

CLIMA DEL ECUADOR

Génesis, distribución y aspectos originales

Pierre FOURRUT*

DRSTOM

INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE POUR LE DÉVELOPPEMENT

LABORATOIRE D'HYDROLOGIE

DOCUMENTATION

Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement
Documentation DRSTOM
213, Rue LA FAYETTE - 75010 Paris - FRANCE
596 CCI - Quito - ECUADOR

I -PROLOGO

"Si hay un elemento del entorno geográfico que poco o nada el hombre ha podido manejar o modificar conscientemente, ese es el clima. Si hay algún clima en extremo difícil de comprender, de pronosticar y de manejar, ese es el que resulta de la concurrencia de tan complejos condicionantes como son la posición equinoccial, la constitución andina y la vecindad oceánica. Ese es el clima o los climas del Ecuador". (1)

Con gran lucidez, Nelson GOMEZ expresa, en pocas palabras, el aspecto más relevante de la realidad climática ecuatoriana, el sutil y complejísimo papel que desempeñan factores peculiares cuya concurrencia da lugar a una amplia gama de climas diferentes traducidos por paisajes que pueden cambiar radicalmente a muy escasas distancias.

Dicha opinión establece el guión del presente texto cuya filosofía merece ser claramente definida so pena de defraudar a los lectores. No se empeñará en describir detalladamente, con o sin el respaldo de cuadros numéricos, las diferentes condiciones que reinan en tal o cual lugar del Ecuador. En efecto, se ha considerado que para tal propósito ya existen las valiosísimas obras de Misael ACOSTA SOLIS (2,3), ilustre pionero de la ecología ecuatoriana, de un especialista como es Carlos BLANDIN LANDIVAR (4), de un afamado enciclopedista como es Plutarco NARANJO (5), o más recientemente de Luis CAÑADAS CRUZ, profesional de reconocido prestigio en la materia (6) proponiendo cada uno su propia clasificación física o biológica y describiendo con soltura las condiciones de un diverso número de regiones climáticas, desde siete hasta treinta y dos en el caso de la interpretación bioclimática de L. CAÑADAS.

Evidentemente, el presente texto tiene que apoyarse en una clasificación nacional de los climas, siendo elegida la que anteriormente fué propuesta por el autor (1, 7) y cuya mayor virtud es la sencillez, presentándose los valores numéricos justo necesarios para justificar tal escogitamiento y caracterizar las correspondientes zonas climáticas. Pero sobre todo, al definir los grandes factores condicionantes del clima ecuatoriano y al descifrar paulatinamente sus papeles respectivos, este estudio anhela descubrir los mecanismos que rigen la existencia de aquellas zonas climáticas y que condicionan algunos rasgos muy peculiares del Ecuador.

En primera instancia se darán algunas definiciones con el fin de aclarar ciertos conceptos que suelen ser materia de confusión.

II -DEFINICION DE ALGUNOS CONCEPTOS FUNDAMENTALES

El contacto más inmediato del ser humano con el contexto climático que lo rodea se hace a través de la noción de "tiempo". Según A. BALDIT (8) "el tiempo designa el conjunto de valores (elementos climáticos) que, en un momento dado y en un lugar determinado, caracterizan el estado de la atmósfera". De este modo, el "tiempo" es un estado particular e instantáneo. Corrientemente,

esta noción puede ser ampliada a períodos cortos, un día por ejemplo.

Al contrario, el "clima" aparece como una compleja noción de síntesis que dió lugar a numerosas definiciones. Al utilizar el término tiempo en la acepción anteriormente mencionada, se puede decir que el "clima" es el conjunto de todos los "tiempos" sucesivamente observados. R. ARLERY, H. GRISOLLET y B. GUILMET (9), lo definen como el conjunto de los elementos climáticos que, en su sucesión habitual durante cierto período, caracterizan el estado de la atmósfera (mejor dicho sus "estados medios" durante largos intervalos de tiempo, un año por ejemplo) y concurren para dar su carácter propio a cada lugar del planeta. Por supuesto, el conocimiento de dichos estados medios requiere de largas series de observaciones relativas a cada elemento del clima.

Los "elementos climáticos" mencionados son variables físicas mensurables. Entre los principales están : presión atmosférica, viento, insolación, temperatura, nubosidad, humedad del aire, precipitaciones (lluvia, neblina, rocío, nieve, granizo) y evaporación, parámetros que confieren al medio atmosférico sus propiedades y características peculiares. Fluctúan en el tiempo y en el espacio bajo la influencia de numerosos agentes responsables, llamados "factores climáticos", entre los cuales cabe destacar los más determinantes :

- factores astronómicos : radiación solar y sus variaciones, rotación diaria de la Tierra y su órbita alrededor del Sol, movimiento aparente del Sol;

- factores meteorológicos : circulación atmosférica general, masas de aire regional o local;

- factores geográficos : latitud, longitud, altitud, relieve, naturaleza de la superficie terrestre, distribución de mares y tierras, corrientes oceánicas.

III -DESCRIPCION DE LOS PRINCIPALES FACTORES DEL CLIMA DEL ECUADOR

Entre los diferentes factores astronómicos, geográficos y meteorológicos que influyen en el Ecuador, los que desempeñan el papel más importante son sin duda alguna :

- la latitud, porque define las condiciones generales de la circulación atmosférica a nivel planetario, entre la línea equinoccial y los polos;

- la longitud, cuya influencia es determinante en la conformación de un sistema de circulación atmosférica Este/Oeste :

- el relieve, así como la altitud y el papel de pantalla desarrollado por la Cordillera de los Andes, porque condicionan la existencia de grandes regiones naturales muy autónomas (Costa, Sierra y Oriente);

-el Océano Pacífico, como generador de masas de aire cuyas características se encuentran profundamente perturbadas por la presencia de corrientes oceánicas;

III.1 -LA LATITUD Y LONGITUD

El país está ubicado sobre la línea equinoccial y, por ende, los principios que rigen los climas y las precipitaciones se sujetan a los sistemas de circulación atmosférica propios a las regiones de latitudes bajas.

Dado que la zona ecuatorial recibe más radiación solar que las zonas de mayores latitudes (aproximadamente ocho veces más que los polos) el restablecimiento del equilibrio térmico se realiza por intermedio de tres grandes torbellinos de aire en cada hemisferio, alternando los sentidos de la circulación: célula ecuatorial o célula de Hadley, célula intermedia o templada y célula polar. A lo largo del Ecuador donde se ponen en contacto las dos células ecuatoriales, existe a bajas altitudes un sistema de vientos convergentes y ascendentes. En efecto, al calentarse, el aire se hace más liviano y tiende a subir; al llegar a mayores alturas, se enfría, diverge y baja aproximadamente a nivel de los trópicos en donde una parte converge hacia la línea equinoccial para compensar el continuo movimiento ascendente, creándose de esta manera una zona de bajas presiones atmosféricas (zona de convergencia intertropical ZCIT) donde se sitúa el frente intertropical FIT. En relación con la célula meridional, la célula de Hadley septentrional se ubica un poco más hacia el Norte y por consiguiente también el FIT. Es de advertir que este esquema sólo representa la posición habitual de esta circulación que, en realidad, sufre alteraciones y desviaciones importantes, en particular por la irregular distribución de tierras y océanos. Es así como, en la zona marítima del cinturón ecuatorial de bajas presiones, menos perturbada, existe un régimen de vientos predominantes del Este debido al efecto de la rotación de la tierra (fuerza de Coriolis). Estos vientos alisios, procedentes de ambos hemisferios, alimentan la ascendencia permanente de la ZCIT. El régimen es más complejo en la zona continental (fig. 1).

