latitudes altas y que, por tanto, esta relativamente fría, por lo menos en sus niveles inferiores.

Aire puro

Aire (relativamente) exento de materiales contaminantes sólidos, líquidos y gaseosos.

Aire saturado

Aire húmedo en equilibrio con una superficie plana de agua pura o de hielo de iguales temperaturas y presión, esto es, aire cuya presión de vapor saturante; su humedad relativa es del 100%.

Aire seco

En termodinámica, aire sin vapor de agua.

Aire tropical

Masa de aire que ha permanecido durante varios días sobre regiones tropicales o subtropicales y que, por tanto, está relativamente caliente y húmeda.

Aire polar

Masa de aire que ha permanecido durante varios días sobre las latitudes altas y que, por tanto, está relativamente fría, por lo menos en los niveles inferiores.

Albedo

Cociente entre la radiación (energía radiante o luminosa) reflejada por una superficie y la radiación incidente sobre ella.

Albedo de la tierra

Cociente entre el valor de la radiación (energía radiante o luminosa) reflejada por la tierra y su atmósfera y la radiación solar incidente sobre ella.

Alisios

Vientos persistentes sobre extensas regiones, generalmente en la atmósfera inferior, que soplan desde un anticiclón subtropical hacia las regiones ecuatoriales. Las direcciones predominantes son: del NE para los alisios del hemisferio norte y del SE para los del hemisferio sur.

Alta atmósfera

Término utilizado principalmente en meteorología sinóptica para indicar la región comprendida entre la base de la atmósfera libre y el límite superior de los sondeos ordinarios con globos (estratósfera baja).

Altitud

Es la altura que tiene un punto de la superficie de la tierra con respecto al nivel del mar.

Análisis del aire en altitud

Estudio del estado físico y dinámico de la atmósfera sobre una zona representado en los mapas en altitud.

Análisis de los frentes

Análisis de la estructura y evolución de una región de la atmósfera en términos de masas de aire y frentes.

Análisis del tiempo

Estudio de los datos de observaciones sinópticas utilizando mapas para representar el estado de la atmósfera.

Análisis de masas de aire

Identificación de las diferentes masas de aire presentes en un mapa sinóptico o en un diagrama aerológico, determinando su naturaleza física y su evolución. Este tipo de análisis es parte importante del análisis de los frentes.

Anticiclón

Región de la atmósfera en la que la presión en un nivel es alta con relación a su contorno al mismo nivel. Aparece en los mapas sinópticos como una serie de isobaras a un nivel dado, o de isohipsas a una presión dada, que rodean valores relativamente altos de presión o de cota.

Atmósfera

Parte aérea que cubre a la superficie de la tierra hasta una altura de aproximadamente 1,600 Km.

Aurora

Claridad que precede a la salida del sol.

Aurora polar

Meteoros luminosos de varios colores producidos por la iluminación de los gases y partículas eléctricas que se encuentran en la ionosfera.

Aurora austral

Resplandor del sur.

Aurora boreal

Resplandor del norte.

Aviso de huracán

Mensaje meteorológico para alertar a los que pueden resultar afectados por los efectos peligrosos de un huracán con fuerza 12 o más en la escala de Beaufort, en una zona determinada y/o de un nivel peligrosamente alto de las aguas o de una combinación de un nivel alto de las aguas con olas excepcionalmente altas, incluso si los vientos previstos no son vientos de huracán.

Aviso de tempestad

Mensaje meteorológico para alertar a los interesados de la ocurrencia o posible ocurrencia de vientos con fuerza Beaufort 10 u 11 en una zona determinada.

Aviso de temporal

Mensaje meteorológico para alertar a los que puedan resultar afectados por la ocurrencia o posible ocurrencia de vientos con fuerza Beaufort 8 o 9 en una zona determinada.

Aviso de tifón

Mensaje meteorológico destinado a advertir a las personas interesadas de la presencia o aparición prevista de un tifón.

Aviso de variación brusca

Informe meteorológico especial transmitido por una estación, para señalar una mejoría o un empeoramiento del tiempo importante en relación con una necesidad específica (en particular con la aeronáutica).

