

# CLIMATOLOGIA Y DIVERSIDAD CLIMATICA DE COLOMBIA

Por

Jesús A. Eslava R.\*

## Resumen

Eslava, J.A. Climatología y diversidad climática de Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 18 (71): 507-538, 1993. ISSN 0370-3908.

Previo un análisis de las definiciones actualizadas de conceptos y términos básicos relacionados con la climatología y los procesos y factores creadores y modificadores de los climas, se muestra la existencia de la gran diversidad de climas en el mundo, en general, y en Colombia, en particular.

## Abstract

Preview analysis of the actuals definitions of the concepts and basic terminology related with the Climatology and the processes and factors climatic, is shows in general the great climatic diversity on the world and particulary of Colombia.

## 1. Introducción

Podemos comenzar diciendo que "Colombia como todo país tropical-montañoso, posee una gran variedad de climas y una gran variación y contraste en los valores de los elementos climatológicos". Ese comentario aparentemente contradice lo que con mucha periodicidad se oye respecto a que el clima de las zonas tropicales es "constante".

Esta afirmación de constante o estaticidad respecto a los climas tropicales, se fundamenta en los escasos estudios que se han hecho, sobre los elementos que conforman el clima. Esos estudios se

han limitado a determinar las características de sólo los promedios mensuales y anuales de "algunos" de los elementos climatológicos básicos: por ejemplo, la temperatura del aire, la precipitación, la evaporación y el brillo solar.

Los estudios un poco más profundos que contemplan no sólo los valores medios mensuales y su variación a través del año, sino también los valores extremos, las variaciones diurnas y las frecuencias, están demostrando que el término "constante" no puede aplicarse en el mismo sentido en que se ha usado tradicionalmente.

Aceptar que existe una gran diversidad de climas en Colombia es relativamente fácil para todos, tal vez excepto para aquellos que nunca han salido de su lugar de origen o para los que sólo tienen referencias bibliográficas.

---

\* Profesor Titular. Departamento de Geociencias, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia.

La mayor dificultad que se puede tener para "entender" la existencia de la diversidad de climas en Colombia, es el desconocimiento de todas o algunas de las causas o agentes que producen o modifican el resultado visible o los valores de los elementos que crean el clima. Es decir, debemos interesarnos por las causas y no simplemente por los efectos observados.

También existen dificultades para entender conceptos y términos cuyo significado ha evolucionado, a la par que los cambios que han ocurrido en la ciencia que estudia los climas. Por ejemplo, una definición de clima clásica, bastante antigua pero aún usada por algunos, dice que el clima es el "estado medio de la atmósfera"; esa es una definición que da una visión estática del clima.

Otra afirmación, que ya hemos mencionado como incorrecta, es la que sostiene que el clima de la zona tropical es "constante" y no considera la realidad dinámica y fluctuante de los climas en el trópico. Baste pensar para analizar esa afirmación, por ejemplo, en la variación semidiurna de la presión atmosférica en Bogotá (Fig. 1) que presenta 2 máximos y 2 mínimos con una amplitud entre ellos de cerca de 3 HectoPascuales (hPa), o en la variación diurna de la temperatura que puede llegar a presentar valores de  $-5$  grados celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) en la madrugada y de  $25^{\circ}\text{C}$  a la 1 ó 2 de la tarde (Figs. 2 y 3), situación perfectamente conocida por los habitantes de Bogotá.

Otra incorrección que se comete en forma continua, especialmente en los medios de comunicación y que tiende a extenderse a todo nivel, es aquella que ocurre cuando al intentar hablar del estado del tiempo (lo que está ocurriendo en la atmósfera en un momento determinado) utilizan la expresión "condiciones climáticas" o "estado del clima".

Por todo lo anterior y previo al análisis sobre diversidad de climas en el mundo y en Colombia, se consideró necesario empezar definiendo algunos conceptos y términos básicos, luego se analizan los mecanismos generales del clima (elementos, procesos, factores y situaciones que producen o modifican los climas); después, unos comentarios respecto a la variedad de climas en la tierra y, finalmente, se muestra gráficamente la diversidad de climas en Colombia, utilizando para ello los resultados de aplicar cuatro sistemas de clasificación climática.

Para la preparación de éste trabajo, se han utilizado, libre y ampliamente, las publicaciones de eminentes especialistas colombianos y extranjeros que se han incluido en la bibliografía. Particularmente se menciona el Compendio de apuntes de Climatología preparado por Lowry (1973), la Climatología Física de Sellers (1972), los libros de Meteorología de Donn (1975) y McIntosh & Thom (1985), el trabajo que sobre el fenómeno de "El Niño" realizaron Montealegre & Zea (1985) y los

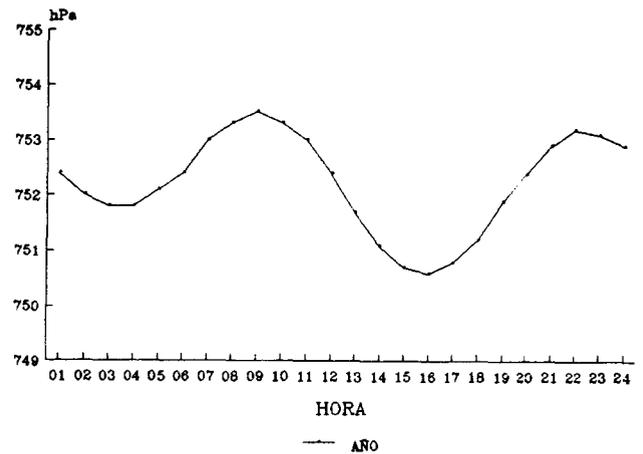


Figura 1. Variación horaria del valor medio anual de la presión atmosférica, en Santafé de Bogotá (Eslava, 1990 b).

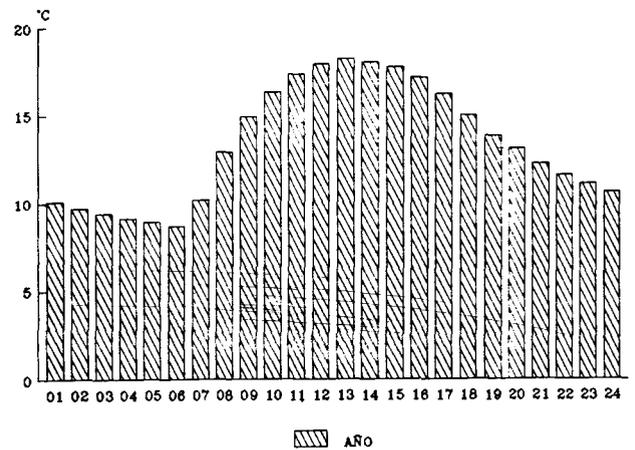


Figura 2. Variación horaria del valor medio anual de la temperatura del aire, en Santafé de Bogotá (Eslava, 1990a).

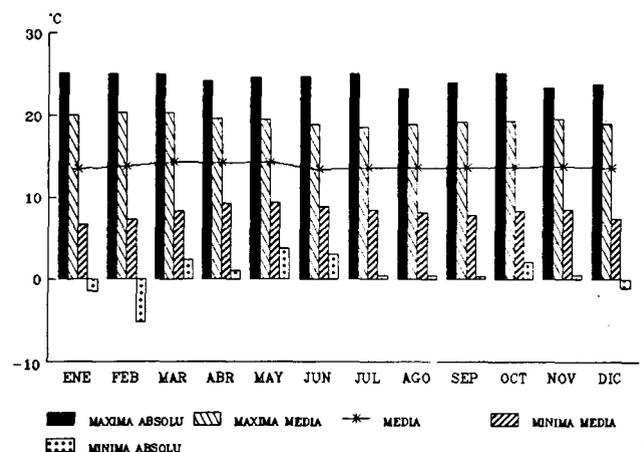


Figura 3. Variación interanual de los valores extremos y medios de la temperatura del aire en Santafé de Bogotá (Eslava, 1990a).

trabajos de Clasificación Climática de Colombia realizados por Eslava, López & Olaya (1986a, b, c, d).

## 2. Definición de conceptos y términos básicos

### 2.1. Clima

Una de las definiciones de clima más aceptada por los especialistas dice que el clima es: "Conjun-

to fluctuante de las condiciones atmosféricas, caracterizado por los estados y las evoluciones del tiempo en una porción determinada del espacio" (Lowry, 1973).

Esta definición implica una gran diversidad de ideas importantes, entre ellas, las siguientes:

1. el clima es una expresión del comportamiento de la atmósfera, puesto que es el resultado de las condiciones atmosféricas expresadas como un conjunto de valores de los elementos y fenómenos meteorológicos en determinado lugar y tiempo,
2. el clima es un conjunto de elementos y fenómenos meteorológicos y no uno sólo de ellos; es decir, no se expresa el clima mencionado únicamente la temperatura o precipitación media,
3. el clima está compuesto de fluctuaciones, no es estático,
4. el clima no es sólo el estado medio de la atmósfera, sino que se caracteriza por los diferentes estados y las evoluciones de esos estados del tiempo. Los climas no quedan adecuadamente descritos por los simples valores medios y extremos de los diversos elementos meteorológicos, el clima hay que considerarlo como una síntesis de las evoluciones que día a día experimenta el tiempo meteorológico en términos de las frecuencias y características de las masas de aire.

Lo anterior, además, también muestra que el tiempo, al igual que el clima, no es estático sino que evoluciona,

5. el clima hace referencia a una determinada y restringida zona o porción del espacio.

Es obvio, entonces, que las expresiones "Clima de Colombia", en singular, o "Climatología Colombiana", sólo pueden emplearse en sentidos muy especiales o generalizados.

## 2.2. Elemento climatológico

Se entiende por elemento climatológico: "Toda propiedad o condición de la atmósfera cuyo conjunto define el estado físico del tiempo o del clima de un lugar determinado, para un momento o un período de tiempo dados" (Lowry, 1973).

La atmósfera, como mezcla de gases que es, tiene muchas propiedades o condiciones y su conjunto es el que define el estado físico del tiempo o del clima en un lugar determinado. Entre esas propiedades se mencionan: temperatura, presión, movimiento, humedad, nubosidad, precipitación, evaporación, etc.

Si se define el conjunto de propiedades o condiciones para un momento, hora o día por ejemplo, estamos definiendo el estado del tiempo. Si por el contrario, definimos el conjunto de propiedades o condiciones de los diferentes estados del tiempo que han ocurrido durante un período largo (por ejemplo: 30 años), entonces estamos definiendo el clima.

## 2.3. Factor climático

El otro término importante para definir es el de factor climático: "Ciertas condiciones físicas, distintas de los elementos climatológicos, que habitualmente influyen sobre el clima: latitud, altitud, distribución de tierras y mares, continentalidad, distancia al litoral, topografía, corrientes oceánicas, etc." (Lowry, 1973).

La atmósfera, por su composición y por la energía de que dispone (que originalmente ha provenido del sol por radiación electromagnética) tiene propiedades y condiciones propias. Sin embargo, la presencia "habitual" de ciertas condiciones físicas (factores climáticos), hace que cambien los valores y distribución de las propiedades y condiciones originales y, por ello, los factores climáticos se convierten en "agentes" que producen o modifican el resultado visible o los valores de los elementos que crean el clima.

## 3. Mecanismos generales del clima

Para hablar de los mecanismos generales del clima, es necesario hablar de la transferencia de calor, de los cambios y variaciones del flujo entrante de energía y su almacenamiento, de los procesos de transferencia de calor que intervienen en el clima, de la influencia de los factores climáticos en la producción o modificación de las propiedades o condiciones atmosféricas que definen el clima y de los sistemas meteorológicos que fijan el mecanismo general del clima en una región o área particular.

### 3.1. La transferencia de calor

La Tierra, entendida como el conjunto de la atmósfera, hidrósfera y litósfera, es un sistema físico sometido en todo momento a la radiación solar. De la recepción de esa radiación solar proviene "toda" la enorme cantidad de energía contenida en la Tierra, la cual se pone de presente en los temporales, terremotos, explosiones volcánicas, grandes movimientos del aire y del agua, etc.

En períodos largos de tiempo, por ejemplo anuales, la misma cantidad de energía que absorbe el sistema Tierra, se disipa por la radiación que emite; de otro modo, la temperatura de la Tierra cambiaría.

Cualquier sistema físico, incluida la Tierra, se comporta de la siguiente forma (Fig. 4):

- a) si durante un período determinado (horas, días, semanas, meses, años) la energía recibida

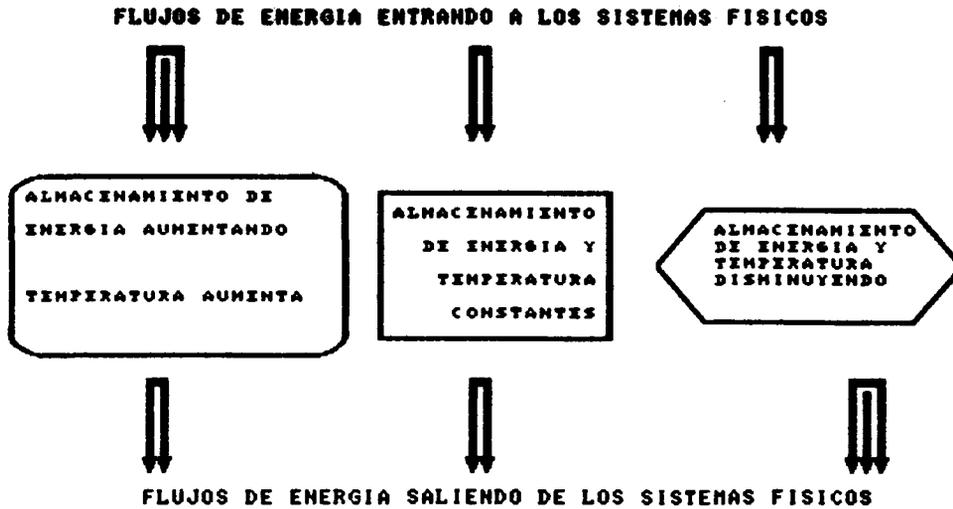


Figura 4. Respuesta de los sistemas físicos a las variaciones de los flujos de energía (modificado de Lowry, 1973).

es mayor que la emitida, el exceso se almacena en el sistema y su temperatura aumenta (por ejemplo, en el período de la mañana o en verano),

- b) si la absorción de energía es menor que la emisión, o si sólo hay emisión, la temperatura del sistema disminuye (por ejemplo, en la tarde, en la noche o en invierno),
- c) cuando los flujos de energía entrante y saliente son iguales, la temperatura no cambia.

En este punto es conveniente mencionar el principio de la formación de las células convectivas que se ilustra en la Fig. 5; el fluido ubicado sobre el mechero se calienta, se dilata, se hace menos denso, la fuerza de gravedad que se ejerce sobre ese sector del fluido disminuye y su peso y presión se reducen; el fluido de los alrededores del mechero resulta entonces menos caliente, más denso, más pesado y con mayor presión que el que está siendo calentado por el mechero. El resultado es que el fluido tiende a trasladarse desde las regiones con mayor presión hacia las de menores presiones; las partes frías del fluido se hunden y las calientes se ven forzadas a subir.

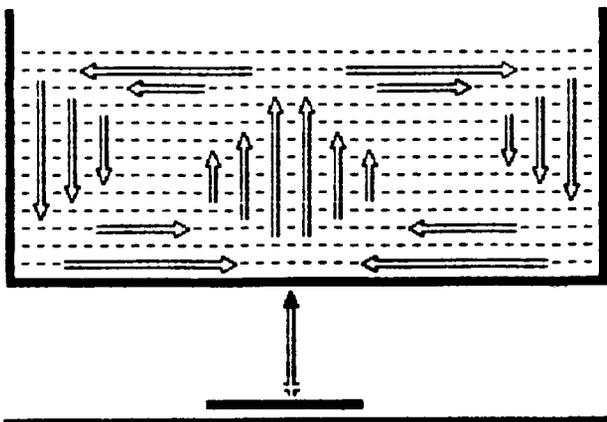


Figura 5. Convección en un fluido calentado.

En el mismo momento en que se dan diferencias de temperatura, se producen diferencias de presión que originan las corrientes de convección.

Aun cuando toda la energía que posee la atmósfera ha procedido originalmente del sol, ella sólo ha absorbido directamente una sexta parte de la energía solar disponible. La superficie terrestre absorbe un poco menos de la mitad de la radiación solar y, por un proceso secundario, posteriormente la emite hacia la atmósfera para que ésta la absorba y se caliente.

Las diferentes superficies sólidas y acuosas de la Tierra, absorben y emiten energía de muy diversas maneras y cantidades, según su muy diferente constitución. Esto ocasiona, entre otras cosas, diferencias de temperatura entre las superficies de sitios vecinos (cada uno es un sistema físico), determina diferencias de presión y temperatura en el aire que reposa sobre ellos y su desplazamiento de las zonas de menor hacia las de mayor temperatura, con ascenso de aire en las zonas de mayor temperatura y descenso en las de menor (Fig. 6).

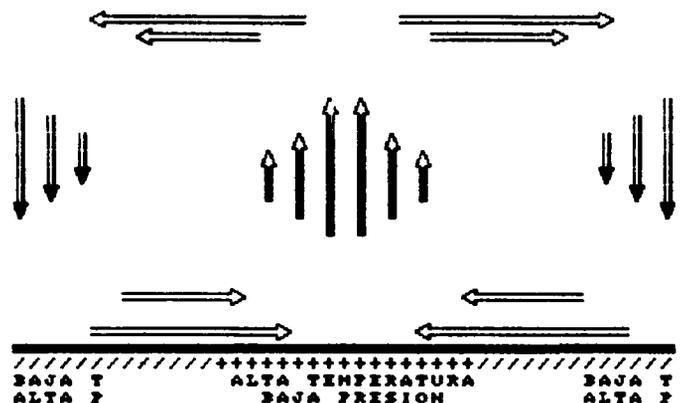


Figura 6. Movimiento del aire en las células convectivas.