Por otra parte, el sistema sigue el movimiento aparente del sol y se desplaza periódicamente hacia el hemisferio de verano, desde Abril hasta Junio hacia el hemisferio Norte desde Octubre hasta Enero hacia el hemisferio Sur, lo que permite el ingreso de masas de aire con distintas características: templado y poco húmedo en el primer caso, caliente y húmedo en el segundo caso.

En realidad, alrededor del globo terrestre, la atmósfera está sometida a otro sistema de circulación, perpendicular al anterior, siendo los fenómenos observados la resultante entre estas dos tendencias. Este sistema ha sido definido por G. Walker quien evidenció la existencia de varias células transversales, basándose en el siguiente principio: sobre los continentes que se calientan más rápido que las masas oceánicas, el aire asciende para luego bajar sobre los océanos más fríos. La célula más importante abarca el Océano Pacífico ecuatorial, creándose una notable diferencia de presión atmosférica entre la zona de altas presiones (anticiclón)

del Pacífico Sur-Este (isla de Pascua, Tahiti) y la zona de bajas presiones centrada aproximadamente sobre el meridiano 140° (Australia, Indonesia).

III.2 -EL RELIEVE Y LAS CONDICIONES GEOGRAFICAS

La topografía muy irregular y la altitud alcanzada por la Cordillera de los Andes desempeñan un papel de primera importancia en la formación, desplazamiento y aislamiento de las masas de aire local o regional, por lo que es necesario hacer una breve descripción de las condiciones geográficas generales (1).

Excluyendo a las ISLAS GALAPAGOS, conformadas por una treintena de islas de extensión y altitud variable, distribuidas a ambos lados de la línea equinoccial, a 1000 km al Oeste de la Costa ecuatoriana, el Ecuador continental comprende tres grandes regiones naturales, del Oeste hacia el Este :

1 - LA REGION COSTANERA : Abarca una faja litoral de aproximadamente 100 km de ancho, con valores extremos del orden de 180 y 40 km, que puede dividirse en dos unidades distintas :

- En las partes occidental y nor-occidental se extiende la cordillera costanera cuya altura máxima no pasa de los 800 m y que a nivel de Puerto Cayo se encorva hacia el Este en dirección de Guayaquil donde desaparece. Más hacia el Sur, cerros aislados y planicies bajas conforman la península de Santa Elena.

- Al pie de los Andes, se ubica la fosa de hundimiento del Guayas, con aproximadamente 80 km de ancho, limitada al Norte por relieves levantados y sustituida al Sur por una estrecha faja hasta el Perú.

2 - LA REGION ANDINA : Está caracterizada por la formidable barrera montañosa de la Cordillera de los Andes, con un ancho que oscila entre 100 y 140 km. De Norte a Sur, presenta tres unidades :

- Desde la frontera con Colombia hasta 2°30' S existen dos cordilleras bien individualizadas con dirección general NNE-SSO: Cordillera Real al Este y Cordillera Occidental, ambas coronadas por volcanes con alturas entre 4300 y 6300 m.s.n.m.. Enmarcado entre estas dos cordilleras el Callejón Interandino, cuyo ancho es inferior a 40 km, está constituido por una sucesión de "hoyas" separadas por "nudos" transversales;

- Entre 2°30'S y 3°40'S los volcanes son substituidos por extensos relieves tabulares entre 3000 y 4300 m.s.n.m. ;

- Al Sur de 3°40'S, las dos cordilleras pierden su individualidad y las altitudes no pasan de 3500 m.s.n.m..

3 -LA REGION AMAZONICA : Está conformada por dos partes :

- Paralelamente a los Andes, la zona subandina comprende

una cordillera de aproximadamente 50 km de ancho, con relieves notables sobre los 500 m.s.n.m. y hasta 3900 m.s.n.m. (Sumaco, Cutucú y El Condor) que en la zona central se encuentran separados por un relieve tabular disectado, constituido por el importante y extenso cono de deyección del Pastaza;

- Hacia el Este, con una altura inferior a 300 m.s.n.m., se extiende la amplia llanura amazónica con colinas bajas, anchas llanuras y grandes valles aluviales.

III.3 -EL OCEANO PACIFICO Y LAS CORRIENTES OCEANICAS

El régimen normal de las masas de aire tropical oceánico se encuentra modificado por la influencia de las corrientes marinas. Es interesante notar que, debido a su superficie, el Pacífico suministra aproximadamente un 50% de la evaporación del globo mientras que sólo recibe un 40 % de las precipitaciones ya que los ríos que lo alimentan no drenan más que el cuarto de las tierras emergidas. El restablecimiento del equilibrio de su balance se hace merced a los aportes en aguas profundas, principalmente de los océanos Indico y Antártico. Estas aguas, naturalmente frías dada su proveniencia, suben a la superficie, no sólo en las latitudes medias sino también en la zona intertropical, gracias al "upwelling" a lo largo de las costas peruanas y surecuatorianas cuando fuertes alisios del Sureste empujan las aguas de superficie hacia el Noroeste y el Oeste. Las aguas más calientes y menos densas, empujadas por los vientos y desviadas por la fuerza de Coriolis conforman la corriente Ecuatorial Sur con dirección occidental, lo que explica el nivel más alto de las aguas (aproximadamente 40 cm) así como la mayor profundidad de la termoclina (-200 m en vez de -50 m) observados en el Pacífico occidental. Para compensar el déficit dejado en el Pacífico oriental se forman las contracorrientes ecuatoriales Norte y Sur mientras que en las latitudes más altas la circulación se organiza en torbellinos subtropicales, dextrógiro en el hemisferio Norte y senestrógiro en el hemisferio Sur. A lo largo de las costas peruanas y surecuatorianas, la corriente fría de Humboldt circula desde el Sur y gira hacia el Noroeste a nivel del Golfo de Guayaquil, antes de calentarse progresivamente y mezclarse con la corriente ecuatorial Sur (fig. 2). La zona de transición, llamada Frente Ecuatorial (FE), se sitúa generalmente entre la costa Norte del Perú y las Islas Galápagos pero se desplaza hacia el Norte en Julio-Agosto-Septiembre y hacia el Sur en Enero-Febrero-Marzo.

Por otra parte, las costas del Ecuador, en particular en la zona de influencia de la corriente de Humboldt, están episódicamente afectadas por la llegada de aguas muy calientes que, por espacio de algunos meses, provocan sustanciales cambios climáticos. Este llamado "fenómeno del Niño" dará lugar a un detenido análisis en el capítulo VII.

IV - MODO DE ACCION DE LOS FACTORES CLIMATICOS Y MECANISMOS QUE RIGEN LAS CONDICIONES GENERALES DEL CLIMA ECUATORIANO

A grandes rasgos, el clima de una región dada depende mayormente de las características de las masas de aire que

intervienen en dicha región. Estas masas de aire están directamente condicionadas o generadas por los grandes factores descritos en el capítulo anterior.

IV.1 - PAPELES DE LA LATITUD Y DE LA LONGITUD

Los dos grandes sistemas de circulación atmosférica ponen en juego importantes masas de aire regional, ora en forma habitual, ora mediante procesos anómalos. El desplazamiento periódico del FIT hacia el hemisferio Norte o Sur acarrea el ingreso de aire con diferentes características de temperatura y humedad, las que definen las condiciones de temperatura y las lluvias. Cuando el FIT cruza hacia el Sur y luego retrocede hacia el ecuador geográfico, el país se encuentra bajo la influencia de masas de aire con carácter marítimo, calientes y húmedas, que provocan lluvias notables y el alza de la temperatura del aire. Al contrario, el desplazamiento septentrional del FIT acarrea el ingreso de masas de aire continental poco caliente o poco húmedo procedente del Sur-Este, con baja de las temperaturas y escasas lluvias. Además cuando pasa o permanece el FIT en un lugar, la actividad convectiva aumenta y se producen lluvias cortas pero intensas, bajo la forma de tormentas y chubascos.