Aviso meteorológico

Emitido cuando las condiciones meteorológicas reales o previstas no constituyen un riesgo, pero pueden causar preocupación o inquietud.

Azul del cielo

Color azul, mas o menos intenso, característico del cielo sin nubes, producido por la difusión selectiva de la radiación del sol por las moléculas del aire (ley del Rayleigh). La luz azul experimenta mayor difusión que la luz de longitudes de ondas superiores.

Balance de la radiación solar

Diferencia entre los valores de la radiación solar dirigida hacia abajo y hacia arriba: flujo neto de la radiación solar.

Balance hídrico

Balance de agua basado en el principio de que en un cierto intervalo de tiempo el aporte total a una cuenca o masa de agua debe de ser igual a las salida total de agua, más la variación neta en el almacenamiento de la cuenca o masa de agua.

Balance térmico

Relación entre los flujos de calor entrante y saliente de un sistema dado y el calor almacenado por el sistema.

Barrera de nubes

Banco de nubes denso que aparece en el horizonte al aproximarse un ciclón tropical intenso; también cualquier tipo de banda nubosa alargada, estrecha y continua.

Biosfera

Es la zona de contacto de la superficie terrestre con la atmósfera.

Base de una nube

Nivel más bajo de una nube o de una capa nubosa.

Borrasca

Viento impetuoso y breve.

Brisa

Es un viento con velocidad entre ligera y moderada. En la escala de Beaufort, vientos con velocidades que van desde los 4 nudos (límite inferior de una brisa suave) hasta los 27 nudos (límite superior de una brisa fuerte).

Brisa de glaciación

Viento de poco espesor que sopla pendiente abajo, día y noche, a lo largo de un glaciar.

Brisa de mar

Viento de las regiones costeras que sopla durante el día desde una extensión grande de agua (mar o lago) hacia tierra debido al calentamiento diurno del suelo.

Brisa de montaña o de valle

Sistema de vientos diurnos que soplan a lo largo del eje de un valle, por el día subiendo por la pendiente y el valle y por la noche bajando por la pendiente y el valle, esta brisa se produce sobre todo en tiempo calmo y claro.

Brisa de tierra

Viento de las regiones costeras que sopla durante la noche desde tierra hacia una extensión grande de agua debido al enfriamiento nocturno del suelo.

Brisa fresca

Viento con una velocidad comprendida entre 17 y 21 nudos (escala de Beaufort: viento de fuerza 5).

Brisa fuerte

Viento con una velocidad comprendida entre 22 y 27 nudos (escala de Beaufort, viento de fuerza 6).

Brisa ligera

Viento con una velocidad comprendida entre 4 y 6 nudos (escala de Beaufort de fuerza 2).

Brisa moderada

Viento con una velocidad comprendida entre 11 y 16 nudos (escala de Beaufort, viento de fuerza 4).

Brisa suave

Viento con una velocidad comprendida entre 7 y 10 nudos (escala de Beaufort, viento de fuerza 3).

Calor

Es energía en proceso de transferencia de un cuerpo a otro.

Caloría

Es la cantidad que se requiere para elevar en 1°C la temperatura a 1 gramo de agua pura.

Calor latente

Es el calor que se encuentra almacenado en algunos de los estados físicos del agua.

Calor latente de evaporación

Es el calor que se desprende al pasar del agua el estado líquido a vapor.

Calmas ecuatoriales

Zonas de calmas o vientos flojos variables en la parte baja de la atmósfera; esta cercana al ecuador térmico y sigue con un pequeño retraso el desplazamiento latitudinal anual de dicho ecuador térmico.

Calmas subtropicales

Calmas o vientos flojos y variables situados en la zona central de los anticiclones subtropicales de cada hemisferio, entre los alisios y los contralisios de las latitudes medias.

Cambio de dirección del monzón

Sustitución del monzón de invierno por el monzón de verano y viceversa.

Capa protectora de ozono

Protección proporcionada a la superficie de la tierra debida a la intensa absorción de la radiación solar ultravioleta por la capa de ozono estratosférica.

Cancellada blanca

Depósito de hielo formado en general por la congelación de gotitas de niebla o nubes subfundidas sobre objetos duros, cuya superficie está a una temperatura inferior o ligeramente superior a 0a.C.