Se origina así, la formación de las células convectivas, a través de las cuales se realiza un intercambio de masas de aire, cada una de ellas con su propio contenido de calor, vapor de agua y demás propiedades.

En la atmósfera, con la infinita variedad de superficies sobre las que ella reposa, estas células convectivas se producen tanto en gran escala como en microescala y de un modo que dista mucho de ser sencillo.

La variación de la radiación solar entrante, espacial y temporal (diaria, mensual, anual), de acuerdo con la latitud, ocasiona una diferencia y variación espacial y temporal en el flujo que llega a la superficie (Figs. 7 y 8). Esto, a su vez, origina una distribución "básica" de los diferentes elementos climatológicos que se modifica por la interacción entre esos elementos, por la acción —también interactuante— de los factores climáticos y las influencias recíprocas de los diferentes procesos de transferencia de energía y de los varios sistemas meteorológicos.

De esta forma, el clima de un lugar (que puede considerarse como un sistema físico constituido por la superficie, suelo, vegetación, agua, aire, y otros cuerpos, que se encuentren sobre ese lugar), es el resultado neto de un conjunto de situaciones relacionadas con:

- cambios y variaciones del flujo entrante de energía,
- cambios y variaciones en el almacenamiento de energía,
- procesos de transferencia de energía,
- cambios y variaciones en el flujo saliente de energía,
- influencia de los varios factores climáticos y,
- sistemas meteorológicos locales o regionales.

Analizaremos someramente cada una de esas situaciones.

### 3.2. Cambios y variaciones del flujo entrante de energía

Los cambios y variaciones del flujo entrante de energía, dependen no sólo de la cantidad de radiación que llega, sino de la capacidad de absorción de esa radiación por los cuerpos situados antes del receptor final.

Por causa de la geometría tierra-sol, no sólo se presentan cambios en el flujo entrante de energía cada 100.000 años, o cada 40.000, 20.000, 10.000, o cada 11 años; sino cada mes, cada día y cada hora. Esos cambios son diferentes para cada latitud y eso significa que para cada latitud la entrada de energía al sistema tierra es diferente y entonces el clima y sus fluctuaciones serán distintas.

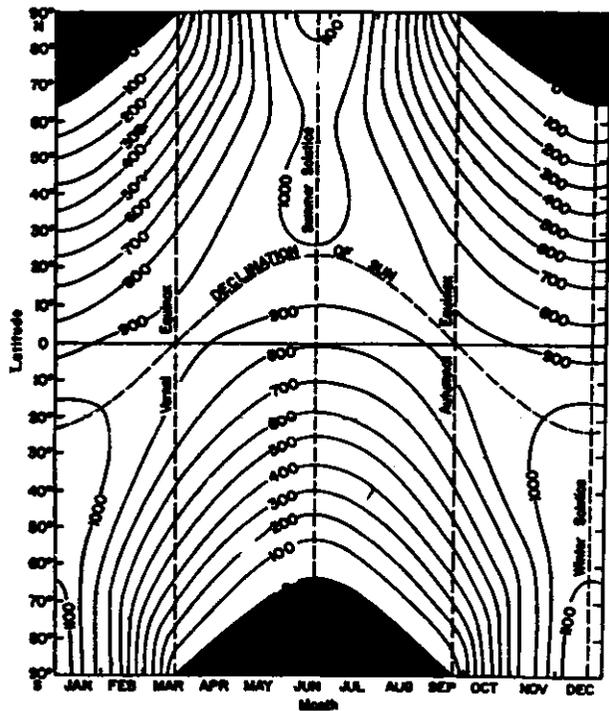


Figura 7. Variación temporal y espacial de la radiación solar que llegan al límite de la atmósfera. Las unidades son Langley/día. (List, 1958; modificado por Sellers, 1972).

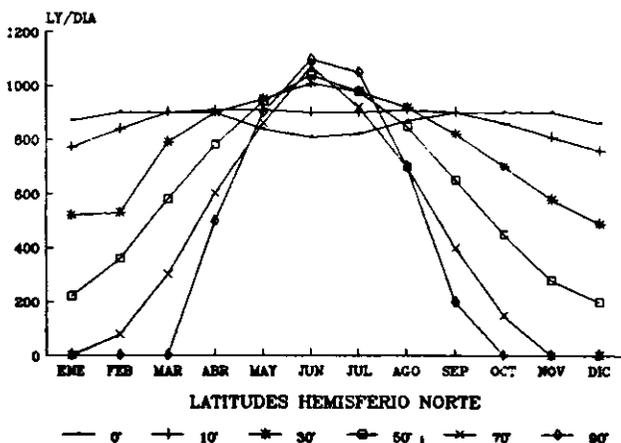


Figura 8. Comparación entre la radiación solar entrante en el límite de la atmósfera para varias latitudes.

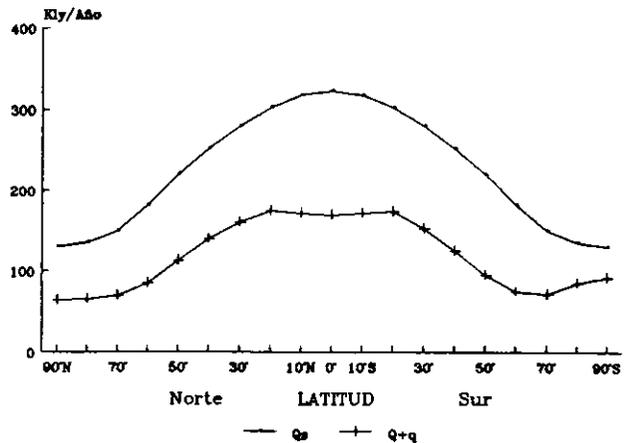


Figura 9. Comparación entre la radiación solar que llega al límite de la atmósfera ( $Q_s$ ) y la que llega a la superficie de la Tierra ( $Q + q =$  directa + difusa).

Como se aprecia en las Figs. 7 y 8, el flujo entrante de energía solar, tiene una cierta distribu-

ción espacial y temporal antes de entrar al sistema tierra-atmósfera; esa distribución (Fig. 9 curva Qs) se ve afectada por la atmósfera y sólo llega a la superficie terrestre una cantidad menor y con distribución un poco distinta (Fig. 9 curva Q + q).

### 3.3. Cambios y variaciones en el almacenamiento de energía

Los cambios y variaciones en el almacenamiento de energía son función de las propiedades físicas del sistema y, se deben a diversas influencias, entre ellas:

- la capacidad de absorción o reflexión de la radiación incidente que depende de la naturaleza de la superficie del sistema o cuerpo que recibe la radiación; esto se cuantifica por lo que se denomina "albedo" que nos indica la parte de la radiación incidente que es reflejada, o sea la que no se absorbe.
- el calor específico de la materia que conforma la superficie receptora y,
- su transparencia o sea la profundidad a la que penetra la radiación.

#### 3.3.1. Albedo

"Albedo" es la relación entre la radiación que refleja la superficie de un cuerpo y la radiación que incide sobre ella.

Un sistema o cuerpo que presenta un albedo alto tiene muy poca capacidad de absorción del flujo incidente de energía, por lo cual su almacenamiento energético será pequeño con respecto a los sistemas (cuerpos) cuyas superficies tienen un albedo pequeño (Tabla 1).

Por ejemplo: la nieve fresca refleja casi toda la radiación que recibe, del 75% al 95%; en cambio, un bosque sombrío absorbe casi toda la radiación que llega.

Por otra parte, si a la superficie de un sistema o cuerpo se le cambia su naturaleza, cambiará su albedo y se modifica su almacenamiento de energía. Por ejemplo, la nieve que se cubre de ceniza puede cambiar drásticamente su albedo, de 80% puede pasar a 20%; o un bosque sombrío que es arrasado puede cambiar de 5% a 20% ó 30%.

#### 3.3.2. Calor específico

Respecto al calor específico, recordemos que cada sustancia tiene su propio calor específico y que esa propiedad cuantifica la cantidad de calor necesaria para elevar en 1°C la temperatura de su unidad de masa.

El agua es la sustancia, después del hidrógeno, que tiene el calor específico más alto; es decir, es

**Tabla 1**  
Albedos para el espectro electromagnético, onda corta (radiación solar) (adaptado y adicionado de Sellers, 1972).

Tipo de Superficie	Albedo (%)
<b>I. Superficies de agua</b>	
Agua: Invierno: 0° Latitud	6
30° Latitud	9
60° Latitud	21
Verano: 0° Latitud	6
30° Latitud	6
60° Latitud	7
Pantano	15-20
<b>II. Areas y suelos desnudos</b>	
Nieve: Caída recientemente (fresca)	75-95
Varios días de caída (vieja)	40-70
Hielo, Mar	30-40
Dunas de Arena: Seca	35-45
Húmeda	20-30
Suelo: Oscuro (Moreno-Trigueño)	5-15
Húmedo, gris cano	10-20
Barro, arcilla seca o grisácea	20-35
Arena clara Seca	25-45
Concreto seco	17-27
Camino, último grado de negro	5-10
<b>III. Superficies naturales</b>	
Pasto: bajo, verde, seco	25-35
Bajo, verde, húmedo o alto	15-20
Bosque: de coníferas	5-15
Especies de hoja ancha	15-20
Mixto, coníferas, especies hoja ancha	10-15
Tropical	15
Eucalipto	20
Sombrío	5
Desierto	25-30
Sabana: Epoca seca	25-30
Sabana: Epoca húmeda	15-20
Chaparral	15-20
Pradera verde	10-20
Bosque temporal	10-20
Tundra	15-20
Cultivos	15-25

capaz de almacenar una gran cantidad de calor y sólo aumenta un poco su temperatura. La arena, por el contrario, tiene un calor específico bajo y, por tal razón, su temperatura cambia rápidamente con sólo una pequeña variación en su almacenamiento de energía (en el agua líquida es 1.0 cal/gramo grado, en el agua sólida es 0.5, en el aire es 0.24, en la arena 0.17, en la arcilla 0.17, en la materia orgánica 0.46, en los cuerpos silíceos 0.17).

#### 3.3.3. Transparencia

El que un cuerpo sea transparente, le permite dejar pasar por su superficie una cierta cantidad de la energía que sobre él incide, sin afectar la temperatura de esa superficie y posteriormente (en el caso del agua) le permite recuperarla y usarla para evitar sufrir un enfriamiento grande. El agua es transparente y la superficie terrestre sólida, no lo es.

**3.4. Procesos de transferencia de energía**

Los procesos de transferencia de energía influentes son:

- radiación electromagnética,
- conducción molecular,
- convección-advección,
- calor latente.

Esas transferencias se dan no sólo entre dos sistemas físicos, sino entre todos y cada uno de los elementos que conforman un sistema físico. Por ejemplo, entre aire y suelo, entre agua y aire, entre suelo y agua, etc.

La cantidad neta de calor transferido entre dos sistemas físicos, o entre dos elementos o entre dos cuerpos, será mayor y, por lo mismo, serán mayores los cambios de temperatura que ocurran en los sistemas cuanto mayor sea la diferencia inicial de temperatura entre esos sistemas.

**3.4.1. Radiación electromagnética**

Sobre la radiación electromagnética, podemos decir que cualquier cuerpo natural, que no esté en el cero absoluto de temperatura, tiene moléculas en movimiento y algo de esa energía cinética molecular se transforma en radiación que emite ese cuerpo.

Los cuerpos calientes, como el sol, emiten energía en un amplio espectro de longitudes de onda corta, cuya banda central corresponde al espectro visible. Los cuerpos fríos como la Tierra, emiten energía en longitudes de onda larga que no cubren el espectro visible (no se ven, pero se sienten como calor) (Fig. 10).

Entre dos cuerpos, uno frío y otro caliente, aunque cada uno emite energía hacia el otro, el intercambio neto es desde el más caliente hacia el menos caliente (Fig. 11).

**3.4.2. Conducción molecular**

En el proceso de conducción molecular la energía, el calor, pasa entre dos moléculas que estén en contacto de la más caliente a la menos caliente. La transferencia neta se realiza desde una molécula a la próxima en contacto con la primera y luego a la siguiente y así, sucesivamente, a lo largo de una trayectoria a través de las moléculas que constituyen el cuerpo (Fig. 12).

Los gases son malos conductores del calor. En el aire este proceso sólo es importante en una delgada capa de aire de pocos centímetros, en contacto directo con la superficie de la tierra; fuera de ésta capa, en general, la transferencia de calor por conducción es despreciable.

La Tierra también es un mal conductor de calor, por lo cual la energía absorbida sólo actúa en la capa superficial y no se transfiere hacia el interior de la Tierra.

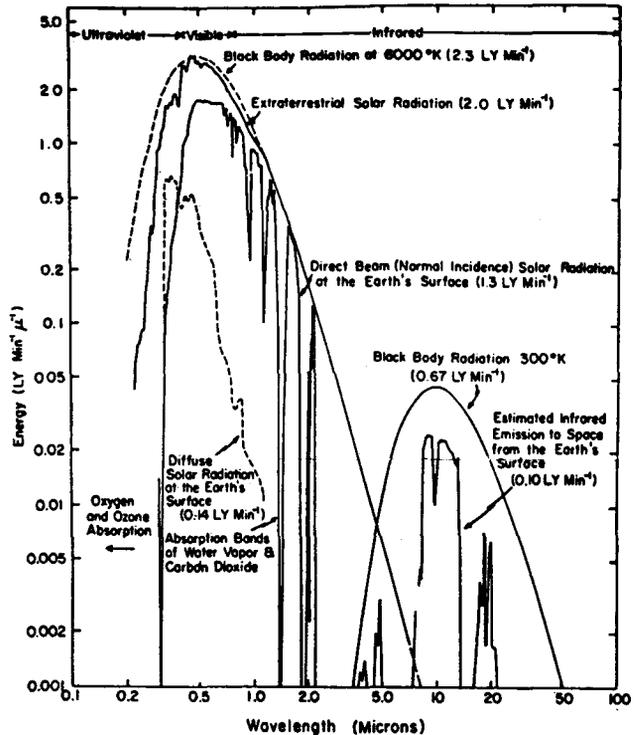


Figura 10. Espectro electromagnético de las radiaciones solar y terrestre. La radiación de cuerpo negro con 6.000°K (Sol) se redujo teniendo en cuenta la distancia Tierra-Sol para mostrar sólo el flujo que llega al límite de la atmósfera (Sellers, 1972).

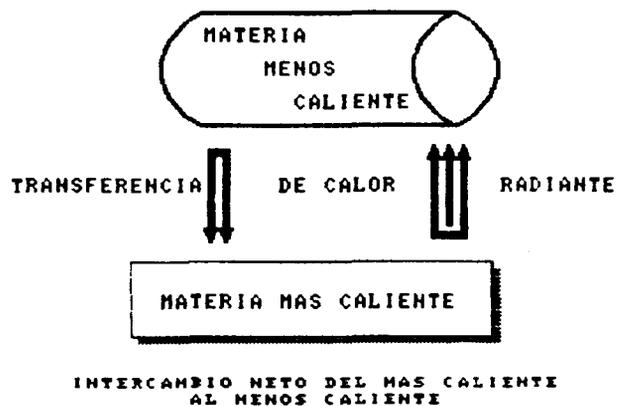


Figura 11. Intercambio de energía entre dos cuerpos con diferente temperatura.

**3.4.3. Convección-Advección**

Los procesos de convección y advección son muy importantes, en la atmósfera, para transportar el calor.

En estos procesos, es el propio cuerpo el que transporta calor cuando se desplaza y la transferencia ocurre de un grupo de moléculas a otro grupo (Fig. 13).

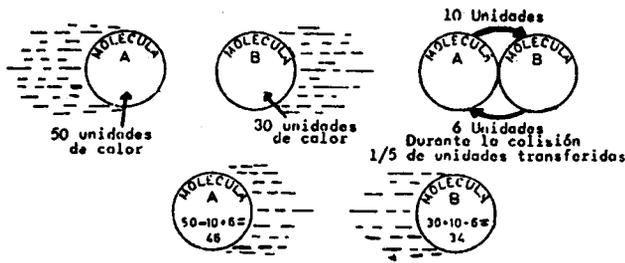


Figura 12. Transferencia de calor por conducción de molécula a molécula (Lowry, 1973).

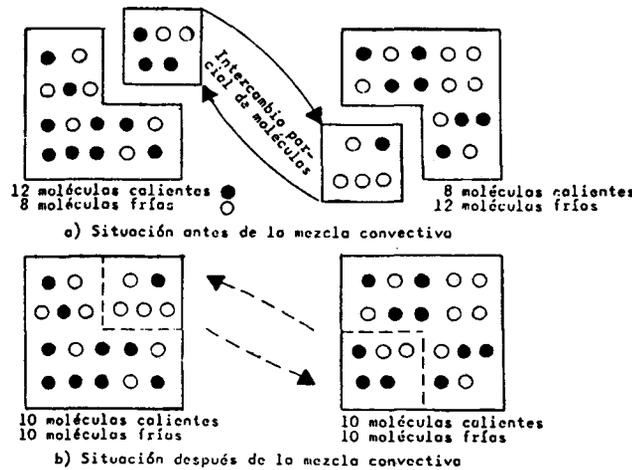


Figura 13. Transferencia de calor por convección, de un grupo de moléculas a otro (Lowry, 1973).

Por las características propias de este proceso, sólo se da en fluidos y no en sólidos.

Convección y advección son procesos físicos análogos; pero los meteorólogos utilizan el término convección para significar la transferencia vertical y el de advección para la horizontal.

### 3.4.4. Calor latente

El calor latente es la energía que hay que añadir a una sustancia para que pase del estado sólido al líquido y/o del líquido al gaseoso.

Este calor latente entra en la atmósfera junto con el vapor de agua que asciende de la superficie terrestre, luego se libera en las capas de aire más altas o en los alrededores, cuando el vapor de agua se condensa para formar nubes.

Esta entrada de calor, en la atmósfera, está ligada al ciclo hídrico y en algunas circunstancias éste proceso de transferencia es el más importante de todos.