De esta manera es posible deducir esquemáticamente como actúa el factor anteriormente expuesto :

- De Octubre-Noviembre hasta Mayo : temperaturas altas y estación lluviosa, con tormentas violentas acompañadas de descargas eléctricas en los dos períodos extremos ;

- De Mayo-Junio hasta Septiembre-Octubre : temperaturas bajas y estación seca.

A veces, el papel desempeñado por el factor latitud se ve profundamente afectado por la acción del factor longitud, en particular cuando la circulación de Walker sufre cambios anómalos que provocan la aparición del fenómeno del Niño. En este caso el FIT ocupa durante más tiempo una posición más meridional que de costumbre.

IV.2 - PAPEL DEL RELIEVE

El relieve tiene una influencia permanente sobre los elementos climáticos. Al crecer la altura, baja la presión atmosférica, aumenta la intensidad de la radiación solar, disminuye la temperatura del aire, cambia la trayectoria de los vientos y se modifican las alturas pluviométricas ya que el aire húmedo se ve obligado a subir, sufre una expansión de carácter adiabático que provoca su enfriamiento, la condensación del vapor de agua, la formación de gotas y la precipitación de las mismas. Por otra parte, la orografía muy peculiar del Ecuador define regiones naturales muy individualizadas que generan masas de aire con características muy diversas :

- Masas de aire tropical continental, sobre la llanura amazónica y la depresión litoral del Guayas, con una temperatura elevada y una notable humedad procedente de la evaporación de los pantanos y de la evapotranspiración de la selva. Pueden ser sometidas al proceso de enfriamiento adiabático y producir importantes precipitaciones a lo largo de las estribaciones externas de las dos cordilleras ;

- Masas de aire frío continental, alrededor de la cumbre de los principales volcanes, con una notable humedad aunque esta no se traduzca por fuertes precipitaciones debido al frío ambiental;

- Masas de aire templado continental, en las regiones ubicadas aproximadamente entre 2000 y 3000 m.s.n.m., con un contenido de agua variable, generalmente poco húmedo cuando se sitúa en las hoyas interandinas.

En términos generales, el papel desempeñado por el factor relieve puede resumirse de la siguiente manera :

- Aumento de las precipitaciones en las laderas externas de las cordilleras. Cuando el régimen de los vientos es favorable, parte de las precipitaciones puede ingresar al callejón interandino, en Octubre y Noviembre en el caso de las lluvias provocadas por las masas de aire amazónico, y entre Febrero y Mayo en lo que se refiere a las masas de aire procedente de la llanura litoral. Cuando la descarga en las laderas externas es completa, el aire ya seco desciende a lo largo de la ladera opuesta, se calienta por compresión adiabática y se transforma en un viento llamado "Foehn" que invade parte del corredor interandino;

- En altura, encima de 3200 m.s.n.m., precipitaciones generalmente escasas con intensidades débiles, adoptando a veces el estado sólido, nieve o granizo, cuando la temperatura se acerca a 0°C ;

- Acumulación de aire denso, bastante frío y seco en los valles interandinos, contribuyendo en mantener un clima estable y poco lluvioso ;

VI.3 - PAPEL DEL OCEANO PACIFICO Y DE LAS CORRIENTES OCEANICAS

Encima del Océano Pacífico, en su mayor extensión, reinan masas de aire tropical marítimo con alta temperatura y gran contenido de humedad, condiciones propicias para provocar precipitaciones cuando el viento sopla hacia el continente, en donde pueden mezclarse con el aire tropical continental de la llanura litoral y sufrir el proceso ya descrito de ascensión y enfriamiento adiabático con precipitaciones en las estribaciones externas y hasta el interior del callejón interandino.

Por otra parte, como ya ha sido señalado, el Ecuador en general y su zona litoral centro-meridional, en particular, están sometidos a la influencia permanente de la corriente fría de Humboldt o corriente Ecuatorial Sur y están expuestos a la acción esporádica de

un flujo de aguas calientes procedente del Golfo de Panamá, comunmente conocido como corriente del Niño que, en condiciones particulares, se ve extraordinariamente ampliada (fenómeno del Niño). Estas condiciones concurren para generar :

- Masas de aire marítimo relativamente frío, en toda el área de influencia de la corriente de Humboldt, cuya temperatura frente a las costas del Ecuador fluctúa entre 14 y 18°C. La evaporación es mucho menor que en las demás regiones del océano, lo que da lugar a masas de aire húmedo pero de temperatura baja, que al llegar al continente (Península de Santa Elena y costa Sur de Manabí) no pueden precipitar porque no existe el enfriamiento suficiente para ello. Se manifiestan en forma de niebla o llovizna débil (garúa). También influyen en las islas Galápagos ;

- Masas de aire marítimo caliente, que se desplazan a lo largo de las costas con el fenómeno del Niño. Están caracterizadas por temperaturas elevadas y saturación de humedad, lo que provoca muy fuertes lluvias en regiones habitualmente sometidas a la corriente de Humboldt, es decir áridas a semi-áridas.

De esta manera, el papel desempeñado por el Océano Pacífico y las corrientes oceánicas puede resumirse de la siguiente forma :

- Ingreso al continente de masas de aire caliente y húmedo, en relación con el desplazamiento del FIT hacia el Sur, y fortalecimiento de las masas de aire continental litoral, lo que concurre para aumentar las alturas pluviométricas ;

- Instalación de un clima muy seco en las regiones litorales central y meridional ;

- Existencia de un clima de tipo ecuatorial, con dos picos lluviosos al año, en las islas Galápagos.

- Generación de lluvias excepcionales vinculadas con la aparición de un fenómeno del Niño.

IV.4 - ACCION CONJUNTA DE LOS DIFERENTES FACTORES

Los tres factores anteriormente descritos se conjugan para conformar un guión extremadamente complejo pero, cuando todas sus condiciones son normales, es decir cuando uno u otro no ha sufrido un cambio anómalo importante (tal como un fenómeno del Niño), sus respectivos papeles explican bastante bien las grandes clases de climas y, en particular, los diferentes regímenes pluviométricos habituales observados en el país, presentados a continuación :

- en el litoral, un régimen de tipo tropical, con una única estación lluviosa, entre Diciembre y Abril (desplazamiento del FIT) y totales pluviométricos bajos en la franja costanera centro-meridional (papel de la corriente de Humboldt) aumentando hacia el interior (papel de la Cordillera Occidental) ;

- en las estribaciones orientales de la Cordillera Real y en la

región amazónica, un régimen persistente con lluvias abundantes bien distribuidas a lo largo de todo el año (ubicación del FIT, permanencia de las masas de aire tropical húmedo amazónico) ;

- en el callejón interandino, un régimen de tipo ecuatorial con dos estaciones lluviosas que corresponden al ingreso respectivo de las masas de aire amazónico (Octubre y Noviembre) o pacífico (Enero-Mayo), siendo los totales pluviométricos muy variables en función de la altura, de la exposición de las vertientes y de los relieves transversales que definen hoyas abrigadas más secas (altitud y relieve de las dos cordilleras) ;

- en la región insular, un régimen de tipo ecuatorial con dos estaciones lluviosas (desplazamientos del FIT y del FE).

V - VALORES DE LOS PRINCIPALES ELEMENTOS CLIMATICOS OBSERVADOS EN EL ECUADOR

A continuación se expone un muy breve compendio de los valores registrados para los elementos principales (heliofanía o duración de la insolación, temperaturas, precipitaciones) en cada una de las grandes regiones naturales del Ecuador : Costa, Sierra, Amazonía e Islas Galápagos (fuente : 10).