Ciclo del agua

Sucesión de etapas que atraviesa el agua de la atmósfera: evaporación a partir del suelo, el mar o las aguas continentales, condensación en forma de nubes. Precipitación, acumulación en el suelo o masas de agua y reevaporación.

Ciclo de las manchas solares

Variación casi periódica del número y las dimensiones de las manchas solares. Los máximos aparecen, en promedio a intervalos a 11.1 años.

Ciclo del carbono

Transformaciones sucesivas del carbono en la biosfera, desde la conversión del dióxido de carbono en biomasa y su vuelta al estado de gas en los procesos de respiración y descomposición.

Ciclo hidrológico externo

Ciclo del agua en que el vapor de agua evaporado desde las superficie oceánicas se condensa para precipitar sobre un continente.

Ciclo hidrológico interno

Ciclo del agua restringido a una superficie continental dada. El vapor de agua evaporado desde esta superficie se condensa para formar precipitaciones

dentro de los límites de la misma región (de hecho, una parte del agua evaporada no entra a formar parte de la circulación interna sino que es transportada por los vientos, fuera del territorio en cuestión).

Ciclón

Región de la atmósfera donde la presión en un nivel es baja con relación a su contorno al mismo nivel.

Ciclo solar

Variación casi periódica en el número de manchas u otros fenómenos solares con un período promedio de 11 años.

Cinturón de los alisios

Cinturón latitudinal ocupado por los alisios (del NE en el hemisferio norte y del SE en el hemisferio sur) que extiende según la estación, de cerca del ecuador a 30-35° al norte o al sur.

Circulación oceánica ocasionada por el viento

Movimiento horizontal del agua oceánica debido a la tensión ejercida por el viento sobre su superficie.

Circulación general de la atmósfera

Es el conjunto de sistemas de vientos y corrientes de aire que se presenta en la troposfera.

Clima

Síntesis de las condiciones meteorológicas en un lugar determinado, por estadísticas a largo plazo (valores medios, varianzas, probabilidades de valores extremos, etc.) de los elementos meteorológicos en dicho lugar.

Clima árido

Tipo de clima caracterizado por la insuficiencia de humedad para mantener una vida vegetal aprovechable.

Clima continental

Clima típico del interior de un continente caracterizado por amplias diferencias anuales, diarias e interdiarias de las temperaturas, por la humedad relativa baja y por la cantidad de lluvia irregular, moderada o débil.

Clima costero

Clima en las regiones costeras que resultan de las modificaciones del macroclima, debido a la discontinuidad de las propiedades de mar y tierra que existe respecto a la rugosidad de la línea costera, la temperatura y la humedad.

Clima de estepa

Tipo de clima que produce la vegetación de la tundra; es demasiado frío para que los árboles crezcan, pero no presenta una capa permanente de nieve o de hielo.

Clima de invernadero

Condiciones ambientales dentro de un invernadero, caracterizadas por temperaturas elevadas durante las horas del día, como consecuencia de que el vidrio de la cobertura es más transparente para la radiación de onda corta del exterior que para la radiación onda larga emitida desde el interior del invernadero.

Clima del monzón

Tipo de clima propio de las regiones afectadas por los monzones.

Clima de montaña

Clima influido por el factor de altitud del terreno y caracterizado por una presión atmosférica baja y una radiación solar intensa, rica en rayos ultravioletas.

Clima marino

Clima de las regiones próximas al mar, caracterizado por la pequeña amplitud de la oscilación de la temperatura diurna o anual, o ambas y por su humedad relativa alta.

Clima mediterráneo

Clima caracterizado por veranos secos y cálidos e inviernos lluviosos.

Coalescencia

Proceso de formación de una gota única por la unión de dos o más gotas que entran en colisión.

Condensación

Transición de la fase de vapor a la fase líquida.

Congelación

Cualquier depósito o capa de hielo sobre un objeto producido por el impacto de hidrómetros líquidos, usualmente subfundidos.

Contaminante

Elemento que al estar por arriba de cierto valor se vuelve tóxico para los seres vivos.