### 3.5. Cambios y variaciones en el flujo saliente de energía

Todos los cambios y variaciones en el flujo saliente de energía de un cuerpo (sistema) se originan como una respuesta de cualquier sistema ante los cambios y variaciones que sufre el medio que

rodea ese sistema. Es decir, los sistemas están siempre cambiando constantemente en un intento de alcanzar un equilibrio entre el flujo de energía entrante, proveniente del medio que rodea al sistema y sobre el cual el cuerpo no tiene ningún control, y su flujo saliente, el cual sí controla (Fig. 14).

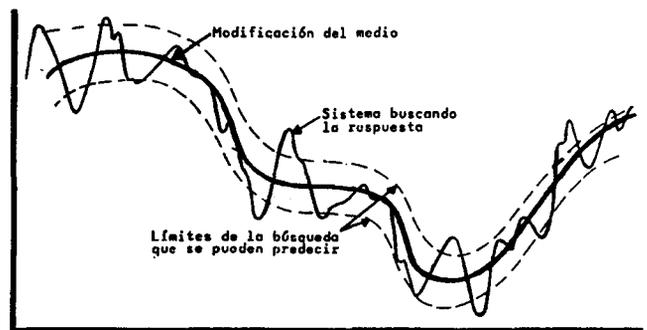


Figura 14. Cambios que sufre un sistema buscando equilibrio con el medio que lo rodea (Lowry, 1973).

### 3.6. Influencia de los factores climáticos

Los diferentes factores climáticos modifican el flujo entrante, el almacenamiento, las transferencias y el flujo saliente de energía; esto contribuye a que las condiciones atmosféricas en un lugar sean continuamente cambiantes y muchas de ellas no se puedan pronosticar. La parte que se puede predecir de las variaciones atmosféricas de un lugar se relaciona con los factores climáticos relativamente constantes que no experimentan cambios horarios, diurnos ni anuales.

Por supuesto, cada factor ejerce su propia influencia para determinar el clima de un lugar y participa en todos los mecanismos de transferencia de energía que buscan el equilibrio energético en el lugar.

Por ello, todos los factores influyen, más o menos, en la determinación del clima. Aquí sólo veremos la influencia individual de algunos de los más importantes.

#### 3.6.1. Influencia de la latitud

La latitud de un lugar determina una gran cantidad de procesos relacionados con el sol y con la insolación o la recepción de la radiación solar (Fig. 15).

Además de los cambios estacionales en el total diario de la energía solar entrante, existen importantes cambios horarios relacionados con la latitud; algunas de esas influencias son las siguientes:

- a) determina, para una fecha dada, las horas de orto y ocaso (salida y puesta del sol) y, por lo tanto, la duración del día y de la noche.
- b) fija la dirección en la cual se verá el sol en el horizonte en el momento de salir o de ponerse,

- c) donde se encontrará el sol en el cielo en un momento de un determinado día y, por lo tanto, la altura del sol, al mediodía,
- d) las variaciones del clima "solar" y los contrastes entre las estaciones, son mucho mayores en latitudes altas (cerca de los polos),
- e) la variación de la duración del día entre verano e invierno, aumenta a medida que nos acercamos a los polos,
- f) la duración de la insolación eficaz varía bastante con la latitud,
- g) la intensidad máxima anual de la luz solar, aunque menos, también varía con la latitud. Ese máximo se presenta dos veces al año en las zonas ubicadas entre los trópicos y sólo una vez en los lugares fuera de los trópicos.

En síntesis, la latitud es, tal vez, el factor más importante para determinar la fuente básica de energía del clima de un lugar, o sea la energía radiante del sol que llega cada momento a cada sitio.

### 3.6.2. Influencia de la tierra comparada con la del agua

La diferente influencia de la tierra comparada con la del agua se presenta porque, en la litósfera o en cada una de las diferentes partes sólidas de la tierra, las rocas y suelo tienen calor específico y conductividad térmica baja.

La mayor parte del calor que la tierra absorbe del sol, se almacena en la capa superficial durante el día y el verano (aumentando bastante la temperatura), para luego disminuir rápidamente ese almacenamiento durante la noche e invierno (disminuyendo bastante la temperatura).

En la hidrósfera, en particular, y en los cuerpos de agua, en general, el gran calor específico del agua y la transferencia de calor a su interior por efecto de la convección, evitan que una buena parte del calor se almacene en la capa superficial y protegen, de esa forma, la temperatura del agua superficial de los grandes cambios entre el día y la noche.

También, en los sistemas acuosos, parte de la luz del sol es absorbida por el agua situada debajo de la superficie, ya que el agua es más o menos transparente. Además, la superficie del agua se enfría constantemente por evaporación.

Por ello, la temperatura de la superficie del agua, y la del aire que está encima, varía mucho menos entre día y noche y entre invierno y verano, comparada con la temperatura de las superficies sólidas de la tierra y la del aire que está encima de ellas.

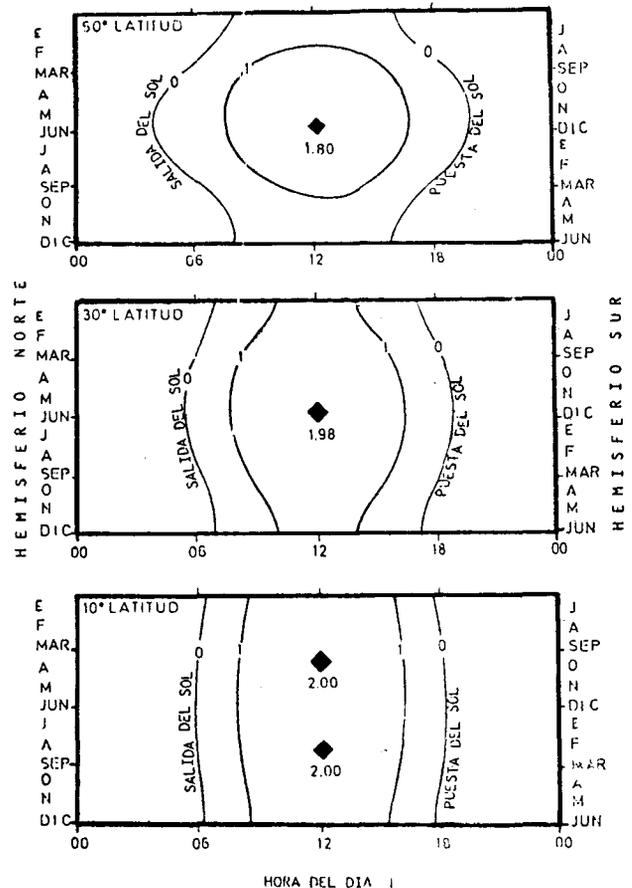


Figura 15. Variación temporal y espacial de la hora de salida y puesta del sol (0), del comienzo de la insolación eficaz (1) y de la intensidad máxima anual (♦). Las unidades son Langley/min (Lowry, 1973).

En definitiva, existirá menos variabilidad climática en un lugar oceánico que en uno terrestre, aun cuando estén a la misma latitud y muy cercanos el uno del otro. A medida que el lugar considerado se aleja del litoral, mayor será la variación en Tierra y menor sobre el agua.

Una comparación entre algunas de las propiedades de la Tierra y el agua puede apreciarse en la Tabla 2 y los efectos que ello ocasiona sobre la temperatura de esas superficies y el aire se relacionan en la Tabla 3.

### 3.6.3. Influencia de la distancia al litoral

La influencia de la distancia al litoral se aprecia porque, durante el verano o día, los vientos estacionales o diurnos que soplan de mar a tierra, traen aire más frío y húmedo a los lugares terrestres; mientras que en invierno o de noche, cuando los vientos soplan de la tierra hacia el mar, el lugar

**Tabla 2**  
Características de algunas de las propiedades de la tierra y el agua

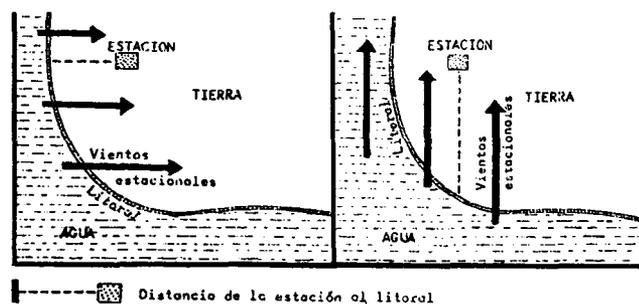
Propiedad	Tierra	Agua
Calor específico	Bajo	Alto
Conductividad	Muy baja	Baja
Convección	No	Si
Advección	No	Si
Transparencia	No	Si
Evaporación	No	Si

**Tabla 3**  
Efectos que ocasionan las diferentes propiedades de la tierra y el agua sobre su temperatura y amplitud, de esas superficies y del aire que reposa sobre ellas.

Período	Tierra	Agua
<b>Temperatura</b>		
Día	Alta	Media
Verano	Alta	Media
Noche	Baja	Media
Invierno	Baja	Media
<b>Amplitud de la temperatura</b>		
Diurna	Alta	Baja
Anual	Alta	Baja

terrestre recibirá aire más cálido y seco. Por lo tanto, un lugar terrestre cercano a un litoral importante tendrá menos variación de temperatura y condiciones más húmedas cuanto más próximo esté a dicho litoral que otro sitio más alejado tierra adentro.

Para medir la distancia al litoral y conocer como afecta este factor al clima del lugar, es preciso medir la distancia a lo largo de la trayectoria del aire entre la estación y el litoral; esa distancia puede no ser la más corta y puede variar de un período a otro (Fig. 16).



**Figura 16.** Determinación de la distancia al litoral  
(Lowry, 1973).

En cualquier caso, los valores de los elementos climatológicos, entre ellos temperatura y humedad,

dependen en gran parte de la situación del lugar respecto a los vientos costeros.

### 3.6.4. Influencia de la topografía

La topografía influye en la determinación del clima de un lugar de dos formas principales, aun cuando existen muchas formas secundarias.

En primer lugar, el sitio puede estar más o menos expuesto a la radiación solar, más o menos soleado, dependiendo de la combinación de la latitud, pendiente y dirección de la vertiente. Esto resulta bastante claro cuando se piensa en experiencias muy conocidas; por ejemplo, en las cuatro paredes de una casa: a) la pared frente al polo rara vez recibirá los rayos del sol; cuando ésto ocurre, el ángulo con el cual la luz incide contra ella es pequeño y rara vez se elevará la temperatura de la misma, al contrario sucede con la pared opuesta; b) las paredes del este y oeste recibirán los rayos del sol más directos a media mañana (la del este) y a media tarde (la del oeste).

Podemos imaginarnos esa casa como una cordillera (cuadrada, rectangular, piramidal, con diferentes pendientes, etc.) y ubicarla en varias latitudes y con diferentes orientaciones: norte, sur, este, oeste, etc. Hay un número ilimitado de combinaciones de latitud, pendiente y dirección de la vertiente, y una gran variedad de soleamientos por el aspecto del lugar y su situación en la orografía del país. Esas combinaciones tienen un efecto importante sobre el clima de los diferentes lugares y contribuyen a acrecentar la diversidad climática de Colombia.

En segundo lugar, el clima está afectado por la situación del lugar con respecto a la principal cadena montañosa y por la orientación de las cordilleras cercanas. Las cordilleras orientadas norte-sur, afectan al clima de forma completamente diferente a como lo hacen las que se extienden este-oeste y sus efectos son mayores si se ubican a lo largo del litoral que si se hallan más lejos tierra adentro, o si la orientación de la cordillera es paralela o perpendicular a la dirección del viento.

Si tenemos un lugar situado entre la costa y una cadena montañosa y los vientos soplan del mar a la tierra, las montañas probablemente producirán nubes y precipitación. Existen muchas otras combinaciones de la orientación de la montaña con la de la costa y/o la situación topográfica y/o la dirección de los vientos, que producirán situaciones distintas y contribuirán a la formación de climas distintos.

### 3.6.5. Influencia de la altitud

Por la muy obvia razón de que cuanto mayor sea la altitud, hay cada vez menos masa de aire sobre un lugar, entonces se presenta un descenso de la presión atmosférica con el aumento de la altitud.

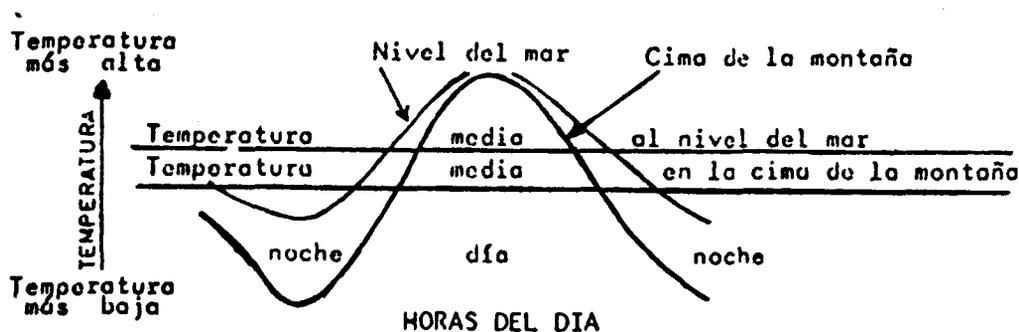


Figura 17. Variación diurna de la temperatura en un sitio ubicado cerca al nivel del mar y otro en la cima de una montaña (Lowry, 1973).

También, lo normal en la primera capa de aire es que la temperatura disminuya con la altura y que la diferencia de temperatura entre el día y la noche, o sea la oscilación diurna de la temperatura, sea mayor a grandes altitudes que cerca del nivel del mar (Fig. 17).

Puede resultar que las temperaturas a mediodía en un lugar de relativa altitud, sean casi tan altas como las que se dan en otro lugar cercano al nivel del mar; sin embargo, con las temperaturas nocturnas sucede lo contrario.

El motivo por el cual la oscilación diurna de la temperatura es mayor a grandes altitudes, es el mismo por el que la presión disminuye con la altura "existe más aire sobre un lugar ubicado cerca al nivel del mar y menos aire sobre un lugar alto".

Cuanto mayor espesor de atmósfera atraviesa la radiación solar, mayor será la disminución de esa radiación y, por eso mismo, la luz del sol será más brillante a mayor altitud; ese hecho justifica las altas temperaturas que se producen a mediodía en las montañas.

Al mismo tiempo que la atmósfera atenúa la radiación solar en mayor proporción, cuanto más largo sea el camino recorrido por los rayos del sol a través de ella, también disminuye en igual proporción la salida de la radiación emitida por la tierra.

Por lo tanto, el calor del día se disipa (al espacio) más rápidamente durante la noche en las zonas altas que en las bajas. Esto ocasiona las temperaturas más bajas que se presentan durante la noche en las montañas.

Por supuesto, hay otras muchas formas en las que influye la altitud; por ejemplo, en la formación o no de nubes orográficas.

Se puede ver claramente que la altitud contribuye grandemente en la diversidad climática y ocasiona que las características de los climas de los lugares altos sean más variables que las de los climas de los lugares con bajas altitudes, que son menos variables.

### 3.7. Algunos sistemas meteorológicos que fijan el mecanismo, particular o general, del clima

Se afirma que la circulación atmosférica es un fenómeno gravitacional, originado y conservado por diferencias de temperatura.

El movimiento del aire, uno de los elementos más importantes de los sistemas meteorológicos, es una tendencia continua y cíclica que se da en las diferentes partes de la atmósfera para que ella se establezca e intente alcanzar el equilibrio.

Las diferencias de temperatura que existen en el aire, entre otras cosas, por causa de las diferentes características de las variadas superficies que cubren la Tierra, son la causa primaria y continua de ese movimiento del aire.

Las escalas en las cuales ocurren los diferentes movimientos del aire, son muy variables: desde vientos que afectan áreas muy localizadas y restringidas hasta aquellos que abarcan todo un hemisferio.

El origen de los vientos es más complicado cuanto más grande sea la escala que ese movimiento abarca; la actividad de los vientos de pequeña escala es casi siempre el resultado de un proceso de convección simple o de una célula convectiva producida o modificada por diferencias locales de temperatura, en cambio los movimientos de gran escala involucran otros factores que causan que la actividad de esos vientos sea más complicada.

#### 3.7.1. La circulación general de la atmósfera

Antes de ver algunos de los sistemas meteorológicos locales o regionales que fijan el mecanismo particular o general del clima, es conveniente decir algo acerca de la circulación general de la atmósfera. Para esto, a manera de introducción comentaremos algo acerca del movimiento del aire visto por los antiguos.

##### 3.7.1.1. El movimiento del aire visto por los antiguos

El movimiento es la más notable de las propiedades del aire y, antes de saber su composición o el

papel que desempeña en el mantenimiento de la vida, el hombre aprovechó esa movilidad para impulsar sus naves y le temía a las tormentas del viento.

La "Torre de los vientos", en Atenas, es un observatorio primitivo del primer siglo antes de Cristo (Fig. 18). Sobre sus ocho caras se encuentran figuras que representan los ocho vientos admitidos por Aristóteles tres siglos antes. El parece haberse anticipado a las ideas modernas y dividió los vientos describiendo el tiempo que "probablemente" produciría cada uno de ellos.

### 3.7.1.2. Circulación del viento sin tener en cuenta la rotación, inclinación y topografía terrestre

Bajo las condiciones teóricas de que la circulación atmosférica no estuviese afectada por la rotación, la inclinación o la topografía de la tierra, el aire calentado en el Ecuador se dilata, se eleva y se

desplaza —en altura— hacia el norte y el sur, llegando a los polos; ese aire ya frío, denso y seco, desciende de nuevo a la superficie terrestre y se mueve de regreso hacia el Ecuador (Fig. 19).