Con el fin de compararse entre si, los valores medios presentados han sido calculados para un período homogéneo de 15 años (1964-1978).

V.1 - DURACION ANUAL DE LA INSOLACION

En toda la llanura litoral, hasta la altura de 500 m.s.n.m. en la ladera de la Cordillera Occidental, el número anual de horas de insolación es generalmente de 500 a 1300, siendo las más favorecidas de este elemento las zonas más secas.

En la Sierra y la zona interandina, la insolación es casi siempre superior a 1000 horas anuales, a excepción de los lugares muy lluviosos. Es posible decir que varía de 600 a 1400 h entre 500 y 1500 m.s.n.m.; está comprendida entre 1000 y 2000 h en el intervalo 1500-3000 m.s.n.m.; puede alcanzar valores más fuertes en lugares más elevados.

Existen pocos datos en la región amazónica pero es probable que, en general, la duración anual de la insolación no rebase 1200 horas, con algunas excepciones en los sitios menos lluviosos.

En el Archipiélago de Colón, el número anual de horas de sol debe ser igual o mayor a 2000 horas en la faja litoral.

CUADRO 1

REGION	ESTACION	INSOLACION EN HORAS
LITORAL	Guayaquil	1.580
	Portoviejo	1.310
	San Lorenzo	1.080
	Isabel María	960
	Pichilingue	930
	Pasaje	790
	Santo Domingo	770
	Ing. San Carlos	760
	Puerto Ila	670
	Bucay	470
ANDINA	Quito	2.040
	Amabato	1.780
	Loja	1.650
	Riobamba	1.600
	Cuenca	1.560
	Baños	1.400
	Tulcán	1.350
	Pisayambo	1.170
AMAZONICA	Tiputini	1.420
	Puyo	970
INSULAR	San Cristóbal (Puerto)	2.350

V.2 - LAS TEMPERATURAS

La gama de temperaturas es muy amplia ya que las temperaturas medias se extienden desde cerca de 0°C en la cumbre de los nevados hasta más de 26°C en el litoral y en la llanura amazónica.

En la región andina, la temperatura está en general estrechamente vinculada con la altura. Entre 1.500 y 3.000 m.s.n.m., los valores medios varían de 20 a 8°C, con máximos absolutos entre 30 y 22°C y mínimos absolutos entre 5 y - 4°C, generalmente.

En las faldas externas de las dos cordilleras, ha sido posible calcular el gradiente altitudinal de la temperatura media. Aunque en la vertiente oriental se observen valores ligeramente superiores en las estribaciones bajas y ligeramente inferiores en la zona alta (6), las siguientes ecuaciones respectivamente válidas entre 500 y 3000 m.s.n.m. y entre 3000 y 4200 m.s.n.m. nos dan una buena imagen de la realidad en ambas vertientes.

500 < A < 3000 $T = 25,7 - 0,0047 A$, lo que corresponde a una

3000<A<4200

$$T = 30,5 - 0,0065 A$$

baja de cerca de 5°C por cada 1000 m de altura.

, o sea una baja de 6,5°C cada 1000 m de altura.

En la región oriental, zona litoral e Islas Galápagos, la media anual se establece alrededor de 24 a 25°C, con extremos que raras veces sobrepasan de 38°C o bajan a menos de 13°C. Los mínimos observados en Zamora (6°C en diciembre de 1973) y Puyo (8,3°C en mayo de 1966) son realmente excepcionales.

CUADRO 2

REGION	ESTACION	MEDIA ANUAL en ° C	MIN. ABS. en ° C	MAX. ABS. en ° C
LITORAL	San Lorenzo	24,5	14,0	39,9
	Esmeraldas	25,7	18,3	35,0
	Milagro	24,6	14,5	35,2
	Guayaquil	25,2	14,0	36,6
	Portoviejo	26,5	11,7	37,8
ANDINA	Otavalo	14,4	- 0,5	28,2
	Quito	13,4	0,2	29,9
	Cotopaxi	8,1	- 1,5	18,7
	Ambato	12,8	- 0,6	25,6
	Riobamba	13,5	- 3,6	28,3
	Cuenca	14,8	- 0,2	28,0
AMAZONICA	Tiputini	25,4	14,0	38,0
	Pastaza	20,1	10,6	30,4
	Puyo	20,3	8,6	31,0
	Zamora	21,2	6,0	35,0
INSULAR	Charles Darwin	23,7	13,8	35,3
	San Cristóbal	23,7	13,2	33,6

V.3 - LAS PRECIPITACIONES

Como en el caso de las temperaturas, la gama de alturas anuales de lluvias es muy extensa, puesto que varía entre menos de 100 y más de 4.000 mm.

La región amazónica, al igual que el Noreste de la provincia de Esmeraldas, son las zonas más lluviosas con totales anuales mayores a 3.000 mm. Los valores mensuales pueden alcanzar más de 500 mm y generalmente superan los 200 mm. Las lluvias están repartidas uniformemente a lo largo del año, con una leve recesión entre Diciembre y Febrero.

En la llanura litoral y hasta aproximadamente 1.500 m de altitud en la Cordillera Occidental, las precipitaciones anuales aumentan de Oeste a Este, con una cierta irregularidad debido a relieves locales. Los valores menores se registran en la punta de la península de Santa Elena y a ambos lados del cabo San Lorenzo (inferiores a 200 mm) mientras que alturas anuales superiores a 3.000 mm pueden observarse en la ladera de la Cordillera Occidental, a una altura aproximada de 1.000 m. En todas partes la distribución de las lluvias es idéntica : período lluvioso único entre Diciembre y Abril y estación seca muy marcada durante el resto del año.

Como se ha explicado anteriormente, la región andina recibe la influencia alterna de masas de aire oceánico y amazónico. Resultado: un régimen pluviométrico con dos estaciones lluviosas, de Febrero a Mayo y en Octubre-Noviembre, con una primera estación seca muy marcada entre Junio y Septiembre, siendo menos acentuada la segunda, en Diciembre-Enero.

En razón de que las lluvias son provocadas por nubes ya en parte descargadas de su humedad en las laderas exteriores de las cordilleras, los totales pluviométricos observados no son muy elevados, entre 800 y 1.500 mm generalmente. Sin embargo, en las hoyas interandinas muy abrigadas, los valores anuales pueden ser bastante menores : 300 mm en el valle del Chota (Salinas) y 400 mm en el valle del Jubones (Santa Isabel), por ejemplo.

Por otra parte, en las regiones situadas sobre los 3.500 m de altura, se observan frecuentes neblinas y las lluvias son generalmente de larga duración y débil intensidad.

En la provincia insular, la deficiencia de la red de observación no permite adelantar conclusiones definitivas. Sin embargo, parece necesario diferenciar el régimen pluviométrico de las zonas de baja altitud del régimen que reina en las zonas altas. En el primer caso, se observan dos estaciones relativamente más húmedas de aproximadamente tres meses cada una, centradas en los meses de Febrero y Junio-Septiembre; en el segundo caso, interviene un factor suplementario ya que, en las cumbres de las montañas y zonas aledañas, el enfriamiento adiabático provoca la condensación de la humedad del aire y conforma neblinas y garúas, estando el período más húmedo generalmente situado entre Noviembre y Febrero, con variaciones locales.

El cuadro 3 presenta la distribución de las lluvias mensuales. Los regímenes pluviométricos están materializados en los histogramas que acompañan al mapa de isoyetas anuales (curvas de igual pluviometría anual). Véase fig. nº 3.