Contaminación atmosférica.

Presencia de contaminantes en la atmósfera, tales como polvo, gases emanaciones, humo, niebla, olor o vapor en cantidades características y duraciones tales que son perjudiciales para la vida humana, vegetal y animal.

Cori Oliz

Es la desviación que sufre el viento debido al movimiento de rotación de la tierra.

Corrientes marinas

Son ríos oceánicos que transportan grandes volúmenes de agua fría o caliente de uno a otro lado del océano.

Corrientes en chorro

Corrientes de aire en forma de tubo aplastado, casi horizontal. En general cercana a la tropopausa. Su eje lo forma la línea de velocidades máximas y se distingue por las grandes velocidades del viento y por la presencia de fuertes cizalladuras verticales y horizontales del viento.

Corrientes en chorro a baja altura

Corriente en chorro situadas mucho más bajas que la tropósfera superior, ejemplos son las corrientes en chorro sobre la parte oriental de África a unos 1.5 Km y la corriente en chorro nocturna.

Corriente en chorro durante la noche polar

Corrientes en chorro del oeste, que alcanza su máxima intensidad cerca de la estratopausa en las latitudes medias y subpolares del hemisferio invernal. Se origina como consecuencia del prolongado enfriamiento del aire por radiación en las latitudes altas durante esta estación.

Corriente en chorro mesosférica

Corrientes en chorro de las latitudes subpolares y medias, a una altitud de unos 60 Km que sopla del oeste en el hemisferio de invierno y del este en el

hemisferio del verano, el chorro de invierno es igual a la corriente en chorro de la noche polar.

Corriente en chorro nocturna

Capa de vientos fuertes, nocturna, de velocidad supergeostrófica, en una altura sobre el suelo de unos cientos de metros. Esta capa se puede formar cuando un intenso enfriamiento nocturno sobre la tierra suprime en el flujo en altitud, la acción del rozamiento en la superficie.

Cristales de hielo

Cualquiera de las variadas formas, macroscópicamente cristalinas, que el hielo puede tomar, incluyendo: prismas hexagonales, cristales dendríticos, agujas de hielo y combinaciones de estas formas.

Cuenca de drenaje

Superficie de terreno que recoge el agua que alimenta, parcial, o totalmente una corriente de agua.

Cuenca hidrológica

Zona drenada por una parte o la totalidad de uno o varios cursos de agua determinados.

Chubasco

Aguacero, chaparrón, chubasco de precipitación líquida.

Depresión tropical

Es cuando los vientos giran a una velocidad de alrededor de 55 Km/hr.

Dispersión

Es la devolución de la radiación solar que incide sobre un cuerpo modificándose su trayectoria.

Ecuador térmico

Línea que rodea a la tierra y une a todos los meridianos en el punto en que la temperatura media anual es la más alta.

Edad de hielo

Período especial de una era geológica en el que extensas sabanas de hielo (glaciales continentales) cubrían muchas partes del mundo.

Efecto de invernadero

Es la retención del calor por la atmósfera.

Eje de la corriente de chorro

Línea en la que el viento alcanza las velocidades máximas en un nivel dado.

Electrometeoro

Manifestación visible o audible de la electricidad generada en la atmósfera.

El niño

Calentamiento anómalo del agua oceánica frente a las costas occidentales sudamericanas, acompañado habitualmente de fuertes lluvias en las regiones costeras de Perú y Chile.

Época glacial

Cualquiera de las épocas geológicas caracterizadas como edad de hielo, así el pleistoceno puede ser llamado una época glacial.

Época interglacial

Intervalo de tiempo caracterizado por un avance del hielo polar en dirección del ecuador, de una duración menor que una época glacial.

Escala de beaufort

Escala de la fuerza del viento basada originalmente en observaciones del estado del mar y numerada del 0 al 12.

Espectro electromagnético

Es el espacio ocupado por el conjunto de ondas electromagnéticas emitidas por el sol.

Evaporación

Emisión de vapor de agua por una superficie líquida de agua libre a temperatura inferior a su punto de ebullición.

Evaporación potencial

Cantidad de vapor de agua que puede ser emitida por una superficie de agua pura, por unidad de superficie y por unidad de tiempo, en las condiciones atmosféricas existentes.