### 3.7.1.3. Circulación general de la atmósfera si la tierra fuera lisa y uniforme

La circulación general de la atmósfera, con tierra lisa y uniforme, tendría las siguientes características (Fig. 20):

- el aire al calentarse se eleva y pasa del Ecuador a los polos por un sistema de tres células de viento:
  - 1) el aire asciende en el Ecuador y desciende aproximadamente, en  $30^\circ$  de latitud,
  - 2) el aire desciende, aproximadamente, en  $30^\circ$  de latitud y asciende en, aproximadamente,  $60^\circ$ ,
  - 3) el aire asciende en, aproximadamente,  $60^\circ$  de latitud y desciende en, aproximadamente  $90^\circ$ ;



Figura 18. El movimiento del aire visto por los antiguos (Eslava, 1977).

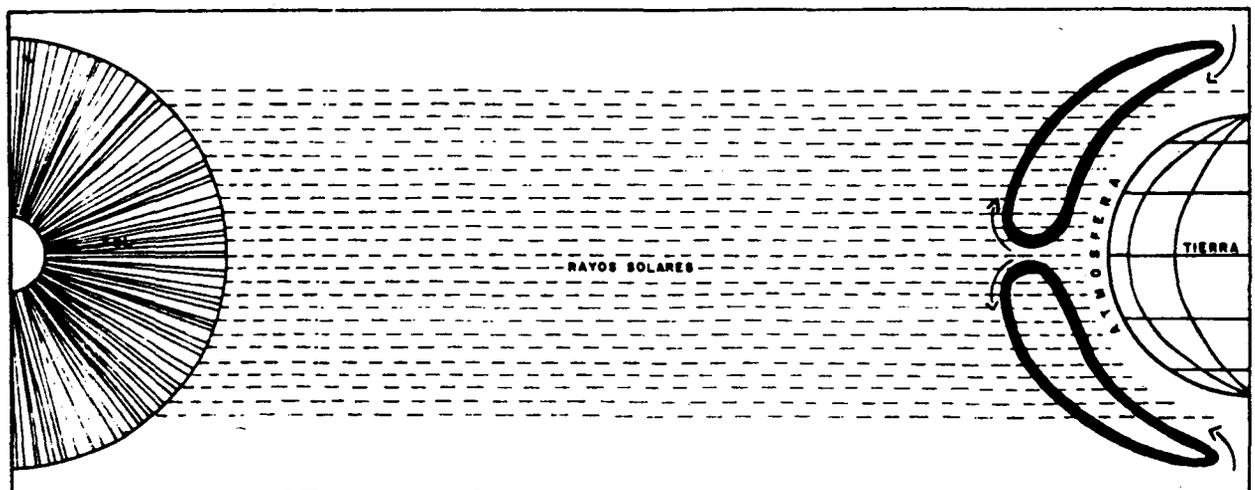


Figura 19. Circulación del viento sin tener en cuenta la rotación, inclinación y topografía terrestre (Eslava, 1977).

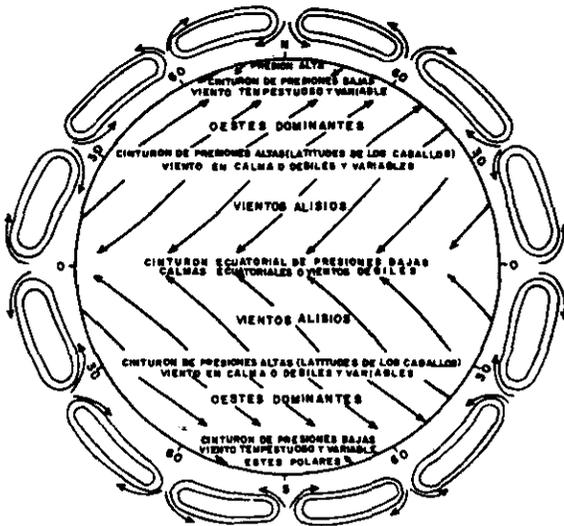


Figura 20. Circulación general de la atmósfera si la Tierra fuera lisa y uniforme (Eslava, 1977).

- donde las corrientes de aire tienden a descender (polos y  $30^\circ$  de latitud) se dan regiones de elevadas presiones y, donde el aire es ascendente ( $60^\circ$  de latitud y Ecuador) se presentan cinturones de baja presión;
- el aire que descende en el cinturón entre latitudes medias y tropicales,  $30^\circ$  de latitud, crea la zona de altas presiones y vientos suaves que desde hace siglos se conoce como “latitudes de los caballos”;
- el aire ecuatorial ascendente ocasiona la región llamada de las “calmas ecuatoriales”; allí, debido a que el movimiento del aire es vertical, los mares están en calma, perturbados solamente por algunos vientos intermitentes.

La ordenada circulación norte-sur (teórica) de los vientos medios al nivel del mar, producida por esas células giratorias, es deformada por la rotación de la tierra y se producen vientos que soplan en diagonal, quedando un conjunto sistemático.

Ese conjunto sistemático, se conforma de:

- los vientos alisios del noreste (hemisferio norte) y del sureste (hemisferio sur), de  $0$  a  $30^\circ$  de latitud;
- los vientos predominantes del oeste, de  $30$  a  $60^\circ$  de latitud;
- los vientos polares del este, de  $60$  a  $90^\circ$  de latitud.

Tres son, entonces, los principales sistemas de viento que soplan según un ciclo ordenado de movimientos y que influyen en el clima de la tierra.

Sin embargo, la influencia de tierras, mares, topografía y otras condiciones locales, dividen ese conjunto sistemático en millones de corrientes locales.

### 3.7.2. Algunos vientos locales

Los vientos locales son los responsables de la mayoría de las particularidades de los climas en una determinada localidad donde la superficie de la tierra no sea uniforme. Sus efectos, a menudo, son muy marcados, particularmente cuando provienen de otros fenómenos o situaciones meteorológicas.

#### 3.7.2.1. Brisas de mar y de tierra

Las brisas de mar y de tierra se deben a la diferencia de temperatura del aire que está sobre el mar y el que está sobre la tierra (Fig. 21).

La estructura general de éstas brisas indica que por la mañana (A) es pequeña o nula la diferencia de temperatura y presión entre la tierra y el mar.

Durante el día (B), el sol calienta la tierra y ésta a el aire que está encima de ella, en una forma mucho más rápida de lo que sucede en el mar. El resultado es que a nivel del mar se establece una fuerza debida a la presión que hace que el aire encima de la tierra se eleve y un aire fresco entre acelerado desde el mar hacia la tierra (brisa de mar). Por la tarde, cuando el aire se enfría desaparece el contraste de temperaturas y la brisa se detiene.

Durante la noche (C), la tierra está más fría que el mar y se invierte el proceso: el mar que conserva gran parte de su calor diurno, calienta el aire que está encima, éste se eleva y es sustituido por un aire fresco que sopla de la tierra (brisa de tierra).

Las brisas así descritas se presentan con regularidad casi cromométrica, especialmente a lo largo de las costas ecuatoriales y tropicales, en donde alcanzan velocidades máximas entre 17 y 21 metros por segundo, se extienden hasta 160 kilómetros al interior del continente y afectan una capa de unos 1.200 metros de altura.

#### 3.7.2.2. Brisas de valle y montaña

Las brisas de valle y montaña se presentan, obviamente, en las áreas montañosas y como resultado de la diferencia de temperatura entre el aire situado sobre las pendientes y el que se encuentra sobre el centro del valle a la misma altura, son corrientes superficiales hacia arriba de las montañas en el día y hacia el valle en la noche (Fig. 22).

La brisa del valle o viento anabático, es el conjunto de corrientes superficiales que se dirigen, durante el día, hacia las montañas y hacia la parte superior de las pendientes. Se compone de dos elementos: el viento del valle y el viento pendiente arriba (llamado también viento térmico hacia arri-

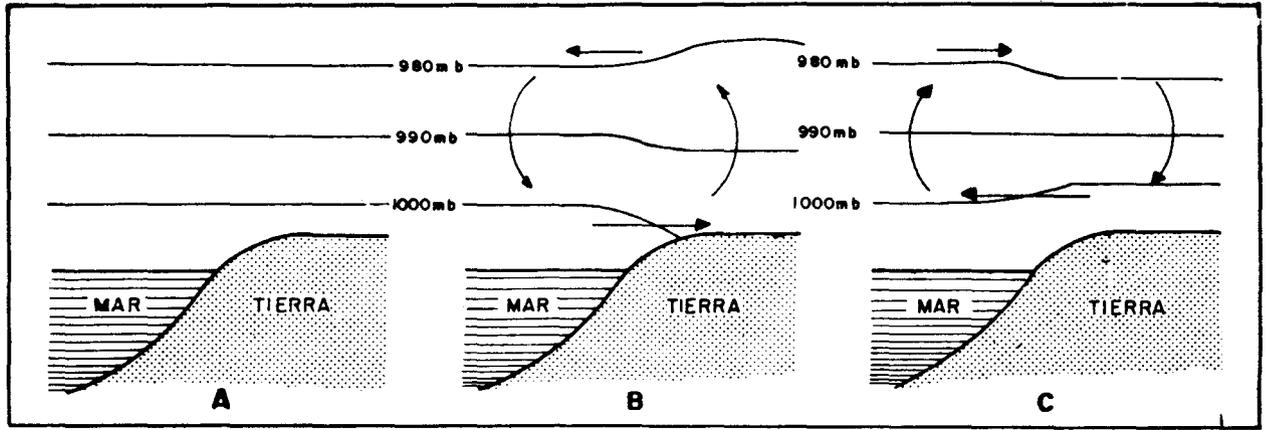


Figura 21. Brisas de mar y de tierra (Eslava, 1977, 1986).

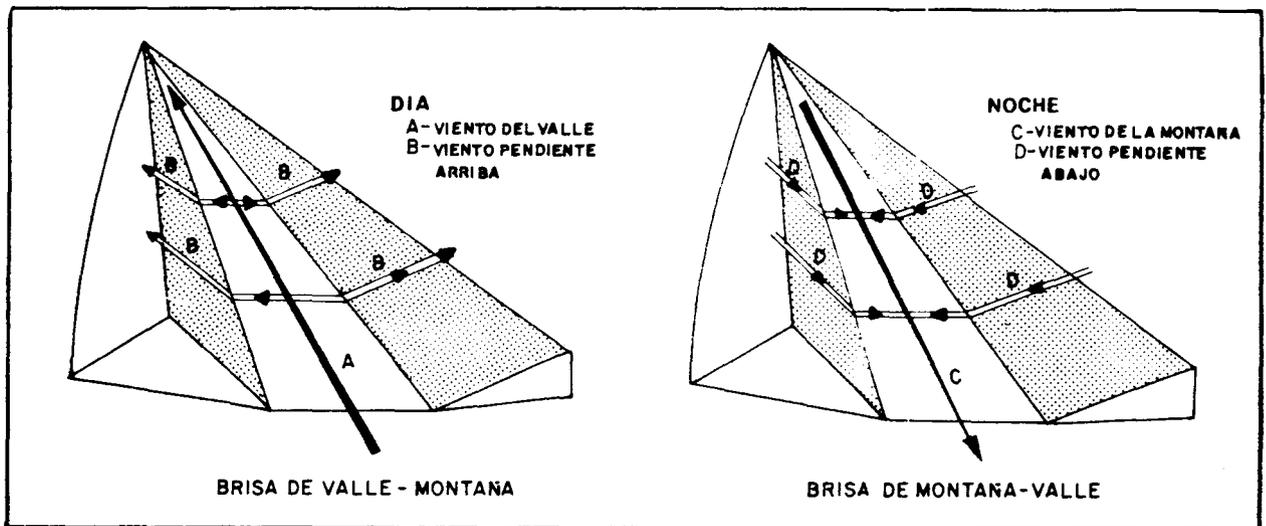


Figura 22. Brisas de valle y montaña (Eslava, 1977, 1986).

ba de la pendiente), evidencia de este último es el desarrollo de nubes cumuliformes en la tarde sobre las cumbres y cimas.

La brisa del valle sopla desde cerca de las 9 ó 10 de la mañana hasta la puesta del sol y alcanza su valor máximo durante la hora más calurosa del día.

Durante la noche, las corrientes superficiales que se forman se dirigen de la montaña hacia el valle y se llaman brisa de montaña o viento catabático; se compone también de dos elementos básicos: viento de la montaña y viento pendiente abajo.

### 3.7.2.3. Föhn, Chinook o Zonda

El "Föhn", "Chinook" o "Zonda" es un viento fuerte, seco y caliente, que se desarrolla ocasionalmente en la ladera de sotavento de las cordilleras con intensidad variable y puede tener lugar a sotavento de cualquier cordillera. En los países europeos se les llama "Föhn", en Norteamérica "Chinook", en Suramérica "Zonda" (Fig. 23).

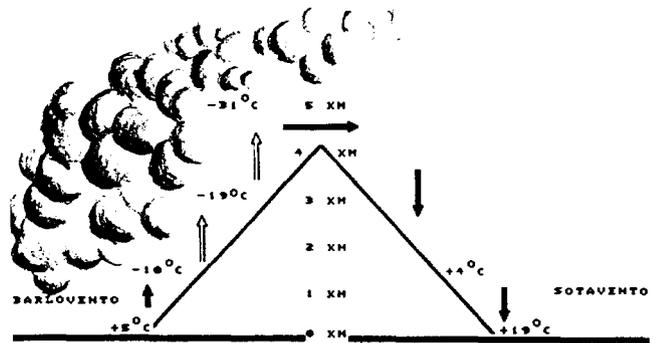


Figura 23. Föhn, Chinook o Zonda.

Los cambios bruscos, la combinación de calor, sequedad excesiva y vientos fuertes rafagosos, origina en los humanos desagradables reacciones fisiológicas y psicológicas: son muy comunes la irritabilidad, los dolores de cabeza, etc. Estos vientos secan la tierra, los árboles y los cultivos, creando condiciones favorables para los incendios de bosques. Los efectos se intensifican considerablemente si del lado de barlovento el movimiento ascendente del aire esta acompañado de precipitación: cuando el

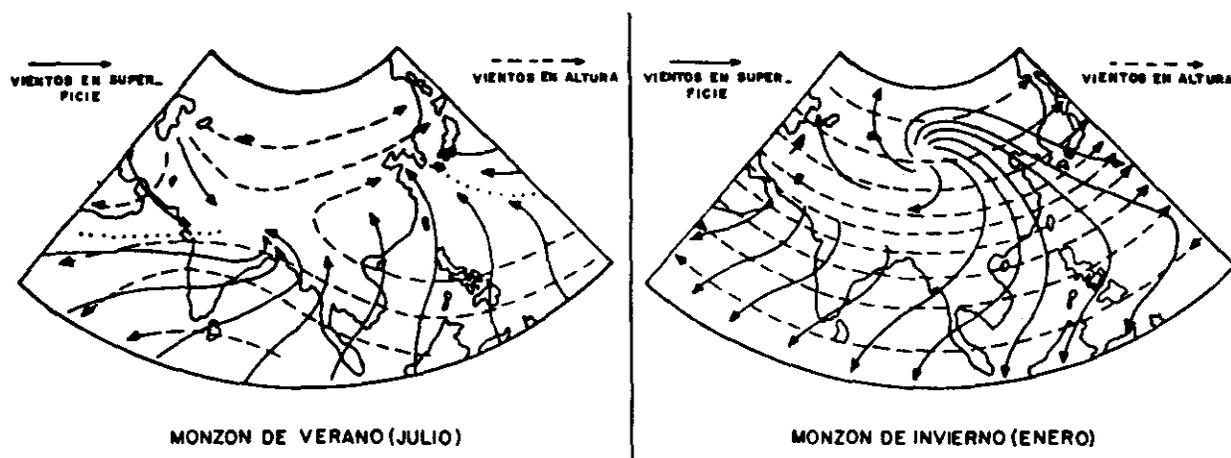


Figura 24. Monzón (Eslava, 1977).

aire, no saturado, asciende en ese sector se enfría  $10^{\circ}\text{C}$  por cada kilómetro y si está saturado, se enfría unos  $6^{\circ}\text{C}$  por cada kilómetro; cuando desciende en sotavento se calienta unos  $10^{\circ}\text{C}$  por cada kilómetro.

La llegada de estos vientos se hace notoria por una gran elevación de la temperatura y un descenso de la humedad; el cambio es particularmente brusco cuando hay aire frío y húmedo en las tierras bajas antes de la llegada del aire caliente.

### 3.7.3. Algunos vientos regionales

Para ilustración mencionaremos algunos de los vientos regionales, entre ellos el más dramático e histórico de los vientos regionales persistentes: el monzón.

#### 3.7.3.1. Monzón

El monzón es una palabra derivada del árabe "mausim" (estación). En los términos más sencillos, el monzón es una brisa marina y terrestre amplificadas: en vez de limitarse a estrechas franjas costeras, avanza y retrocede sobre centenares de miles de kilómetros y, en lugar de seguir el ritmo del día y la noche, está relacionado con el ciclo de verano e invierno (Fig. 24).

La tierra se calienta en verano y se enfría en invierno, pero la temperatura del océano adyacente permanece relativamente constante; resulta que, en verano se levantan sobre la tierra grandes corrientes convectivas y el aire del océano se desplaza hacia el continente, creando el prolongado monzón de verano, con alto contenido de humedad.

Durante el invierno, cuando los continentes están más fríos que el océano, el proceso se invierte y se crea el monzón de invierno, con casi nulo contenido de humedad.

Vientos semejantes al monzón existen en muchas partes del mundo, pero los monzones mejor

definidos son dos sistemas asiáticos divididos por los Himalayas: uno es el monzón de Asia Oriental, viento predominante en el Japón y China Continental; el otro es el monzón del Asia Meridional, engendrado por el calentamiento y enfriamiento de la gran Península de la India, que se proyecta hacia el interior del Océano Indico.

#### 3.7.3.2. Vientos Alisios

Los vientos Alisios que soplan sobre las regiones Ecuatoriales y Tropicales son, por su mecánica, semejantes a los monzones. Son vientos de convección en gran escala que soplan persistentemente, del noreste en el hemisferio norte y del sureste en el hemisferio sur (Fig. 20).