Un aspecto muy particular de la pluviometría consiste en su irregularidad interanual, fenómeno que se analizará en el capítulo VII. Para estimar el valor que corresponde a diferentes períodos de retorno, se ha escogido el mejor ajuste entre diferentes leyes de distribución. Algunos valores se presentan a continuación :

Quito Observatorio: mediana (valor anual) = 1.204 mm	
100 años secos = 570 mm	100 años húmedos = 1.780 mm
10 años secos = 947 mm	10 años húmedos = 1.504 mm

Guayaquil : mediana = 1.015 mm		
100 años secos = 390 mm	100 años húmedos = 2.600 mm	
10 años secos = 600 mm	10 años húmedos = 1.710 mm	
Ibarra : mediana = 616 mm		
100 años secos = 380 mm	100 años húmedos = 1.050 mm	
10 años secos = 466 mm	10 años húmedos = 825 mm	
Loja : mediana = 815 mm		
100 años secos = 530 mm	100 años húmedos = 1.170 mm	
10 años secos = 645 mm	10 años húmedos = 1.000 mm	
Machala : mediana = 465 mm		
100 años secos = 145 mm	100 años húmedos = 2.000 mm	
10 años secos = 225 mm	10 años húmedos = 1.050 mm	
Santo Domingo : mediana = 3.135 mm		
100 años secos = 1.970 mm	100 años húmedos = 5.400 mm	
10 años secos = 2.370 mm	10 años húmedos = 4.230 mm	
Puyo : mediana = 4.540 mm		
10 años secos = 4.010 mm	10 años húmedos = 5.210 mm	
Limoncocha : mediana = 3.240		
10 años secos = 2.830 mm	10 años húmedos = 3.660 mm	
Esmeraldas : mediana = 730 mm		
100 años secos = 365 mm	100 años húmedos = 1.490 mm	
10 años secos = 500 mm	10 años húmedos = 1.083 mm	
Portoviejo : mediana = 477 mm		
100 años secos = 185 mm	100 años húmedos = 1.180 mm	
10 años secos = 285 mm	10 años húmedos = 790 mm	
Tulcán : mediana = 865 mm		
100 años secos = 500 mm	100 años húmedos = 1.450 mm	
10 años secos = 646 mm	10 años húmedos = 1.140 mm	
Ambato : mediana = 475 mm		
100 años secos = 260 mm	100 años húmedos = 800 mm	
10 años secos = 341 mm	10 años húmedos = 650 mm	

En cuanto a las lluvias diarias (11), los valores registrados en la zona costanera y en la zona amazónica son notablemente más elevados que los observados en la Sierra :

Quito Observatorio : mediana (valor anual) = 39 mm	
100 años = 68 mm	10 años = 52 mm
Guayaquil : mediana = 83 mm	
100 años = 220 mm	10 años = 143 mm
Ibarra : mediana = 34 mm	
100 años = 63 mm	10 años = 47 mm

Loja : mediana = 35 mm
100 años = 64 mm
10 años = 51 mm

Machala : mediana = 34 mm
10 años = 84 mm

Cotopaxi : mediana = 30 mm
100 años = 55 mm
10 años = 44 mm

Puyo : mediana = 109 mm
10 años = 144 mm

VI. - LAS GRANDES CLASES DE CLIMA EN EL ECUADOR

Como lo dijo R. ARLERY, "el problema de la clasificación de los climas es insoluble y solo puede recibir soluciones arbitrarias y artificiales ... Para tener una utilidad práctica, una clasificación debe basarse en datos sencillos o por lo menos fácilmente accesibles, para finalmente llegar a un marco suficientemente general para poder comparar climas con numerosas semejanzas y, sin embargo, bastante detallado para poder diferenciar climas separados por algunas características más o menos importantes". Por esta razón, la clasificación presentada a continuación se fundamenta en criterios sencillos voluntariamente escogidos y no tiene la pretensión de ser considerada como exclusiva.

Los criterios seleccionados se refieren a las temperaturas medias así como al régimen y altura de las lluvias anuales.

El régimen de las lluvias toma en consideración al número y a la distribución anual de los máximos pluviométricos :

- "Ecuatorial" cuando se observan dos picos pluviométricos más o menos vinculados con el movimiento aparente del sol. En efecto, a nivel general planetario, a proximidad del ecuador geográfico se observan : dos estaciones lluviosas que coinciden con los equinoccios, una estación relativamente seca que corresponde al solsticio de verano y una corta estación poco lluviosa en la época del solsticio de invierno ;

- "Tropical", con un sólo máximo lluvioso y una estación seca marcada ;

- "Uniforme", cuando las lluvias están bien distribuidas a lo largo de todo el año.

Para caracterizar a las alturas de las precipitaciones fueron considerados los límites y definiciones siguientes :

- "Arido a semi-árido", para totales anuales inferiores a 500 mm ;

- "Seco a semi-húmedo", entre 500 y 1.000 mm ;

- "Húmedo", entre 1.000 y 2.000 mm ;
- "Muy húmedo", superior a 2.000 mm.

Para distinguir a las temperaturas se escogieron tres clases en función de las medias registradas anualmente :

- "Megatérmico", para temperaturas medias superiores a 22°C ;
- "Mesotérmico", para temperaturas entre 12 y 22°C ;
- "Frío", para temperaturas inferiores a 12°C ;

En definitiva, se ha podido separar nueve grandes clases de clima (Vease fig. 4). Los valores correspondientes a sus principales elementos constan en el cuadro n° 4. Cada una de las grandes regiones naturales cuenta con una o varias clases de clima que se describen brevemente a continuación :

REGION COSTANERA

En esta región, de Oeste a Este, es posible separar tres tipos de climas :

- Clima tropical megatérmico árido a semi-árido : Este clima reina en la Península de Santa Elena, el Cabo San Lorenzo y en la parte meridional de la franja litoral.

Debido a la influencia de la corriente de Humboldt, los mínimos de las lluvias y temperaturas medias anuales se observan en Salinas con 125,5 mm y 23,4°C. Las temperaturas máximas superan 32°C y las mínimas se establecen alrededor de 16°C. Las precipitaciones anuales son inferiores a 500 mm y se recogen en una sola estación lluviosa de Enero a Abril. Entre Julio y Octubre, el tiempo se caracteriza por un cielo muy nublado y por neblinas o lluvias de muy débil intensidad, llamadas "garúa", sin impacto notable sobre la vegetación. Sin embargo, existe una gran irregularidad interanual de las precipitaciones y episódicamente, la aparición de un fenómeno del Niño produce lluvias excepcionalmente elevadas, únicas ocasiones en las que reverdece el paisaje.

- Clima tropical megatérmico seco a semi-húmedo : Ubicado al Este del clima precedente, influye en una faja de unos 60 km de ancho. La pluviometría anual está comprendida entre 500 y 1.000 mm recogidos entre Diciembre y Mayo. La estación seca es muy marcada y las temperaturas medias son elevadas, superiores a 24°C. La vegetación está principalmente constituida por un bosque seco con numerosos "ceibos".

- Clima tropical megatérmico húmedo : Se desarrolla en una faja un poco inferior a 110 km de ancho que parte de Esmeraldas para desaparecer a nivel del Golfo de Guayaquil. La lluvia total anual varía generalmente entre 1.000 y 2.000 mm aunque, puntualmente, pueda alcanzar valores superiores en las bajas estribaciones de la cordillera. Como en el caso anterior las lluvias están concentradas en un período único, de Diciembre a Mayo, siendo seco el resto del

año. Las temperaturas medias fluctúan alrededor de 24°C y la humedad relativa varía entre 70 y 90% según la época. La vegetación es un bosque denso que tiene un periodo de receso dentro de su ciclo vegetativo.