Evapotranspiración potencial

Cantidad máxima de agua que puede evaporarse en un clima dado por una cubierta vegetal continua bien dotada de agua. Incluye la evaporación del suelo y la transpiración por la vegetación en un intervalo de tiempo dado y en una región determinada. Se expresa en altura de agua.

Evapotranspiración real

También se llama evapotranspiración efectiva. Es la cantidad de vapor de agua evaporada del suelo y de las plantas.

Fenómeno atmosférico

Es cualquier cambio que sucede en la atmósfera.

Fotometeoro

Fenómeno luminoso producido por la reflexión, refracción o por la interferencia de la luz solar lunar.

Frente

Interfaz o zona de transición entre dos masas de aire de diferente densidad (temperatura, humedad).

Frente antártico

Frente de gran extensión de las latitudes altas australes, que separa el aire Antártico, relativamente frío, del aire polar, relativamente caliente.

Frente ártico

Frente de gran extensión en las latitudes boreales, que separa el aire Ártico, relativamente frío del aire polar relativamente caliente.

Frente caliente

Cualquier frente no ocluido que al avanzar hace que el aire caliente reemplace al aire frío.

Frente casi estacionario

Frente cuya posición en mapas sinópticos sucesivos es invariable o casi invariable (por convección, frente con una velocidad inferior a cinco nudos).

Frente de brisa de mar

Superficie frontal que, aquellas ocasiones en que sopla una brisa de mar, marca la separación entre una capa de aire calentado por el suelo y una capa

subyacente relativamente fría, de poco espesor, que se mueve sobre una superficie extensa de agua.

Frente de los alisios

Frente de la estación cálida entre una masa de aire fresco de los alisios oceánicos y el aire caliente del continente vecino.

Frente ecuatorial

Frente casi permanente que separa a los alisios de ambos hemisferios o que marca el límite extremo del monzón tropical.

Frente frío

Cualquier frente no ocluido que al avanzar hace que el frío reemplace al aire caliente.

Frente meteorológico

Zona de transición que existe entre dos masas de aire con características diferentes.

Frente ocluido

Asociación de dos frentes que se forma cuando un frente frío se halla sobre un frente caliente o casi estacionario.

Frente polar

Frente casi permanente en las latitudes medias, de gran extensión que separa el aire polar del aire tropical.

Granizo

Glóbulo o trozo de hielo, con un diámetro de 5 a 50 mm o incluso más, cuya caída constituye la granizada. Los granizos están constituidos casi totalmente por hielo transparente o por una serie de capas de hielo transparente, de un espesor de 1 mm, por lo menos, que alternan con capas translúcidas.

Hidrometeoro

Conjunto de partículas de agua líquidas o sólidas suspendidas en la atmósfera.

Hidrosfera

La porción de agua del planeta.

Horas frío

Son aquellas en las cuales la temperatura del aire es igual o inferior a 7°C.

Humedad

Vapor de agua contenido en el aire.

Humedad atmosférica

Es la cantidad de vapor de agua que contiene la atmósfera.

Humedad específica

Es la masa en gramos de vapor de agua contenidos en un Kilogramo de aire húmedo.

Humedad relativa

Es el cociente que resulta de dividir la cantidad de vapor de agua que existe en el aire entre la cantidad máxima que puede contener a cierta temperatura expresa en porcentaje.

Humedad relativa del aire húmedo con respecto al agua

Relación entre la fracción molar del vapor de agua en el aire y la fracción molar correspondiente si el aire estuviese saturado con respecto al agua a una presión y una temperatura dadas.

Huracán

Son tormentas devastadas de agua acompañadas de fuertes vientos, que llevan una velocidad mayor de 117 Km/hr.

Interacción entre mar y aire

Intercambio de calor, humedad, cantidad de movimiento y energía que tiene lugar entre la capa superficial del mar y las capas de aire en contacto con ella y viceversa.

Inversión térmica

Es cuando la temperatura aumenta con la altura.

Isoterma

Línea que une los puntos de igual temperatura.

Isoyeta

Línea que une puntos de igual precipitación atmosférica.