Cuando el aire en las "latitudes de los caballos" desciende a la tierra, se divide volviendo una corriente al Ecuador y la otra hacia los polos; la corriente ecuatorial forma los vientos Alisios, suaves vientos que impulsaron a Colón hacia América y que son los más constantes y persistentes de la Tierra.

Los vientos Alisios y los predominantes del oeste, contribuyeron al tráfico de esclavos desde el siglo XVI hasta fines del XIX (Fig. 25). Las naves se movían con los vientos Alisios del noreste, de Europa a Africa, llevando mercancías que entregaban a cambio de esclavos; seguían luego con su cargamento humano con los Alisios del sureste y noreste hasta América, donde cambiaban los esclavos por ron, algodón, etc.; después volvían a Europa para repetir el ciclo.

#### 3.7.2.3. La Zona de Confluencia Intertropical

Como ya mencionamos, la región ecuatorial es el sitio de reunión de los vientos Alisios. Los dos sistemas de vientos Alisios (del noreste y sureste) se encuentran a lo largo de la Zona de Confluencia Intertropical (ITC). En ella los vientos son generalmente débiles y predominan las calmas.

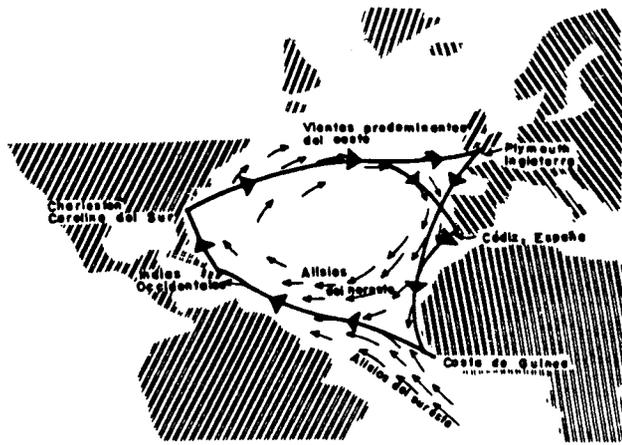


Figura 25. Vientos Alisios

Las posiciones de los vientos en enero y julio (invierno y verano astronómicos del hemisferio norte) presentan pequeñas variaciones sobre los océanos Atlántico y Pacífico Oriental y grandes sobre Africa y Suramérica (Fig. 26).

En el sector Asiático, las grandes variaciones que se presentan son ocasionadas por la presencia del monzón de invierno y verano.

La localización geográfica de Colombia, ubicada en el extremo noroccidental de América del Sur, entre aproximadamente 4° de latitud sur y algo más de 13° de latitud norte, en conjunto con la influencia que ejerce la Zona de Confluencia Intertropical (ITC), condicionan las propiedades físicas de la atmósfera que definen el tiempo y el clima. Actúan también sobre las características climáticas de Colombia, todas las condiciones físicas que le son propias (forma, orientación, rango de altitudes, topografía, vegetación, presencia tierra-agua, no continentalidad, distancia al litoral, etc.) y que producen o modifican los elementos que crean el clima.

En parte, con base en los análisis efectuados por Lessman & Eslava (1985), se pueden concluir las siguientes características generales de la ITC

que fijan el mecanismo general de los climas para Colombia.

La mencionada situación geográfica de Colombia, hace que casi toda su extensión quede condicionada a la influencia de la ITC. Por tal razón, las condiciones y variaciones, a través del tiempo, de las masas de aire que influyen y definen el tiempo y el clima en Colombia, están muy ligadas a la presencia de la I.T.C. que es, entonces, el sistema meteorológico que fija el mecanismo general del clima.

La ITC, es una zona de la atmósfera en la que confluyen dos masas de aire con baja presión relativa, se sitúa aproximadamente paralela al Ecuador y está ubicada entre dos núcleos de alta presión atmosférica. Esta zona, y las masas de aire que confluyen en ella, se desplaza con respecto al Ecuador siguiendo el movimiento aparente del sol, con un retraso de 5 a 6 semanas y una amplitud latitudinal media, aproximada, de 20° en Africa, 30° en Asia y 20° en América del Sur.

La diferencia de presión entre los núcleos de altas presiones y la ITC, da origen a movimientos horizontales del aire desde los Trópicos hacia el Ecuador; el aire se desvía por el movimiento de rotación de la tierra y soplan finalmente, desde el noreste en el sector ubicado en el norte y desde el sureste en el sur. Las áreas que no están, en un período dado, bajo la influencia de la ITC, se condicionan a los efectos de masas de aire relativamente seco, subsidente y estable, y disfrutan, en términos generales, de buen tiempo, relativamente seco y soleado. Por el contrario, si están bajo la influencia de la ITC, el cielo es nuboso y se presentan abundantes lluvias; algunas veces se originan turbulencias dinámicas y/o térmicas que ocasionan procesos de fuerte convección (ascenso de aire), condensación del vapor de agua (al enfriarse por el ascenso) y precipitación.

En Colombia la ITC fluctúa, aproximadamente, entre 0° de latitud, posición en la que se encuentra en enero-febrero (Fig. 27), y 10° de latitud

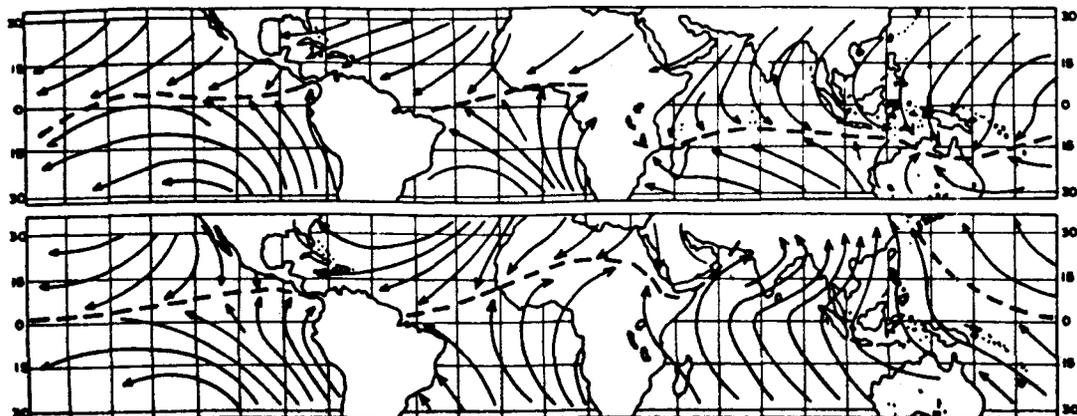


Figura 26. Vientos medios (→→→) en la región ecuatorial (Alisios) y ubicación de la ITC (---) en enero y julio.

norte, posición extrema que se puede alcanzar en julio-agosto (Fig. 28).

El desplazamiento ocasiona que en la mayor parte de Colombia se presente, durante el año, un doble máximo y un doble mínimo de precipitaciones y, por supuesto, también de los demás elementos meteorológicos.

Es decir, la ITC, pasa por el centro de Colombia dos veces al año:

- una primera vez entre abril y mayo, cuando se desplaza hacia el norte y ocasiona el primer período lluvioso que va acompañado de un pequeño descenso en las temperaturas medias, con una disminución de las temperaturas máximas y un aumento de las mínimas;
- una segunda vez entre septiembre y octubre, cuando regresa de su posición norte más extrema, alcanzada en julio-agosto, y se dirige al sur, originando el segundo período lluvioso que es el más fuerte y también se acompaña de un descenso en las temperaturas medias, disminución de las temperaturas máximas y aumento de las mínimas.

Los procesos zonales de convección térmica y dinámica, junto con la influencia extensiva de la ITC, juegan una importancia decisiva en el régimen

climático, notándose su acción especialmente en las áreas planas de las regiones septentrionales y orientales de Colombia.

Por otra parte, en la Región del Pacífico, especialmente en la zona norte, parece ser que la ITC cede, en parte, su influencia predominante a un fuerte proceso de circulación ciclónica que se encarga de la formación de sistemas nubosos productores de fuertes y constantes precipitaciones.

Además de los procesos convectivos, térmicos y dinámicos mencionados, y de los ascensos y descensos de aire que guardan una relación directa con la ITC, también se hacen presentes movimientos del aire, horizontales y verticales, determinados por causas locales y condicionados básicamente por la configuración del relieve, la vegetación y la relación tierra-agua que originan estabilización o inestabilización de la atmósfera lo cual ocasiona, a su vez, muy escasas o muy abundantes precipitaciones, respectivamente. También influyen los efectos de las circulaciones locales, como las brisas de montaña-valle y valle-montaña o pendiente-arriba y pendiente-abajo, que demuestran su presencia básicamente porque refuerzan la influencia de los otros procesos o sistemas meteorológicos actuantes y determinan el período del día en el cual se presenta una mayor precipitación y coadyuvan a su producción en las épocas en las cuales esos otros procesos o sistemas meteorológicos no son totalmente condicionantes.

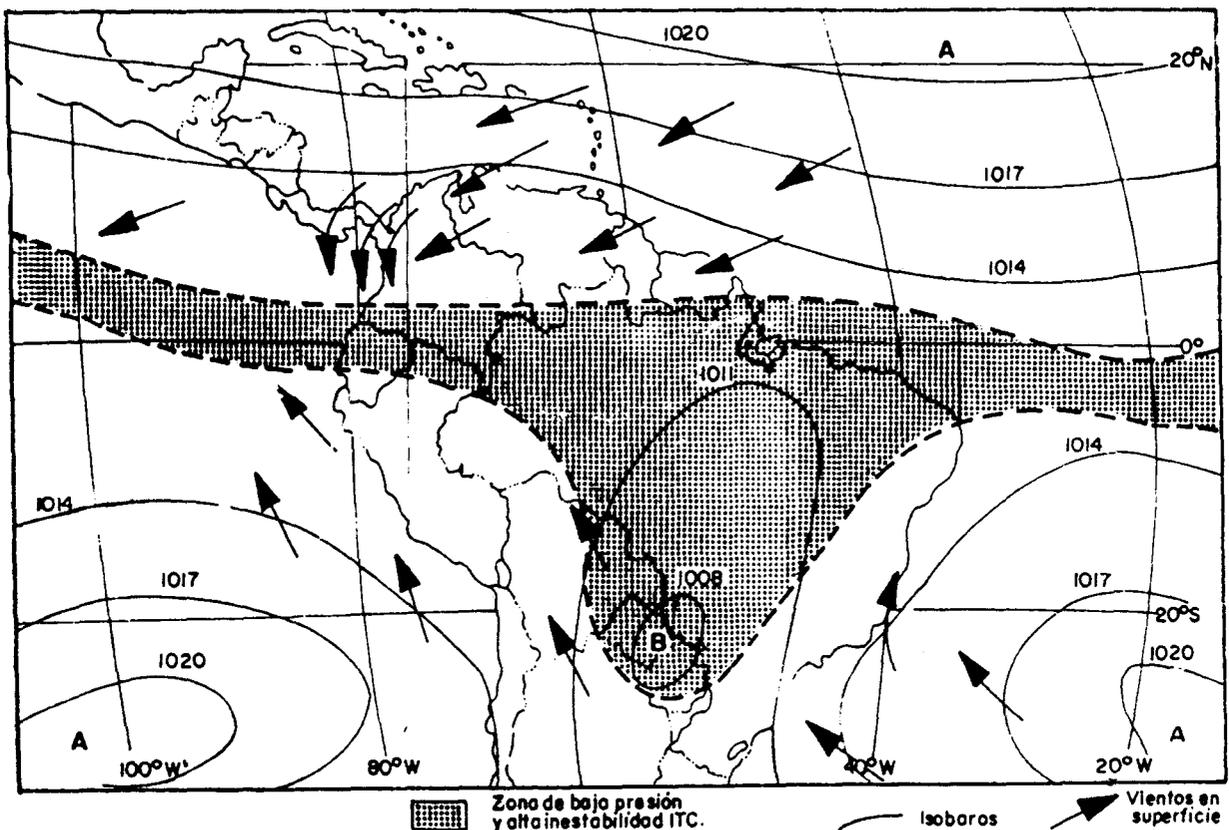


Figura 27. Situación atmosférica en América del Sur, en enero (Frère, Rijks & Rea, 1978).

### 3.7.2.4. "Upwelling" o Surgencia y Fenómeno "El Niño"

El "Upwelling" o surgencia, es una situación en la cual el agua de mar, profunda, asciende debido, en principio, a la acción de los vientos que soplan paralelamente a la costa. Las regiones de surgencia más importantes se encuentran frente a las costas de California, Perú, Marruecos, Africa Sudoccidental, Australia Sudoccidental, Somalí y Arabia (cuando sopla el monzón de verano) y, en el golfo de Omán y bahía de Bengala (cuando sopla el monzón de invierno).

Cuando los vientos soplan hacia el Ecuador, a lo largo de las costas occidentales, las aguas superficiales son arrastradas hacia las bajas latitudes (Ecuador) y la fuerza de Coriolis desvía las aguas costeras hacia altamar, por lo cual el agua fría de la profundidad asciende y reemplaza a esas aguas costeras superficiales que han sido desviadas.

Las surgencias, en general, tienen importantes consecuencias meteorológicas y económicas. Por ejemplo, la corriente del oeste del Pacífico Sur (del Perú o de Humboldt) corre paralela a la costa occidental de Sudamérica hasta llegar a unos grados del Ecuador, gira hacia el oeste y se une a la corriente ecuatorial sur. En el lado que mira hacia la costa, el agua superficial se aparta de la misma por el influjo de la fuerza de Coriolis y es reemplazada por agua fría que emerge de las profundidades. Esa agua fría

que surge, va acompañada de fosfatos y otros minerales fertilizantes que son la base de la alimentación de una de las poblaciones de vida marina más ricas del mundo que, a su vez, alimenta a millones de aves que viven de los peces y surte a poderosas flotas pesqueras que operan en esa zona.

Algunos años esa situación no se da y ocurre un desastre, se presenta el fenómeno denominado "El Niño"; la corriente de Humboldt se debilita o se desplaza hacia altamar, por lo cual la surgencia, en las zonas costeras, deja de presentarse. La temperatura de las aguas superficiales costeras se eleva anormalmente y con frecuencia se establece una corriente de agua superficial cálida procedente del norte; situación que es mortal para los peces y demás organismos marinos vivos y aves.

Los cuerpos de peces y aves se descomponen y producen ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ) que es un gas venenoso que despiden olor a huevo podrido, ennegrece la pintura de los barcos y por ello se le llama "el pintor del Callao" derivado del nombre de un puerto del Perú.

"El Niño", es un complejo fenómeno de interacción océano-atmósfera de carácter global, que se origina aperiódicamente en el Pacífico Ecuatorial Occidental. Su nombre se debe a que usualmente se presenta para época de fin de año. Una de las explicaciones meteorológico-oceanográficas más clara y concisa que dan los especialistas al respecto de "El

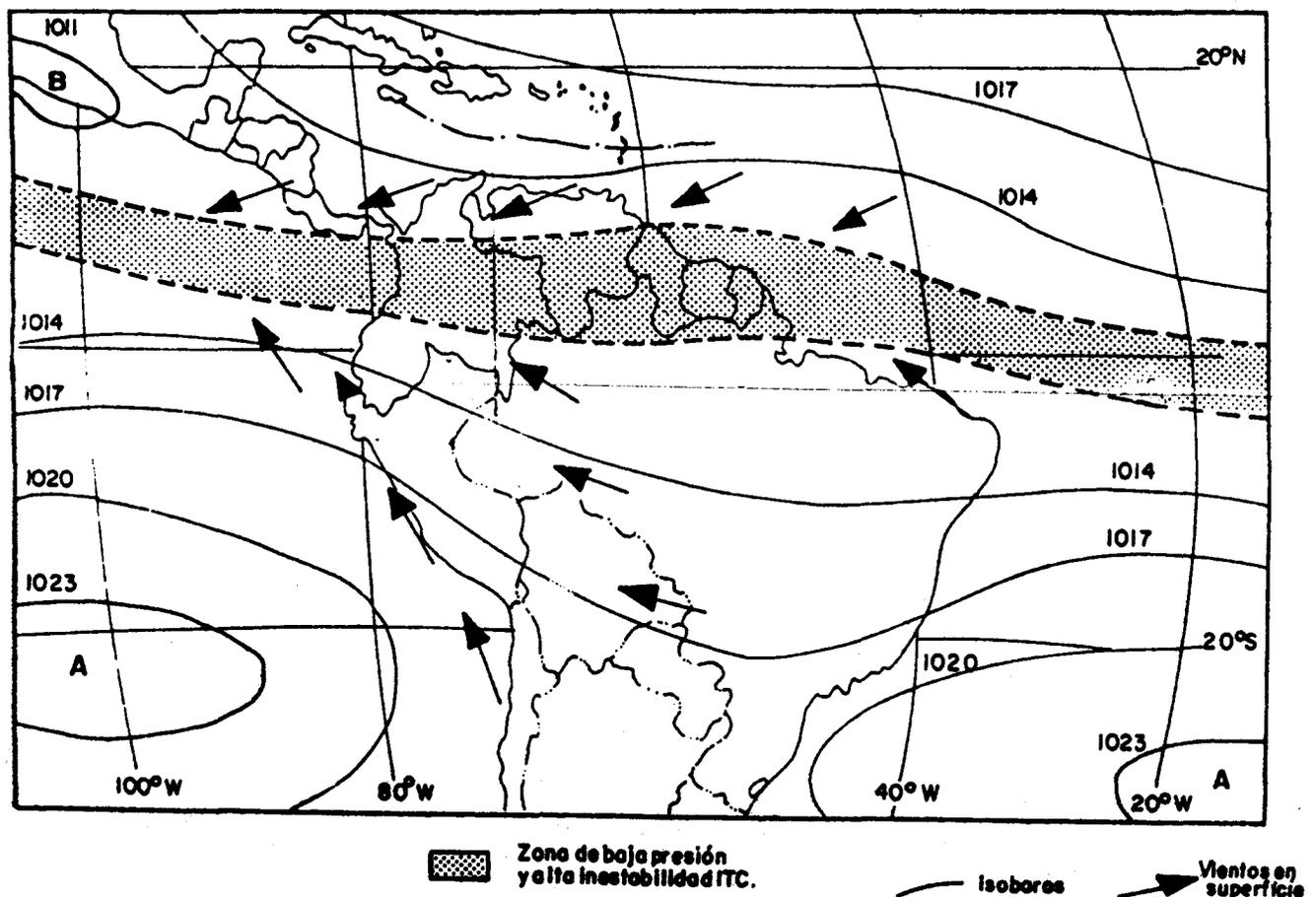


Figura 28: Situación atmosférica en América del Sur, en julio (Frère, Rijks & Rea, 1978).