REGION ANDINA

Sin entrar en el detalle de un gran número de microclimas y topoclimas, es posible describir cuatro tipos de clima que abarcan el área andina :

- Clima tropical megatérmico muy húmedo : Se trata de un clima de transición entre los climas de la región andina y los climas de la zona litoral y amazónica. Abarca las vertientes exteriores de las dos cordilleras entre 1.000 y 2.000 m.s.n.m., aproximadamente. La temperatura media anual varía notablemente con la altura pero siempre es elevada y la humedad relativa se establece alrededor del 90%. Las precipitaciones anuales, recogidas en una sola estación lluviosa, son fuertes y superiores a 2.000 mm. La vegetación es esencialmente selvática pero la tala indiscriminada y los desmontes para instalar pastos la ponen en serio peligro.

- Clima ecuatorial mesotérmico semi-húmedo a húmedo : Es el clima más frecuente de la zona interandina, exceptuando los valles abrigados y las zonas con altitudes mayores a 3.000-3.200 m.s.n.m. Las temperaturas medias anuales se sitúan generalmente entre 12 y 20°C aunque llegan a ser inferiores en las vertientes poco soleadas. Es así como la duración de la insolación puede variar ampliamente entre 1.000 y 2.100 horas anuales y que las temperaturas máximas no rebasan 30°C mientras que las mínimas raras veces se anotan bajo 0°C. Variando con la altura y la exposición, la humedad relativa se sitúa entre 65 y 85%. Las precipitaciones anuales fluctúan de 500 mm hasta 2.000 mm y están distribuidas en dos estaciones lluviosas, de Febrero a Mayo y en Octubre-Noviembre, siendo bien marcada la estación seca entre Junio y Septiembre mientras que la situación y la duración del llamado "veranillo del Niño" son muy variables entre los meses de Diciembre y Enero. La vegetación natural está ampliamente sustituida por cultivos.

- Clima ecuatorial mesotérmico seco : Está asociado con los valles interandinos bien abrigados y de menor altura. Las temperaturas medias anuales fluctúan entre 12 y 20°C con muy poca diferencia entre meses de verano y de invierno. En las mismas épocas que en el clima precedente, las lluvias anuales están distribuidas en dos picos lluviosos separados por dos estaciones secas pero los totales observados son generalmente inferiores a 500 mm. La acumulación de aire relativamente más frío, por consiguiente más denso, contribuye para generar condiciones climáticas bastante estables con un cielo generalmente poco nublado, una humedad relativa entre 50 y 80% y una insolación que siempre supera las 1.500 horas anuales.

- Clima ecuatorial frío de alta montaña : Siempre se ubica sobre los 3.000-3.200 m.s.n.m. La altitud y la exposición de las

vertientes determinan los valores de las temperaturas y de las lluvias. Las temperaturas máximas raras veces pasan los 20°C, las mínimas alcanzan generalmente valores bajo 0°C mientras que las medias anuales son muy variables y más comunmente fluctúan entre 4 y 8°C. De igual manera, los totales anuales de lluvia son irregulares, comprendidos entre 800 y 2.000 mm, con aguaceros generalmente de larga duración pero con débiles intensidades. La humedad relativa es elevada, siempre superior al 80%. La vegetación natural llamada "matorral" en el piso más bajo, es sustituida en el piso inmediatamente superior por una espesa capa herbácea frecuentemente saturada de agua, el "páramo".

REGION AMAZONICA

El clima que se describe a continuación es el que más comunmente reina en la cuenca amazónica aunque también abarque parte de la región septentrional de la provincia costanera de Esmeraldas.

- Clima uniforme megatérmico muy húmedo : Está caracterizado por una fuerte temperatura media, cercana a los 25°C y por totales pluviométricos muy elevados, casi siempre superiores a 3.000 mm hasta alcanzar más de 5.000 mm. La distribución de las lluvias es muy regular a lo largo de todo el año aunque exista un pico lluvioso centrado sobre el mes de Agosto y una débil recesión de la pluviosidad entre Diciembre y Febrero. Evidentemente, la humedad relativa es fuerte, superior al 90% y el cielo está frecuentemente nublado lo que se traduce por una débil insolación, del orden de 1.000 horas anuales. Como no existe receso en el cielo vegetativo, la vegetación es una selva siempre verde con hojas perennes.

REGION INSULAR

En realidad, en las Islas Galápagos, reinan diferentes tipos de clima materializados por una diversificación de la vegetación entre el nivel del mar y la cúspide de los volcanes más elevados. Sin embargo, la escasez de estaciones de observación así como el número muy limitado de las zonas pobladas no permiten argumentar las diferencias climáticas existentes. Por esta razón, las diferentes y variadas características fueron agrupadas en una sola clase de clima.

- Clima insular : Es de tipo ecuatorial pero se caracteriza por una gran irregularidad según la altura y la exposición de las vertientes en relación con la dirección predominante de los vientos. En las zonas litorales, donde las temperaturas medias fluctúan alrededor de 23°C, el clima varía de árido a muy seco hasta aproximadamente 100 m de altura, pasando paulatinamente a semi-húmedo o húmedo conforme aumenta la altitud. A pesar de la insuficiencia de observaciones ya señalada, parece necesario diferenciar el régimen pluviométrico de las zonas de baja altitud del régimen de las zonas altas. En el primer caso, se observan dos estaciones relativamente más húmedas de aproximadamente tres meses cada una, centradas en los meses de Febrero y Junio/Septiembre; en el segundo caso, interviene un factor adicional ya que, en las cumbres de las montañas y zonas aledañas, el enfriamiento adiabático

provoca la condensación de la humedad del aire y llega a conformar neblinas llamadas "garúas". En dichos sectores, el período más húmedo se sitúa generalmente entre Noviembre y Febrero, con variaciones locales. Un análisis de las pocas series pluviométricas observadas indica la gran heterogeneidad de la distribución espacial de las lluvias anuales que pueden variar entre aproximadamente 100 mm hasta cerca de 2.000 mm. Estos valores demuestran la influencia de la exposición a los vientos, siendo más húmedas las zonas ubicadas al Sur de las islas : en la misma isla de Santa Cruz, para iguales alturas, se observan al Norte 92.3 mm en la estación de Seymour y 365 mm en la estación Charles Darwin ubicada al Sur. Por otra parte, se evidencia el fuerte gradiente pluviométrico que aumenta con la altura, tal como es el caso en la isla San Cristóbal: 288.9 mm a 30 m de altura, 1383.7 mm a 300 m de altura y 1706.6 mm a 400 m de altura. Evidentemente el gradiente térmico es inverso y las temperaturas bajan algunos grados con la altura.

Otra característica del clima insular es la gran irregularidad interanual de las pluviometrías. En efecto el régimen pluviométrico general se sujeta a la influencia de dos factores principales : los desplazamientos del FIT que siguen el movimiento aparente del sol y las del Frente Ecuatorial FE, que marca la zona de transición entre las aguas frías de la corriente de Humboldt y las aguas calientes de la corriente ecuatorial Sur. Todo cambio anómalo de estos dos factores puede provocar enormes diferencias en las alturas pluviométricas habitualmente observadas. Es así como períodos de precipitaciones excepcionales corresponden a una posición muy meridional del FIT y del FE que produce condiciones favorables al incremento de las precipitaciones. Por el contrario, los años con una pluviometría deficitaria responden a un patrón opuesto, ubicándose y permaneciendo el FIT y el FE en una situación septentrional anómala, la misma que impide el ingreso de aire caliente húmedo mientras que la zona está sometida al aire relativamente frío originado por la corriente de Humboldt. La vegetación se encuentra marcadamente zonificada en función de la altura y de la exposición de las vertientes al viento. En las partes bajas está principalmente compuesta por plantas espinosas.

VII - ASPECTOS CLIMATICOS ANOMALOS Y ESPECIFICOS AL ECUADOR

A pesar de haberlo establecido con una óptica de simplificación, no cabe duda que el panorama expuesto en el capítulo anterior revela la complejidad de la realidad climática del Ecuador. No existe un solo sistema climático con matices regionales sino más bien climas de extrema variedad ligados a sistemas regionales y microregionales originales, característicos de la geografía ecuatoriana.