Lado de barlovento

Parte de una colina, de una montaña o de una región de cara al viento.

Lado de sotavento

Parte de una colina, de una montaña o de una isla que está protegida del viento o de las olas por el relieve orográfico.

Latitud

Es la distancia que hay del ecuador a cualquier punto de la superficie terrestre.

Longitud

Es la distancia que hay del meridiano de Greenwich a cualquier punto de la superficie terrestre.

Macroclima

Clima de una región geográfica extensa, de un continente o incluso de todo el mundo.

Marcha diaria de la temperatura

Son los valores que toma la temperatura durante el día.

Meteoro

Fenómeno que se observa en la atmósfera o en la superficie de la tierra, que consiste en la precipitación, la suspensión o el depósito de partículas líquidas o sólidas, acuosas o no, también se dice de fenómenos de naturaleza óptica o eléctrica.

Meteorología

Estudio de la atmósfera y sus fenómenos.

Meteorología aeronáutica

Meteorología en relación con el suministro de servicios para la navegación aérea.

Meteorología agrícola

Estudio de la interacción entre los factores meteorológicos e hidrológicos, por una parte y la agricultura en el sentido más amplio por otra, incluyendo la horticultura, la ganadería y la silvicultura.

Meteorología aplicada

Parte de la meteorología relativa al uso del conocimiento de la atmósfera en beneficio de las actividades humanas. Las especialidades de la meteorología aplicada son: meteorología agrícola, meteorología aeronáutica, meteorología marina, biometeorología.

Meteorología dinámica

Estudio de la dinámica (mecánica, termodinámica) de la atmósfera.

Meteorología espacial

Estudio de las propiedades y componentes de la atmósfera utilizando vehículos especiales.

Meteorología experimental

Estudio de los procesos y fenómenos atmosféricos por medio de experimentos en el laboratorio y en campo.

Meteorología física

Estudio de las propiedades y los procesos físicos de la atmósfera.

Meteorología forestal

Estudio de las interacciones entre los bosques y la atmósfera.

Meteorología industrial

Estudio del efecto de las condiciones meteorológicas en las actividades industriales.

Meteorología marítima

Estudio de las interacciones entre el mar y la atmósfera.

Meteorología sinóptica

Estudio de los fenómenos en una zona extensa de la atmósfera se basa en el análisis de mapas en que se han transcrito observaciones sinópticas para la predicción y análisis del tiempo.

Microclima

Estructura climática fina de la capa atmosférica que se extiende desde la propia superficie del suelo hasta una altura donde los efectos del carácter inmediato de la superficie subyacentes ya no se diferencian del clima general local.

Monzón de invierno

Monzón de origen continental que sopla durante el invierno.

Monzón de verano

Monzón de origen oceánico que sopla durante el verano.

Neblina

Suspensión en el aire de gotas microscópicas de agua, o partículas hidrosópicas húmedas que producen la visibilidad en superficie.

Nieve

Precipitación de cristales de hielo aislados a aglomerados que caen de una nube.

Nubes

Son aglomeraciones de gotas de agua o cristales de hielo suspendidos en la atmósfera.

Oscilaciones de milankovith

Variaciones pronunciadas del clima debidas a cambios de la radiación solar causados por:

- 1) La variación de la elipticidad de la órbita de la tierra.
- 2) La variación de la inclinación del eje de rotación de la tierra debido a la oblicuidad de la eclíptica.
- 3) La precesión de los solsticios y equinoccios.

Ozono

Forma triatómica (O₃) del oxígeno.

Precipitación

Hidrometeoro que consiste en la caída de un conjunto de partículas; las formas de precipitación son: lluvia, llovizna, nieve, granulada, granizo y gránulos de hielo.

Precipitación ácida

Depósito de sustancias ácidas, resultante del transporte atmosférico a largas distancias de contaminantes tales como el nitrógeno y el azufre, que provocan

una mayor acidificación del medio ambiente cuando se depositan sobre la superficie terrestre.

Precipitación artificial

Precipitación de partículas acuosas, sólidas o líquidas, atribuible a una acción humana sobre una nube.