Niño” es la que se transcribe a continuación, tomada de Montealegre & Zea, 1985.

Lo normal es que en la zona ecuatorial del Océano Pacífico, las masas de aire y las aguas marinas fluyan desde Sudamérica hacia el oeste; este movimiento está asociado con la alta presión atmosférica predominante en la cuenca del Pacífico Sur (Fig. 29). Como compensación a este flujo, surge un gran ascenso de aguas marinas sobre las áreas del Pacífico Sudamericano; ésta “surgencia” trae consigo una gran riqueza biológica a ésta zona; al mismo tiempo que se da acumulación de aguas sobre el Sudeste Asiático que da lugar a un nivel más alto en éste sector que sobre Sudamérica (Fig. 30).

La temperatura de la capa superior marítima en las costas Sudamericanas es menor, porque ésta área recibe aguas frías del sur y de los fondos marinos, mientras que al Sudeste Asiático llegan aguas de mayor temperatura calentadas a través de su recorrido ecuatorial.

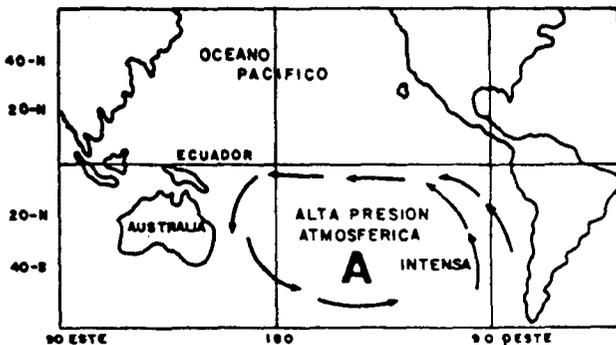


Figura 29. Circulación atmosférica con presión alta e intensa (Montealegre & Zea, 1985).

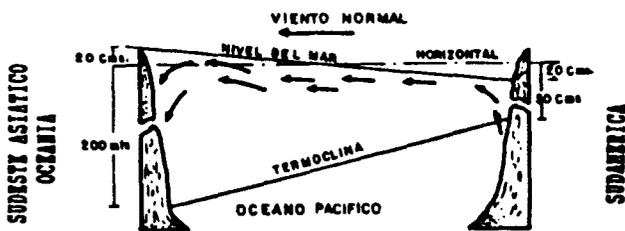


Figura 30. Nivel del mar y termoclina con vientos alisios y normales (Montealegre & Zea, 1985).

Si bien aún se desconoce la dinámica que le da origen, se sabe que “El Niño” se presenta en asociación con el debilitamiento de la alta presión atmosférica del Pacífico Sur. Esto da lugar a una pérdida de velocidad de las aguas marinas y de la atmósfera en la región Tropical cuando se dirigen hacia el Sudeste Asiático, llegando incluso a invertirse el sentido de su movimiento hacia Sudamérica (Fig. 31).

A consecuencia de esto, se registra una invasión de aguas cálidas, acompañada de aumento del nivel del mar y disminución o supresión de la

“surgencia” en Sudamérica, lo cual ocasiona trastornos en el “hábitat” del Pacífico Sudoriental, dando origen a efectos catastróficos, sociales y económicos, a lo largo de la costa Sudamericana (Fig. 32).

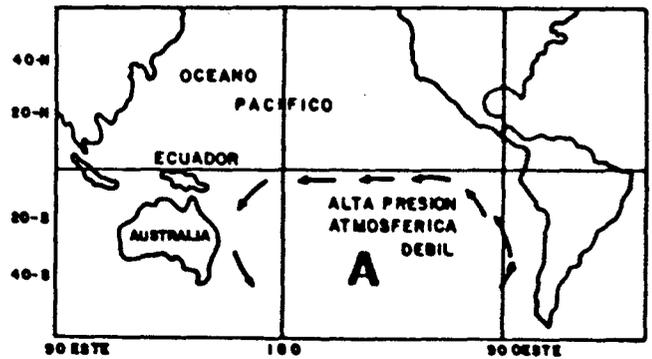


Figura 31. Circulación atmosférica con presión alta y débil (Montealegre & Zea, 1985).

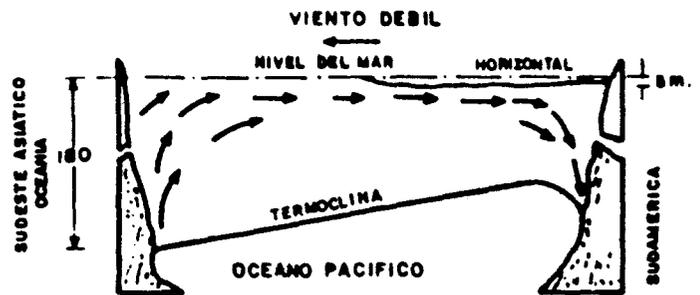


Figura 32. Nivel del mar y termoclina con vientos alisios débiles (Montealegre & Zea, 1985).

El fenómeno “El Niño” ocurre con un período irregular, el cual ha fluctuado en los últimos 45 años, entre 3.5 y 7.5 años. Sus tres últimas ocurrencias se registraron en 1982-1983, 1986-1987 y 1991-1992; ellas ocasionaron marejadas sobre Tumaco (diciembre, 1982 y enero, 1983), perturbaciones en los programas pesqueros, intensas y aperiódicas lluvias e inundaciones en algunas zonas y sequías en otras, una severa oleada de calor en todos los países de la región, al igual que cuantiosas pérdidas en vidas, viviendas, cultivos, recursos pesqueros, vías de comunicación, etc.

#### 4. Diversidad climática o variedad de climas en la tierra

Como una síntesis de todo lo expuesto anteriormente, se puede decir que los valores de los elementos climáticos y, por lo tanto, el clima de un lugar, son el resultado de una serie de procesos muy complejos e intrincados que ocasionan, finalmente, la formación de una gran diversidad de climas.

Por lo que se refiere a la diversidad climática o variedad de climas en la tierra, podemos decir que las primeras explicaciones teóricas que se conocen, respecto a las diferencias climáticas, se deben a los filósofos griegos que hace unos 2.500 años comprobaron que las épocas de invierno eran más frías en

el norte de Grecia y el verano era más caliente al sur de Grecia. Posteriormente, mediante cuidadosas observaciones del ángulo de elevación del sol, idearon una explicación, correcta en principio, de la influencia de la latitud como factor climático. En esa época no se disponía de medios para conocer la variedad verdaderamente gigantesca de climas de la tierra.

Para formarnos una idea primaria, de la existencia de esa gran diversidad climática en el mundo, se han reproducido en la Tabla 4 "algunos" datos de valores extremos, observados, de los elementos climatológicos. En primer lugar se anotan algunos valores mundiales extremos de temperaturas del aire, algunos verdaderamente sorprendentes: por ejemplo, la temperatura máxima observada en la Tierra de  $58^{\circ}\text{C}$ , o un sitio en el cual la temperatura nunca ha superado los  $0^{\circ}\text{C}$ , o nunca ha sido inferior a los  $22^{\circ}\text{C}$ , o un sitio en el cual ella ha descendido hasta valores tan bajos como  $-88.3^{\circ}\text{C}$ .

También se aprecian que existen sitios en los cuales la temperatura media casi no cambia a través del año ( $0.4^{\circ}\text{C}$  en las Islas Marshall). Lo opuesto también existe, en Siberia un sitio en el cual ella varía durante el año  $66^{\circ}\text{C}$ .

Igualmente, la precipitación media anual presenta una gran variedad de posibilidades desde 0,8 mm en Arica-Chile hasta casi 13.000 milímetros (mm) en Cherrapunji-India (por efectos monzónicos) y Lloró-Chocó-Colombia.

La Fig. 33 muestra los datos mundiales de precipitación extraordinaria, ordenados de acuerdo con el periodo de tiempo en que las diferentes cantidades ocurrieron. Se pueden detallar sitios en la India en los cuales durante un sólo mes han caído cerca de 10.000 mm, como comparación se anota que en Santafé de Bogotá el promedio anual está cerca de 1.000 mm; en el otro extremo del gráfico se aprecia que en Baviera en sólo 9 minutos se registraron casi 130 mm, cantidad que es similar a lo que puede caer en todo el mes de octubre en Santafé de Bogotá. También existen grandes zonas del mundo en las que no se han registrado lluvias en períodos superiores a diez años.

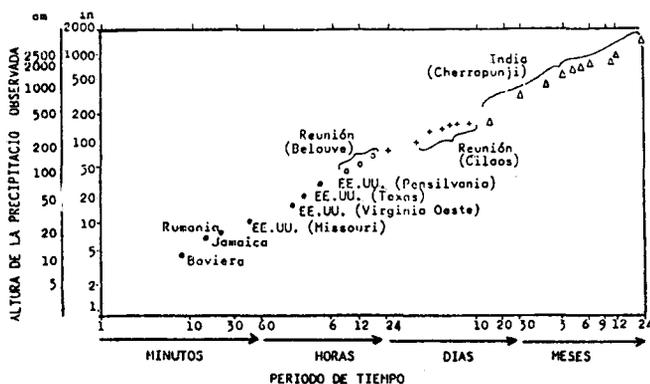


Figura 33. Datos mundiales de intensidad máxima de precipitación para varios periodos de tiempo (Lowry, 1973).

Para terminar estos comentarios recordemos que las innumerables variaciones temporales y espaciales de los diferentes elementos que conforman el tiempo y el clima, dependen básicamente de la interrelación que se da entre ellos mismos y con el conjunto de procesos zonales de convección térmica y dinámica, de la influencia extensiva de los diferentes sistemas meteorológicos, como la ITC, de la presencia de movimientos del aire determinados o condicionados por la geometría Tierra-Sol, la latitud, la altitud, la configuración del relieve, el suelo, la vegetación, etc.

Todos esos formadores, condicionantes o agentes que producen o modifican el clima, ocasionan la verdaderamente grande diversidad climática, la cual se ve reflejada en la naturaleza por los innumerables y diferentes paisajes, formas y tipos de vida, es decir por la Biodiversidad.

## 5. Diversidad climática de Colombia

En Colombia, además de los procesos convectivos, térmicos y/o dinámicos mencionados, y de los ascensos y descensos que guardan una relación directa con la ITC, también se hacen presentes movimientos del aire, horizontales y verticales, determinados por causas locales y condicionados básicamente por la configuración del relieve que, sólo cuando la acción de la ITC es muy poca o nula, dictan el régimen de los elementos meteorológicos.

La principal acción del relieve, condicionada a su orientación respecto al movimiento del aire, es la que determina la inestabilización de la atmósfera durante el obligado ascenso del aire por efectos orográficos en una vertiente (barlovento) y la estabilización durante su posterior descenso en la otra vertiente (sotavento); inestabilización y estabilización que ocasionan, a su vez, muy abundantes o muy escasas nubosidades y precipitaciones.

También influyen los efectos de las circulaciones locales, como las diferentes brisas, que demuestran su presencia básicamente porque refuerzan la influencia de la ITC y los otros procesos, como el ascenso orográfico, fijando así el período del día en el cual se presenta una mayor precipitación y coadyuvando a su producción en los períodos en los cuales la ITC no influye directamente.

Por otra parte, el efecto de factores como la altitud, latitud, topografía, etc., o sea, las condiciones físicas que habitualmente actúan en los diferentes lugares y que producen o modifican el resultado visible o los valores de los elementos que crean el tiempo y el clima, variará de acuerdo a los efectos primarios, secundarios o nulos de la ITC.

La diversidad climática de Colombia, puede visualizarse a través de la aplicación de algunos de los diferentes sistemas de clasificación climática.

En todos los sistemas de clasificación climática, la unión de los análisis resultantes de un con-

Tabla 4  
Valores mundiales extremos de temperatura y precipitación

	Máximo	Mínimo
	<b>Temperaturas extraordinarias</b>	
* Media anual	+ 30.2°C	-26.0°C
	Massaoua, Erythree	Antártico
* Media del mes más caliente	+ 39.0°C	-15.0°C
	Agosto, Valle de la muerte	Diciembre
	California, U.S.A.	Antártico
* Media del mes más frío	+ 27.8°C	≤ -55°C
	Julio, Islas Gilbert	Agosto
	Pacífico del SW	Antártico
* Variación anual media mensual	66°C	0.4°C
	Verkjoiansk-Siberia	Islas Marshall
* Máxima observada	+ 58.0°C	0°C
	Al'Aziziyah-Libia	Framheim-Antártico
* Mínima observada	+ 22.0°C	-88.3°C
	Moresby-Nueva Guinea	Stn. Vostok-Antártico
	<b>Precipitaciones extraordinarias</b>	
* Máxima en 12 meses en el mundo	26.461 mm	
	08-1860/07-1861 (Cherrapunji, India)	
* Máxima en 12 meses en Colombia	> 26.871 mm	
	1974, Vigía de Curvarado-Chocó	
* Total medio anual en Asia	12.660 mm	43,9 mm
	Cherrapunji	Aden
* Total medio anual en Centro-Norteamérica	11.684 mm	30.5 mm
	Mt. Waialeale, Kauai, Hawai	Bataques, México
* Total medio anual en Africa	10.287 mm	< 2,5 mm
	Debundcha, Camerún	Wadi-Halfa, Sudán
* Total medio anual en Europa	4.648 mm	162,6 mm
	Crkvice, Yugoslavia	Astrakan, Rusia
* Total medio anual en Suramérica	12.717 mm	0,8 mm
	Lloro-Chocó, Colombia	Arica, Chile
* Promedio anual número Días de lluvia	325	0,2
	Bahía Félix, Chile	Assquan, Egipto
* Máxima mensual en el mundo	9.300 mm	
	07-1981, Cherrapunji	
* Máxima mensual en Colombia	3.569 mm	
	07-1947, Inst. Chocó, Quibdó	
* Máxima en un minuto	31.2 mm	
	Unionville-U.S.A.	
* Máxima en 24 horas Hemisferio Norte	1.245 mm	
	Paishi, Formosa	
* Máxima en 24 horas	1.870 mm	
	Cilaos, Isla de la Reunión	
* Granizo de mayor Peso encontrado	1.9 kilos	
	Kazajstan, URSS	

Datos extractados de Lowry, 1973; HIMAT, 1981; Núñez, 1987 y Eslava, 1992).

junto de elementos meteorológicos, dos o más, ha permitido a los científicos idear esos sistemas que parametrizan el conjunto fluctuante de esos elementos y que condensan toda esa información, facilitando su uso y reduciendo la gran cantidad de observaciones y datos a una forma de considerar los climas que se pueda interpretar y utilizar en muchas de las diferentes actividades humanas.

Se cree conveniente resaltar algo que, aun cuando es evidente, no se tiene en cuenta cuando se clasifican los climas de una zona, es el hecho de que incluso una clasificación climática muy general implica utilizar muchas más subdivisiones de las que normalmente se aplican por cuestiones operativas. En la actualidad ha tomado auge una tendencia que considera los climas como no adecuada-

mente descritos por las divisiones y subdivisiones de los tipos de climas, o por simples valores medios y extremos de los elementos meteorológicos; esa tendencia creciente considera que el clima hay que analizarlo como una síntesis de las variaciones que día a día experimenta el "tiempo" sobre una región restringida, en términos de las frecuencias y características de sus masas de aire, incluyendo las correspondientes a la atmósfera superior.

Al revisar la bibliografía existente sobre la información y estudios meteorológicos y las clasificaciones climáticas en Colombia, se observa que se han realizado relativamente muy pocos ensayos para determinar los valores medios de los elementos meteorológicos en toda Colombia y definir la clasificación de sus diferentes climas. Se cree que éste hecho se debe no solamente a las innumerables variaciones temporales y espaciales de estos elementos, sino también a los numerosos problemas de orden metodológico que se originan al intentar relacionar las variables meteorológicas entre sí y con los factores climáticos y, además a la dificultad, ya mencionada, para satisfacer mediante una clasificación generalizada el amplio espectro de necesidades que se relacionan con las actividades humanas y el lugar específico donde esas actividades se desarrollan.

Colombia por ser un país altamente montañoso, presenta una gran variedad de climas, particularmente en la zona andina. Esta característica hace difícil y saturaría cualquier descripción detallada, que se quiera realizar, de cada uno de los sistemas de clasificación climática.

Bajo las anteriores aclaraciones y consideraciones se describirán los resultados tratando de agrupar por grandes clases de climas.

Los análisis que se presentan a continuación se basan, en parte, en los resultados de los trabajos de Eslava, López & Olaya (1986a, b, c, d).

## 5.2. Clasificación climática según Caldas-Lang

El sistema de clasificación climática establecido por el sabio Francisco José de Caldas en 1802, aplicado al trópico americano, se basa únicamente en la variación altitudinal de la temperatura (Tabla 5-a). Por su parte, Lang en 1915 estableció su clasificación basado en el cociente que se obtiene al dividir el valor de la precipitación anual (mm) por la temperatura media anual ( $^{\circ}\text{C}$ ) (Tabla 5-b), este cociente se llama Índice de efectividad de la precipitación o factor de lluvia de Lang.

El sabio Francisco José de Caldas, teniendo en cuenta la influencia de la altura en la variación de temperatura, determinó los pisos térmicos en la región Andina-Tropical. Lang, en 1915, se basó en el cociente entre la precipitación anual en mm y la temperatura media anual en  $^{\circ}\text{C}$ . Con base en él definió 6 clases de climas, desde desiertos hasta superhúmedos.