En si misma esta diversidad confiere al país una fuerte originalidad pero un rasgo aún más peculiar radica en la muy fuerte irregularidad de los elementos climáticos, más particularmente de las lluvias. Es así como sería peligroso considerar los climas del Ecuador únicamente a base de los valores medios anuales porque los años excepcionales traen consecuencias determinantes en la distribución espacial de la población y en la economía nacional. De igual manera, sería también peligroso considerar la realidad

climática actual del país como un parámetro fijo e inmutable y se hace necesario ubicarla en un marco referencial de tiempo más amplio con el fin de buscar una posible evolución, por ejemplo la tendencia de las lluvias hacia una baja o un aumento.

Por las razones anteriormente expuestas, se analizarán dos aspectos opuestos de fenómenos climáticos extremos que afectan al Ecuador : el fenómeno del Niño y el desenvolvimiento de un actual proceso de desertificación en la región costanera.

VII.1 - EL FENOMENO DEL NIÑO

Hace más de un siglo que los pescadores sudamericanos bautizaron con el nombre de EL NIÑO (término que designa al Niño Jesús) al calentamiento de la superficie del océano que ocurre cada año en época de Navidad, a lo largo de las costas peruanas y ecuatorianas, con una duración aproximada hasta Marzo o Abril.

Sin embargo, es posible que este acontecimiento tenga una magnitud mayor a la anteriormente descrita y que el calentamiento sea más pronunciado y perdure mucho más tiempo. Tales fenómenos han sido observados últimamente en 1953, 1957-58, 1965, 1972-73, 1976-77 y recientemente en 1982-83. En la actualidad, en los medios científicos, la denominación de "Fenómeno del Niño" o más sencillamente "Niño" no se refiere al limitado calentamiento observado anualmente y alude preferentemente a los eventos excepcionalmente marcados. Es así como el SCOR (Scientific Committes for Ocean Research) define al Niño : "un flujo de aguas calientes que, durante un período por lo menos igual a cuatro meses, presenta una anomalía positiva de temperatura igual o superior al valor de una desviación estándar y que se desplaza hacia las costas de Ecuador y Perú", definición que al momento ha sido ampliada para caracterizar a los flujos de aguas oceánicas superficiales anormalmente calientes en toda la zona del Océano Pacífico tropical. Esta invasión puede extenderse más allá de 12° de latitud Sur, a lo largo de las costas peruanas, donde se observan habitualmente importantes movimientos ascendentes de aguas profundas frías (upwelling), favorecidos por intensos alisios del Sureste. Estas aguas, ricas en elementos nutritivos, son las que permitieron al Perú desarrollar muy importantes industrias vinculadas con la pesca y la explotación del "guano" .

La ocurrencia de un Niño trae enormes consecuencias, tanto en el plano biológico como climático (12). Por una parte la biomasa de fitoplanctón oceánico sufre una considerable baja en diatomeas y un aumento en dinoflagelados de aguas calientes, acompañados por una fuerte disminución en huevos y alevines de peces pelágicos (caballas, sardinas y en especial anchovetas), lo que tiene repercusiones catastróficas en la vida marina y en la población de aves acuáticas. Un ejemplo en el Perú : debido a la escasez de alimentación, el Niño de 1957-58 redujo la fauna avícola marina de 20 millones a 6 millones de individuos mientras que, por causa del Niño de 1972, las capturas de anchovetas disminuyeron espectacularmente de 12 millones de toneladas en 1970 a 4 millones

en 1972 y 1.5 millón en 1973, siendo aún mayor el impacto del Niño 1982-83 después del cual la pesca anual cayó a menos de 0.5 millón de toneladas.

Por otra parte, las aguas oceánicas superficiales particularmente calientes y los alisios relativamente débiles que reinan en el Océano Pacífico, al igual que la ubicación muy meridional del FIT, generan condiciones muy propicias para provocar abundantes precipitaciones, con consecuencias a veces catastróficas. Desde este punto de vista, el Niño 1982-83 ha sido particularmente excepcional ya que, en Julio de 1983, Joan HOCK del Servicio de información y observación del medio ambiente de Estados Unidos estableció la siguiente lista de los daños ocasionados por este fenómeno : "inundaciones en las 5 provincias occidentales del Ecuador y en la llanura costanera de Perú, con un saldo de 260 víctimas, 200 millones de dolares en pérdidas de propiedades, 100 millones de dolares en pérdidas agrícolas. En el Ecuador, las inundaciones devastaron las plantaciones de arroz y la infraestructura de riego".

Dado su fuerte impacto en la economía de la region, era lógico que además de estudios meteorológicos a nivel planetario, el Niño dé lugar a estudios más específicos. Es así como Chile, Colombia, Ecuador y Perú han conformado el grupo ERFEN (Estudio Regional del Fenómeno del Niño) que intenta entender los mecanismos y prever la aparición del fenómeno, a base de un intercambio de información climatológica y de cruceros oceanográficos. Por otra parte, a nivel internacional, fue creado un grupo mixto de trabajo COI-OMM-CPMS (Comisión Oceanográfica Internacional - Organización Meteorológica Mundial - Comisión Permanente del Pacífico Sur) que realiza estudios detallados de las condiciones físicas, meteorológicas y biológicas del océano, al utilizar datos registrados y transmitidos por estaciones meteorológicas fijas, buques oceanográficos o mercantiles, boyas a la deriva, satélites etc.

De esta manera, poco a poco, se logró circunscribir el problema de la formación y del desarrollo del Niño, aunque las hipótesis expresadas no sean siempre concordantes y que las causas verdaderas de algunos parámetros sean todavía el objeto de estudios.

Al inicio, se había pensado que se trataba de un fenómeno local cuya causa era el debilitamiento de los vientos de baja altitud a lo largo del litoral. Sin embargo, después de un estudio detallado, se comprobó que no existía una reducción notable de la fuerza de los vientos y que los Niños estaban acompañados por manifestaciones meteorológicas inhabituales, por lo que venían a ser necesarios estudios en un marco espacial mucho más amplio.

Aunque no sea posible adelantar una explicación definitiva acerca de las causas y aparición de este fenómeno, ya que un examen comparativo de los anteriores eventos del Niño demuestra que, pese a tener ciertas características comunes, nunca se asemejan completamente, las teorías explicativas más satisfactorias son las de Klaus KYRDKI (13) y de Jacob BJERKNES (14).

Después de haber probado que, durante los 18 meses anteriores a un Niño, los alisios soplaban más fuerte que lo normal, WYRTKI formula su tesis de "la respuesta dinámica del océano al aumento de la fuerza de los alisios". Citemos un extracto de sus artículos : "... fuertes alisios del Sureste, que soplan durante más de 18 meses, provocan una acumulación de agua caliente en el Pacífico Oeste, acompañada por una elevación del nivel del océano y un ahondamiento de la termoclina (15°C). Tan pronto como se debilitan dichos vientos, el agua acumulada tiende a retroceder hacia el Pacífico oriental y las costas sudamericanas; la llegada de estas aguas calientes provoca una elevación del nivel del océano mientras que la termoclina se ahonda, lo que de esta manera suplanta los efectos del upwelling y marca el inicio de un Niño". (fig. nº 5).