Precipitación ciclónica

Toda precipitación asociada a un ciclón o a su circulación interna.

Precipitación orográfica

precipitación causada por la ascensión del aire húmedo al pasar sobre una barra orográfica

Punto de rocío

Es la temperatura a la cual el vapor de agua de la atmósfera empieza a condensarse.

Radiación

Emisión o transferencia de energía en forma de ondas o partículas electromagnéticas.

Radiación atmosférica

Radiación de onda larga emitida por la atmósfera y que se propaga por ella.

Radiación cósmica

Radiación de energía muy alta y con gran poder de penetración procedente del espacio cósmico.

Relámpago

Manifestación luminosa de una descarga eléctrica brusca que tiene lugar desde o en el interior de una nube y más raramente desde edificios altos o montañas.

Remolino

Es un volumen de fluido turbulento, elemento que tiene una cierta identidad y evolución propias.

Sublimación

Transición directa de una sustancia de la fase sólida a la fase vapor o viceversa, sin pasar por la fase líquida.

Tensión de vapor

Es la presión parcial que ejerce el vapor de agua presente en el aire.

Tiempo

Estado de la atmósfera en un instante dado, definido por los diversos elementos meteorológicos.

Tormenta tropical

Es cuando los vientos giran a velocidad de alrededor de 100 km/hr.

Tornado

Tempestad giratoria muy violenta de pequeño diámetro; es el más violento de todos los fenómenos atmosféricos; se produce a causa de una tormenta de gran violencia y toma la forma de una columna nubosa proyectada de la base de un cumulonimbus hacia el suelo.

Tromba marina

Tornado que se forma por encima de la superficie del agua; se caracteriza por su tendencia a disiparse al llegar a la orilla.

Tropopausa

Límite entre la tropósfera y la estratósfera, en el que el gradiente vertical de temperatura experimenta un cambio brusco se define como el nivel más bajo en donde el gradiente medio es de 2° c/km o menos, siempre que el gradiente medio entre ese nivel y todo los niveles superiores situados a menos de 2 km no exceda de 2° c/km.

Puede hallarse una segunda tropopausa si el gradiente vertical por encima de la primera es de más de 3° c/km.

Viento

Movimiento del aire con respecto a la superficie de la tierra

Bibliografía

- I. Geología General e Histórica. Yu. M Vasiliev, V.S. Milíchuk, M. S. Arabadzhi Editorial Mir Moscú. (1981)
- II. El libro del clima (volumen III). R. Hardí, P. Wright, J. Gribbin, J. Kington. Ediciones Orbis S.A. (1982)
- III. Fotogeología. Felipe Guerra Peña U.N.A.M. (1980)
- IV. Geología para Ingenieros .Joseph M. Trefeten .Compañía editorial continental S.A. (1959)
- V. Diccionario de términos de meteorología (O.M.M.) 1980
- VI. Congreso internacional de meteorología México D.F (O.M.M.) 1980
- VII. Apuntes de climatología Universidad de Chapingo. (1994)
- VIII. Compendio de apuntes para la formación del personal meteorológico de la clase IV. .volumen I (O.M.M) 1990
- IX. Compendio de apuntes para la formación del personal meteorológico de la clase IV. .volumen II (O.M.M) 1990
- X. Compendio de apuntes para la formación del personal meteorológico de la clase IV volumen III. (O.M.M) 1990
- XI. Hidrología Subterránea E. Custodio M.R.L. Lamas .1982
- XII. Estimulación de lluvias Seminario México Israel. México D.F. 1983
- XIII. Tesis Redes Neuronales en modelado hidrológico predicción de avenidas en la presa Huítes. Víctor Ricardo Toledo Reyes .1984
- XIV. Tesis Hidráulica calibración de un modelo de estimación de lluvias en base a imágenes infrarrojas del satélite Goes-E. Francisco García Rodríguez .1980
- XV. Tesis Caracterización de la erosividad de la lluvia en México utilizando métodos multivariados. Héctor Gregorio Cortes .1982
- XVI. Química general moderna Babor Ibarz Editorial Marin 1980
- XVII. Geología Física. Arthur Holmes Ediciones Omega S.A. 1979