En 1962, Schauffelberguer combinó los modelos propuestos por Caldas & Lang, obteniendo 25 tipos climáticos.

La unión de los dos sistemas caracteriza las unidades climáticas con base en los elementos climatológicos principales y que tienen mayores efectos. El sistema unificado Caldas-Lang define 25 tipos climáticos que se denominan teniendo en cuenta primero el valor de la temperatura media anual (piso térmico según Caldas) y a continuación

Tabla 5.  
Modelo climático de Caldas-Lang

a) Pisos térmicos (Caldas)				
Piso Térmico	Clave	Rango de altura (m)	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Variación de la altitud por condiciones locales
Cálido	C	0 a 1000	$T \geq 24$	Límite superior $\pm 400$
Templado	T	1001 a 2000	$24 > T \geq 17.5$	Límite superior e inferior $\pm 500$
Frío	F	2001 a 3000	$17.5 > T \geq 12$	Límite superior e inferior $\pm 400$
Páramo Bajo	Pb	3001 a 3700	$12 > T \geq 7$	
Páramo Alto	Pa	3701 a 4200	$T < 7$	

b) Grado de humedad (Lang)		
Factor de Lang (P/T)	Clase de Clima	Símbolo
0 a 20.0	Desértico	D
20.1 a 40.0	Arido	A
40.1 a 60.0	Semiárido	sa
60.1 a 100.0	Semihúmedo	sh
100.1 a 160.0	Húmedo	H
> a 160.0	Superhúmedo	SH

con el valor de la precipitación media anual se define el factor de Lang (grado de humedad según Lang).

De acuerdo con los límites climáticos obtenidos al aplicar el sistema combinado de Caldas-Lang se pueden destacar las siguientes generalidades (Fig. 34):

- en la región del Caribe, sobresale la Sierra Nevada de Santa Marta por su variedad climática, debida a los pisos térmicos y los diferentes grados de humedad; aquí se dan desde climas cálidos hasta páramo alto y desde semihúmedos hasta superhúmedos;
- la llanura del Caribe propiamente dicha, es de clima cálido y únicamente varía la humedad; desde cálido desértico hasta cálido superhúmedo. La Bahía de Santa Marta, de acuerdo con los datos, se tipifica como de clima cálido desértico pero la realidad la muestra más adecuadamente como cálido semiárido;
- las características principales de la región Pacífica son sus altas temperaturas y la abundante humedad; el clima predominante es el cálido superhúmedo, únicamente se distingue la Serranía del Baudó con un clima templado superhúmedo y la costa nariñense en la cual disminuye la humedad hasta el nivel de semi-húmedo;
- el relieve de la región Andina, origina una gran variedad de climas: cálidos, templados, fríos y paramunos en todos los grados de humedad;
- en la Orinoquia solamente se presentan dos clases climáticas: cálido húmedo en el Piedemonte Llanero y cálido semihúmedo en toda la llanura colombiana;
- la Amazonia se caracteriza por un clima cálido húmedo, consecuencia de su condición selvática;
- el archipiélago de San Andrés y Providencia es un clima cálido semihúmedo.

## 5.2. Clasificación climática de Emmanuel De Martonne

En 1926, el climatólogo Francés E. De Martonne, consciente de la dificultad para medir la evaporación, formuló un índice de aridez, en el cual utilizó los valores medios anuales de la precipitación (mm) y temperatura (°C):

$$I_M = P / (T + 10)$$

En 1935 introdujo una modificación a su fórmula original, para adaptarla a la apreciación de aridez, quedando finalmente como:

$$I_M = \frac{1}{2} ( (P/T + 10) + (12 \times Ps/Ts + 10) )$$

Ps = Precipitación del mes más seco, Ts = Temperatura del mes más seco.

Con base en ese índice De Martonne establece seis (6) clases o tipos climáticos, de acuerdo con la Tabla 6.

Tabla 6  
Clases de climas según De Martonne

Indice de aridez ( $I_M$ )	Clase de clima
0 a 5.0	F Árido
5.1 a 10.0	E Semiárido
10.1 a 20.0	D Subhúmedo
20.1 a 35.0	C Húmedo
35.1 a 100.0	B Húmedo lluvioso
Mayor a 100.0	A Húmedo lluvioso, sin diferencias estacionales, todo el año.

Asignando, a cada uno de los rangos una clave alfabética, de A hasta F, se logró llevar a un mapa la delimitación de los tipos climáticos (Fig. 35).

- el clima A, húmedo lluvioso sin diferencias estacionales, abarca las zonas más lluviosas del país: Costa Pacífica, Serranía de la Macarena y áreas alrededor de Mocoa, Quetame y Guayabetal;
- la clase climática B, húmedo lluvioso, es la más predominante y se encuentra en la Amazonia, Piedemonte Llanero, partes bajas y medias de la región Andina, Golfo de Urabá, sur de la Costa Pacífica y parte del área del Catatumbo;
- el clima C, húmedo, básicamente se encuentra en la Orinoquia, Valle del Alto Magdalena, sector oriental de la cordillera Oriental, Alto Cauca, parte de la región del Caribe, San Andrés y Providencia y algunos sectores del sureste del Departamento de Nariño;
- el clima D, subhúmedo, disperso desde la cordillera Oriental hasta la Costa Atlántica, se presenta fundamentalmente en pequeños sectores de la región del Caribe, cuenca baja y alta del río Bogotá, límite de la meseta Cundi-boyacense con la región del Tequendama, Cúcuta y cañón del río Margua;
- el clima semiárido (E) no se encontró, en Colombia, lo cual indica que de presentarse debe hacerlo en áreas muy restringidas. Esta clase es transicional entre los subhúmedos y los áridos, en cuyas zonas limítrofes los valores son cercanos, pero no iguales a los correspondientes a éste rango de semiárido;
- el clima árido, F, solamente se encontró en la Alta Guajira. En la Bahía de Santa Marta, los



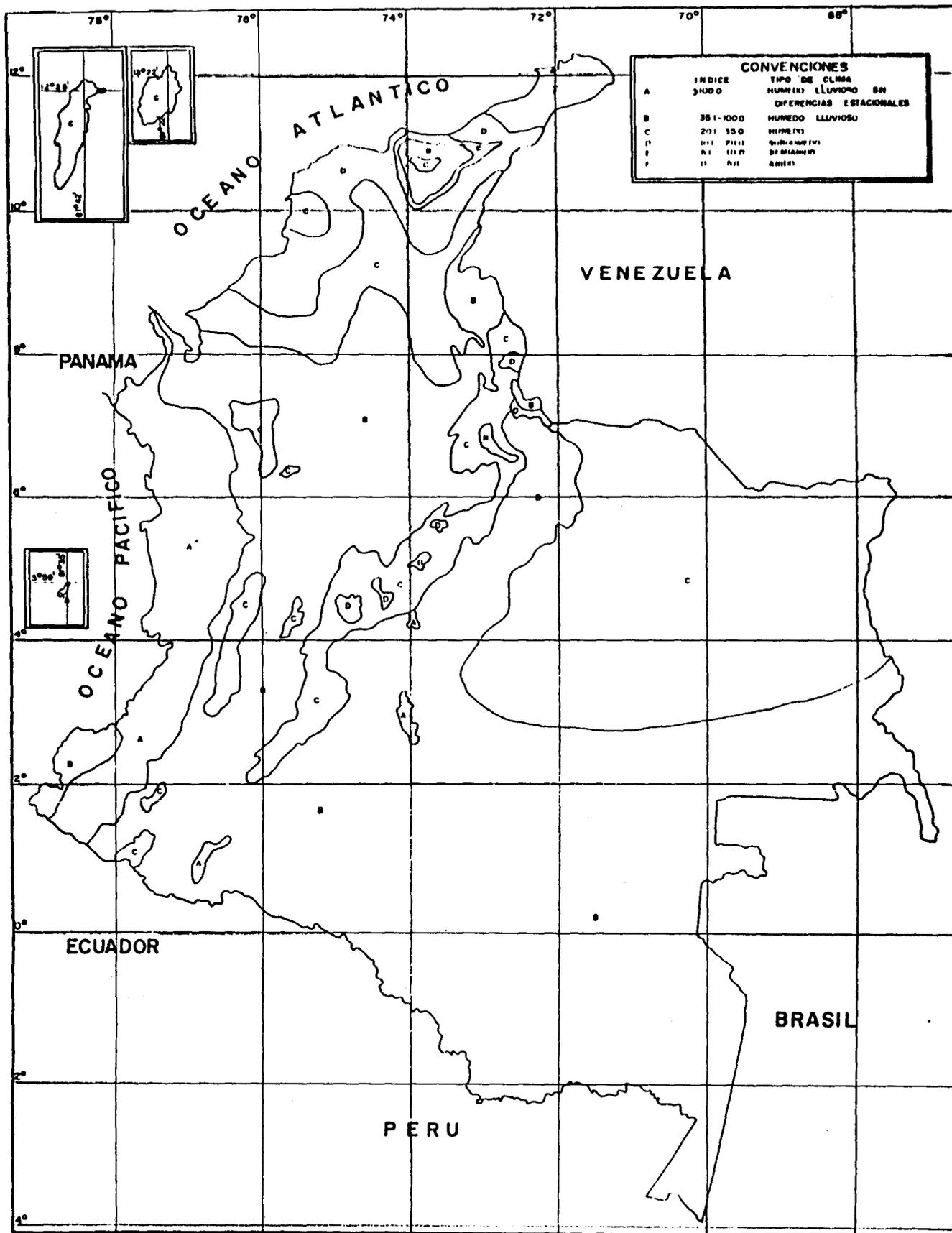


Figura 35. Distribución de los climas de Colombia. Sistema de Clasificación de E. de Martonne (Eslava, López & Olaya, 1986).

valores encontrados corresponden a éste rango, sin embargo las condiciones reales la muestran como de tipo subhúmedo.

### 5.3. Clasificación climática de Thornthwaite

El sistema de clasificación climática de Thornthwaite, establecido en 1948, se basa en un modelo expuesto por él mismo en 1931. El introdujo el concepto de evapotranspiración potencial e hizo una regresión entre mediciones de evapotranspiración y temperatura y determinó una fórmula para el cálculo de la evapotranspiración potencial en función de la temperatura, teniendo en cuenta la latitud. En ésta clasificación se da más importancia al índice de humedad que al índice de aridez, razón fundamental para determinar la primera letra de la clasificación.

En este sistema de clasificación climática predominan los conceptos de humedad que se reflejan en la utilización de índices que se definen teniendo en cuenta la precipitación media anual (P), la evapotranspiración potencial anual (Ep), el déficit o insuficiencia de agua anual (D) y el exceso de agua anual (Ex) (Tabla 7):

$$\text{Índice de humedad} = I_h = (E_x/E_p) \times 100$$

$$\text{Índice de Aridez} = I_a = (D/E_p) \times 100$$

$$\text{Factor de Humedad} = F_h = I_h - 0.6 \times I_a = (100 E_x - 60D)/E_p$$

$$\text{Índice de eficiencia termal} = E_p$$

$$\text{Coeficiente de concentración estival} = C_E = (E_{pi}/E_p) \times 100$$

(E<sub>pi</sub> = Evapotranspiración potencial de tres meses consecutivos con la temperatura media mensual más alta).

Thornthwaite asumió 5 rangos de 0 a 100 y uno superior 100 para los climas húmedos; de igual forma dividió el intervalo de 0 a -60 en tres rangos iguales para los climas secos. Para la segunda y demás letras, considera la variación estacional de la humedad efectiva, índices de humedad y aridez, el carácter térmico o índice de eficiencia termal y su concentración estacional.

El resultado de este sistema es tal vez el más difícil para describir debido a la variada y extensa gama de climas que se presentan en Colombia, por su característica montañosa.

Para facilitar la visualización de resultados, fue necesario abreviar la clasificación a la primera letra del sistema. A pesar de ello, sigue siendo complicado por la variedad de climas que se presentan en una misma región (Fig. 36):

- en la región del Caribe se presenta toda la variedad de climas, excepto el superhúmedo (A) y el moderadamente húmedo (B<sub>2</sub>);
- en la región Pacífica es normal encontrar el clima superhúmedo (A), a excepción del ex-

Tabla 7  
Modelo climático de Thornthwaite

#### a) Primera letra definida por el Factor de humedad

Fh	Símbolo	Tipo Climático
> a 100.1	A	Superhúmedo
80.1 a 100.0	B <sub>4</sub>	Muy húmedo
60.1 a 80.0	B <sub>3</sub>	Húmedo
40.1 a 60.0	B <sub>2</sub>	Moderadamente húmedo
20.1 a 40.0	B <sub>1</sub>	Ligeramente húmedo
0.1 a 20.0	C <sub>2</sub>	Semihúmedo
-20,0 a 0.0	C <sub>1</sub>	Semiseco
-40.0 a -20.1	D	Semiárido
-60.0 a -40.1	E	Arido

#### b) Segunda letra definida por los Índices de aridez y humedad

Índice	Símbolo	Grado de Humedad
<i>I<sub>a</sub></i>		<i>Deficiencia de agua</i>
0.0 a 16.7	r	Poca o nada
16.7 a 33.3	s	Moderada en verano
16.7 a 33.3	w	Moderada en invierno
> a 33.3	s <sub>2</sub>	Grande en verano
> a 33.3	w <sub>2</sub>	Grande en invierno
<i>I<sub>h</sub></i>		<i>Superávit de agua</i>
0 a 10	d	Poco o nada
10 a 20	s'	Moderado en verano
10 a 20	w'	Moderado en invierno
> a 20	s' <sub>2</sub>	Grande en verano
> a 20	w' <sub>2</sub>	Grande en invierno

#### c) Tercera letra definida por el Índice de eficiencia termal

Ep (mm)	Símbolo	Clima
< a 142	E'	Hielos
142 a 285	D'	Tundra
285 a 427	C' <sub>1</sub>	Microtermal
427 a 570	C' <sub>2</sub>	Microtermal
570 a 712	B' <sub>1</sub>	Mesotermal
712 a 855	B' <sub>2</sub>	Mesotermal
855 a 997	B' <sub>3</sub>	Mesotermal
997 a 1140	B' <sub>4</sub>	Mesotermal
> a 1140	A'	Megatermal

#### d) Cuarta letra definida por el Coef. de concentración estival

Coeficiente de Concentración estival	Símbolo
< a 48.0	a'
48.0 a 51.9	b' <sub>4</sub>
51.9 a 56.3	b' <sub>3</sub>
56.3 a 61.6	b' <sub>2</sub>
61.6 a 68.0	b' <sub>1</sub>
68.0 a 76.3	c' <sub>2</sub>
76.3 a 88.0	c' <sub>1</sub>
> a 88.0	d'

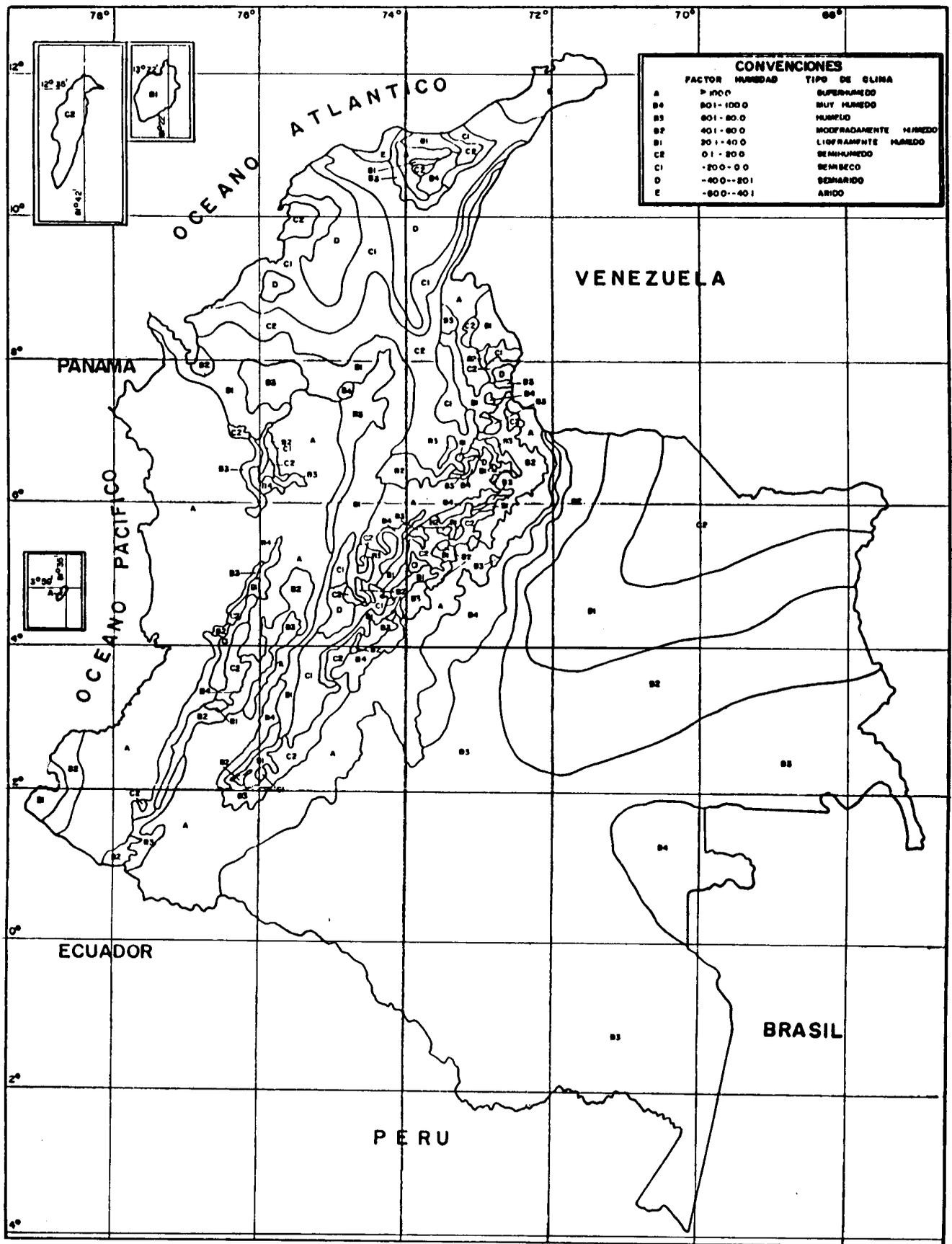


Figura 36. Distribución de los climas de Colombia. Sistema de Clasificación de Thornthwaite (Eslava, López & Olaya, 1986).

tremo sur en el que el grado de humedad disminuye a moderado y ligeramente húmedo ( $B_2$  y  $B_1$ );

- en la región Andina y como consecuencia del variado régimen de lluvias, el factor de humedad determina la presencia de toda la gama de climas desde el semiárido (D) hasta el superhúmedo (A);
- en la Orinoquia se presentan ordenadamente los climas  $B_3$ ,  $B_2$ ,  $B_1$  y  $C_2$ , en franjas desde el Piedemonte Llanero y en sentido noreste hasta Venezuela;
- en la Amazonia se dan dos climas bien definidos, el húmedo ( $B_3$ ) que predomina en toda la región, y el húmedo ( $B_4$ ) que se da alrededor de Mitú;
- San Andrés y Providencia presentan climas diferentes, pero de rango secuencial, debido a la humedad. Providencia es menos seco y corresponde a un clima ligeramente húmedo ( $B_1$ ) y San Andrés a un semihúmedo ( $C_2$ ).

#### 5.4. Clasificación climática según W. Köeppen

En 1923, Köeppen publicó su clasificación climática en la que definió cinco grandes clases climáticas a las que designó con las letras A, B, C, D y E; ésta distribución la escogió teniendo en cuenta, entre otras cosas, que la temperatura de  $18^\circ\text{C}$  es la más óptima para la actividad humana, la de  $10^\circ\text{C}$  por ser la que durante el mes más caliente marca el límite entre las zonas frías y polares y, la de  $-3^\circ\text{C}$  por ser la temperatura del aire más alta a la que puede conservarse la nieve sobre el suelo en invierno; así mismo, subdividió estas clases para obtener en total 13 tipos fundamentales de clima, resultantes de que exista o no una temporada seca y otra húmeda, e igualmente de la relación de esas épocas con la estación caliente o fría (Tabla 8).

Particularmente, en la región Andina encontramos una gran variedad de climas, según el sistema Köeppen, lo que dificulta cualquier descripción detallada.

Bajo ésta consideración describiremos los resultados, efectuando un análisis regional (Fig. 37).

##### 5.4.1. Climas tropicales lluviosos o megatermales, A

Se localizan en más del 80% del territorio nacional, en las llanuras, valles y sectores de baja montaña:

- el clima tropical lluvioso de selva, Afi, se encuentra distribuido en la Costa Pacífica, Golfo de Urabá, Amazonia, Piedemonte Llanero y parte del Alto y Medio Magdalena. También

se localiza en pequeñas regiones como la cabecera del Alto Cauca, la zona cafetera, el Alto Magdalena (hasta Gigante), sureste de Santander, Catatumbo y cuencas ríos Cucutilla y Peralonso;

- el clima tropical lluvioso de sabana, Awi, predomina en la región Caribe, Noreste de la Orinoquia, Valle del Cauca, Huila, Cundinamarca y Tolima. También se localizan áreas pequeñas en Boyacá, Santander, Antioquia, Norte de Santander, Nariño y Cauca;
- el clima tropical lluvioso de Bosque, Ami, se presenta fundamentalmente en la Orinoquia, zona transicional entre las regiones del Caribe y Andina, Huila, Tolima, Cundinamarca, Nariño, Cauca y San Andrés y Providencia. Este clima aparece en áreas pequeñas ubicadas en la cuenca media del río La Vieja, el embalse Calima, valle del río Medellín y otras zonas de Antioquia, Santander, Norte de Santander, Bolívar y sur de la Sierra Nevada de Santa Marta.

##### 5.4.2. Climas secos, B

Básicamente existe en la región del Caribe y en un área que equivale a menos del 2% de la superficie total del país:

- el clima seco estepario, BS, se encuentra en la Ciénaga del Guájaro, límites entre Atlántico y Bolívar, Tenerife y Chivolo (Magdalena), valle del río Cesar, valle del río Ranchería (límites Cesar y Guajira) y noreste y sureste de la Alta Guajira;
- el clima seco desértico, BW, es exclusivo de regiones como el noroeste de la Alta Guajira y Bahía de Santa Marta.

##### 5.4.3. Climas templados lluviosos o mesotermiales, C

Se localizan predominantemente desde la media hasta la alta montaña y equivalen a un 15% del área total del país:

- el Cs, clima templado húmedo de verano seco, se presenta en la meseta Cundiboyacense, alrededores de los páramos de Rusia y Guantiva, altiplanicie nariñense y por el occidente de la Cordillera Central.
- el Cf, clima templado húmedo con lluvias de moderada intensidad todo el año, se encuentra en los límites de Nariño y Putumayo, oriente de la Cordillera Central, la Cordillera Oriental hasta la Serranía de los Motilones, Cordillera Occidental hacia el Pacífico, Sierra Nevada de Santa Marta y altiplanicie antioqueña.

Tabla 8  
Modelo climático de Köppen (modificado de Lowry, 1973)

Nombre del tipo de clima	Clave	Precipitación (cm)		Temperatura (°C)	
		Estación* de la máxima	Cantidades	Mes más frío	Mes más cálido
1. Tropical lluvioso de selva	Af	Todo el año	Mes más seco > 60 mm	Más de 18	
2. Tropical lluvioso de sabana	Aw	Invierno Paño ≤ 2500 mm	Mes más seco < 60 mm	Más de 18	
3. Tropical lluvioso de bosque	Am	Verano o Invierno Paño > 2500 mm	Mes más seco > 60 mm	Más de 18	
4. Seco de estepa	BS	Invierno Irregulares	P < 2T P < 2 (T + 7)		
5. Seco desértico	BW	Verano Irregulares	P < 2 (T + 14) P < T P < (T + 7)		
6. Templado húmedo (mesotérmico)	Cf	Verano Todo el año	P < (T + 14) Ni Cw ni Cs	-3 a 18	
7. Templado húmedo de invierno seco (mesotérmico)	Cw	Verano	Mes más húmedo de verano es 10 veces más húmedo que el más seco del invierno	-3 a 18	
8. Templado húmedo de verano seco (mesotérmico)	Cs	Invierno	Mes más húmedo de invierno es 3 veces más húmedo que el más seco del verano	-3 a 18	
9. Boreal o microtérmico	Df	Todo el año	Como Cf	Menos de -3	
10. Boreal o microtérmico de invierno seco	Dw	Verano	Como Cw	Menos de -3	
11. Frío de tundra	ET				0 a 10
12. Frío de nieve perpetua	EF				Menos de 0
13. Frío de alta montaña o polar de altura	EB			Más de 0	Menos de 10

\* Corresponde a invierno y verano astronómico: Hemisferio Norte de octubre-marzo y abril-septiembre; Hemisferio sur de abril-septiembre y octubre-marzo, respectivamente.

A los tipos C y D se les asigna un tercer símbolo (a, b, c, d) de acuerdo con las siguientes reglas: a. cuando el mes más cálido tiene una temperatura superior a 22°C; b. cuando el mes más cálido tiene una temperatura inferior a 22°C; c. cuando la temperatura del mes más cálido es inferior a 22°C y hay menos de cuatro meses con temperaturas superiores a 10°C; d. cuando la temperatura del mes más frío es inferior a -38°C.

Cuando la diferencia entre el mes más cálido y el más frío es menor a 5°C, se asigna una i como símbolo complementario (i = isotermal).

— el Cw, clima templado húmedo de invierno seco, no se encontró en ningún sitio.

#### 5.4.4. Climas boreales, D

No se encontraron en Colombia. Son el clima boreal húmedo seco en invierno (Dw) y clima boreal húmedo con lluvias todo el año (Df).

#### 5.4.5. Clase de climas E

Originalmente, denominado por Köppen como polar; actualmente se considera más adecuado denominarlo "frío", en razón a que se presen-

ta no sólo en los polos. Es el que más disperso se encuentra en la Tierra, porque se localiza tanto en los polos como en las altas montañas ecuatoriales.

De acuerdo a la temperatura se distinguen el clima frío de Tundra (ET), el clima frío de nieve perpetua (EF) y el clima frío de alta montaña o polar de altura (EB).

En Colombia, sólo se encuentra éste último (EB) que predomina en las altas montañas de los Andes y la Sierra Nevada de Santa Marta, equivale aproximadamente al 2% de la superficie total del país.

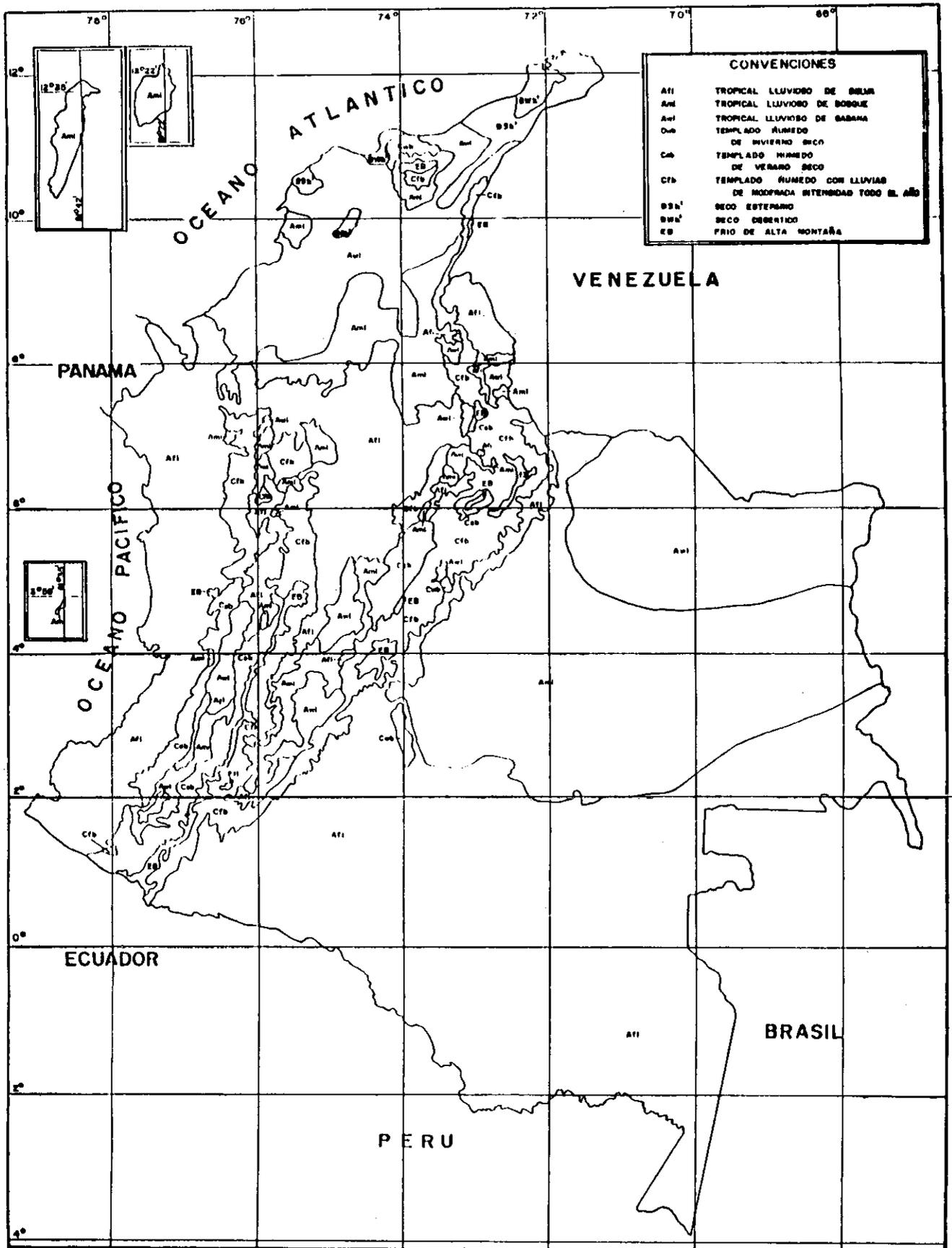


Figura 37. Distribución de los climas de Colombia. Sistema de Clasificación de W. Köppen (Eslava, López & Olaya, 1986).

## Conclusiones

En el mundo, en general, existe una gran diversidad climática y en Colombia, en particular, por sus características altamente montañosas, existe un verdadero mosaico climático, dentro del cual cada tipo climático se confunde imperceptiblemente con sus vecinos impidiendo una precisión absoluta en el trazado de los límites.

Las regiones del Pacífico, Orinoquia y Amazonia son las más, relativamente, homogéneas (las menos diversas climáticamente), como consecuencia del comportamiento térmico y pluvial y su topografía.

La región del Caribe presenta un menor grado de homogeneidad que es ocasionado por la presencia de la Sierra Nevada de Santa Marta que se convierte en un factor muy importante en la variación espacial (horizontal y vertical) de la temperatura y precipitación.

La región Andina, por su parte, presenta una muy amplia diversidad de climas causada por la variedad de pisos térmicos, por la influencia de la Cordillera de los Andes, y de cada uno de sus tres ramales, en el régimen de temperatura y precipitación y por las muy diversas condiciones y factores climáticos locales.

También se concluye que cualquier alteración en las condiciones naturales, ocasionará una variación, fluctuación o cambio en el estado del tiempo y/o en el clima; puesto que se alteran las condiciones de balance radiativo existentes al modificar, por ejemplo, los flujos de radiación entrante o saliente o el albedo.

Obviamente, que las posibles alteraciones de las condiciones naturales deben analizarse con la óptica de impulsar las políticas y prácticas nacionales que formen parte de la estrategia colombiana para la conservación y el desarrollo.

## Bibliografía

Donn, W.L. 1975. *Meteorology*. 4a. Ed. 518 pp. McGraw Hill, New York.

Eslava, J. 1977. El movimiento del aire (Mscr). Reproducido en *Calendario Meteorológico 1978*, Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras, pp. 17, 35, 53, 71, 89, 107, 125, 143, 161, 179, 197, 215. Santafé de Bogotá.

----- . 1986. Características principales del movimiento del aire en Colombia. *Trimestre Geográfico* (8): 3-14. Asociación Colombiana de Geógrafos, Santafé de Bogotá.

----- . 1990a. Variación temporal de la temperatura del aire en Bogotá. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 17 (68): 65-74, Santafé de Bogotá.

----- . 1990b. Variación temporal de la presión atmosférica en Bogotá. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 18 (69): 175-181. Santafé de Bogotá.

----- . V. López & G. Olaya. 1986a. Los climas de Colombia (Sistema de W. Köeppen). *Atmósfera* 5: 35-81. Sociedad Colombiana de Meteorología, Santafé de Bogotá.

----- . & ----- . 1986b. Los climas de Colombia (Sistema de C.W. Thornthwaite). *Atmósfera* 6: 33-76. Sociedad Colombiana de Meteorología, Santafé de Bogotá.

----- . & ----- . 1986c. Los climas de Colombia (Sistema de Caldas-Lang). *Atmósfera* 7: 41-77. Sociedad Colombiana de Meteorología, Santafé de Bogotá.

----- . & ----- . 1986d. Los climas de Colombia (Sistema de E. De Martonne). *Atmósfera* 8: 47-79. Sociedad Colombiana de Meteorología, Santafé de Bogotá.

----- . 1992a. La precipitación en la Región del Pacífico colombiano. (Lloró: ¿El sitio más lluvioso del mundo?). *Zenit* 3: 7-33. Asoc. Colomb. Ing. Geogra. Santafé de Bogotá.

----- . 1992b. Características climatológicas de la Región del Pacífico Colombiano. (Mscr). Universidad Nacional de Colombia. Santafé de Bogotá.

Frére, M., J.O. Rijks & J. Rea. 1978. Estudio Agroclimático de la zona Andina. 297 pp. Organización Meteorológica Mundial, Ginebra.

Himat - Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras. 1981. *Calendario Meteorológico 1981*. Publ. Esp. 008. HIMAT, Santafé de Bogotá.

Lessman, H. & J. Eslava. 1985. Las precipitaciones anormales ocurridas en Colombia durante los años 1970 y 1971. *Atmósfera* 3: 1-28. Sociedad Colombiana de Meteorología, Santafé de Bogotá.

Lowry, W.P. 1973. Compendio de apuntes de climatología para la formación de personal meteorológico de la clase IV. (Tr. Jacobo López de Rego). 167 pp. Organización Meteorológica Mundial, Ginebra.

McIntosh, D.H. & A.S. Thom. 1983. *Meteorología Básica* (Tr. Joaquín Catalá de Alemany). 365 pp. Alhambra, Madrid.

Montealegre, E. & J. Zea. 1985. Fenómeno "El Niño" (Mscr). Citado en *Calendario Meteorológico 1987*, pp. 217-219. Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras, Santafé de Bogotá.

Núñez, M.N. 1987. Clima, evolución y futuro. *Boletín informativo TECHINT* 247: 3-43. TECHINT, Buenos Aires.

**Retallack, B.J.** 1973a. Compendio de apuntes para la formación de personal meteorológico de la clase IV. Vol. I. Ciencias de la Tierra. (Tra. **Jacobo López de Rego**). 219 pp. Organización Meteorológica Mundial, Ginebra.

----- . 1973b. Compendio de apuntes para la formación de personal meteorológico de la clase IV. Vol. II.

**Meteorología.** (Tra. **Jacobo López de Rego**). 357 pp. Organización Meteorológica Mundial, Ginebra.

**Sellers, W.D.** 1972. *Physical Climatology*. 272 pp. The University of Chicago Press. Chicago.