Por su parte, BJERKNES propone su teoría de la "interacción termodinámica entre océano y atmósfera". En 1966, puso el primer hito para la comprensión del Niño : notó que el calentamiento anormal del océano estaba asociado con la Oscilación Sur, fenómeno que había sido observado por primera vez en 1924 por WALKER. Se trata de una fluctuación de la circulación atmosférica transversal puesta en evidencia por el mismo WALKER (véase par. III.1), variación más o menos cíclica de las diferencias de presión atmosférica entre el sistema de las altas presiones del Pacífico Sureste (isla de Pascua - Tahiti) y el sistema de bajas presiones en la región de Indonesia - Australia, con un período aproximado de 3 años. Para cuantificar este fenómeno se definió un índice de Oscilación Sur, diferencia existente entre las presiones de los sistemas anteriormente mencionados. El índice es positivo cuando la diferencia entre Este/Oeste es superior a la diferencia normal y negativo en el caso contrario. BJERKNES se dió cuenta que el Niño estaba asociado con un índice negativo : empieza cuando el índice va decreciendo y culmina cuando el índice alcanza su valor más bajo. La rama ascendente de la circulación zonal se desplaza hacia el Este, entre la Nueva Guinea y el meridiano 180°. La debilitación de los alisios y el aumento de las temperaturas superficiales del océano auspician el reforzamiento de la contra-corriente ecuatorial (en asociación con ondas de la capa superficial, llamadas ondas de Kelvin), lo que en el litoral sudamericano se traduce por un aporte de aguas calientes y una elevación del nivel oceánico, siendo las aguas redistribuidas hacia el Norte y particularmente hacia el Sur, lo que origina un Niño. Simultáneamente el FE se encuentra claramente más al Sur que lo acostumbrado y, debido a una fuerte alteración de la circulación atmosférica de Hadley, el FIT ocupa también una posición más meridional, quedándose mucho tiempo antes de migrar hacia el Norte, condiciones que concurren para generar precipitaciones excepcionales.

Evidentemente, debido a sus consecuencias catastróficas, la predicción del Niño resultaría sumamente valiosa ya que permitiría tomar las precauciones para su mitigación. Las dos hipótesis anteriormente expuestas dan cuenta de la posibilidad de predecir el fenómeno gracias a indicadores previos, en particular : variación positiva del nivel del océano y de la profundidad de la termoclina entre el Pacífico Oriental y el Pacífico Occidental, en el primer caso, aumento significativo de las temperaturas superficiales de las

aguas y fuerte anomalía de la diferencia de presiones atmosféricas entre el Pacífico Sureste y Australia-Indonesia, en el segundo caso. Sin embargo, a pesar de haber sido registradas unas pocas observaciones anómalas, dichos indicadores no permitieron prever el Niño 1982-83 con la anticipación suficiente, ocurriendo el fenómeno en forma repentina e inesperada.

VII.2 - IRREGULARIDAD FLUVIOMETRICA Y TENDENCIA CLIMATICA

VII.2.1 - Irregularidad de las pluviometrías

El capítulo anterior demuestra que las pluviometrías pueden alcanzar valores netamente superiores a lo normal, durante los períodos que corresponden a fenómenos del Niño, cuando el FIT y el FE ocupan una posición meridional anómala. Por el contrario, el patrón opuesto, es decir una posición septentrional anómala de los frentes, es generalmente responsable de años deficitarios y de fuertes sequías.

La ocurrencia de los procesos mencionados se evidencia en la gran irregularidad encontrada en las series de observaciones pluviométricas, registrándose a la vez picos elevados (que en la Costa corresponden a Niños) y años excepcionalmente secos. Esta irregularidad es más acentuada en la región litoral porque recibe directamente el impacto de las masas de aire oceánico, mientras que en el callejón interandino el papel desempeñado por la Cordillera Occidental contribuye para suavizar notablemente, distribuir en forma heterogénea o hasta impedir el ingreso de aquellas masas de aire. A nivel nacional, es muy factible trazar isolíneas que materialicen el grado de irregularidad interanual, por ejemplo al utilizar un indicador tal como el coeficiente K3 que, en cada estación de observación, se calcula mediante la ecuación siguiente :

pluviometría decenal húmeda / pluviometría decenal seca

Para este propósito pueden utilizarse los valores indicados en el párrafo V.3, que demuestran que la irregularidad crece del Oriente hacia el Occidente, siendo los coeficientes inferiores a 1.5 en la región amazónica mientras que están comprendidos entre 1.5 y 1.8 en la región andina, hasta alcanzar valores muy fuertes, superiores a 4, en la región litoral.

La gran irregularidad pluviométrica de la zona costanera puede ser ilustrada por la diferencia observada entre las precipitaciones habitualmente registradas y aquellas que corresponden al Niño 1982-83, cuya influencia se extiende de Octubre de 1982 a Septiembre 1983, es decir durante un año completo.

Como se puede constatar en la fig. n° 6, el impacto del Niño es particularmente importante en la faja litoral hasta una latitud de 0°30' N y en la estribación occidental de la cordillera. En estas zonas, las pluviometrías anuales, mensuales y diarias, observadas en ciertas estaciones de larga duración, son verdaderamente excepcionales. Un estudio estadístico da los resultados siguientes :

GUAYAQUIL (67 años)

- media interanual : 1.015,7 mm
- Niño 1982-83 : 4.600,4 mm lo que corresponde a un período de retorno superior a 5.000 años;
- 6 meses tienen un período de retorno mayor a 100 años;
- 12 lluvias diarias son de frecuencia anual, 4 de frecuencia decenal y 1 de frecuencia centenal ;
- fueron registrados 33,9 mm en 10 minutos, es decir una intensidad de 203 mm /hora.

SALINAS (27 años)

- media interanual : 125,5 mm
- Niño 1982-83 : 2.833,0 mm lo que corresponde a un período de retorno superior a 5.000 años ;
- 5 meses tienen una frecuencia más rara que la centenal;
- 33 lluvias diarias son de frecuencia anual, 8 de frecuencia decenal y 2 de frecuencia centenal. Particularmente, señalamos una lluvia de 223 mm.

MANTA (32 años)

- media interanual : 225,8 mm
- Niño 1982-83 : 1.835,1 mm lo que corresponde a un período de retorno superior a 5.000 años ;
- 7 meses tienen un período de retorno mayor a 100 años ;
- 14 lluvias diarias son de frecuencia anual y 1 de frecuencia centenal (181 mm).

Mientras tanto, en la zona interandina, es muy difícil establecer una correspondencia directa entre el Niño y las pluviometrías registradas en 1982-83. En su conjunto, son netamente superiores a lo normal pero el aumento es muy variable, generalmente del orden de 20 a 30%, llegando excepcionalmente a ser nulo o a alcanzar 400%, observándose entonces aumentos muy diferentes en dos estaciones vecinas. Por consiguiente, parece que la influencia del Niño no se traduce por la invasión de masas de aire húmedo pero más bien por el incremento de la actividad convectiva que responde a condiciones estrictamente locales y bastante aleatorias. Es así como, en Quito, fueron observados 219 días de lluvia es decir 33 días más que el número mediano; totalizan 1.780 mm (en vez de 1.204 mm) de los cuales 1.678 mm fueron recogidos de Octubre a Mayo, calculándose para el año un período de retorno mayor a 100 años. Por el contrario, este esquema no influye sobre las alturas pluviométricas diarias y sobre las intensidades, las mismas que se sitúan alrededor de los valores normales.

Por último, se debe señalar que la probabilidad de coexistencia simultánea de años excepcionales, tales como intensas sequías, es fuerte dentro de cada una de las grandes regiones geográficas del país, especialmente en la Costa; al contrario es mucho más débil cuando se trata de dos regiones diferentes. Por ejemplo, el año de 1968 fue extraordinariamente seco en la Costa, medianamente seco en la Sierra y casi normal en el Oriente, mientras que el año de 1966 fue seco en toda la Sierra, normal en la Costa y un poco excesivo en el Oriente.

VII.2.2 - Decrecimiento de las precipitaciones en la zona litoral

El propósito del presente párrafo es presentar los argumentos científicos suficientes para ilustrar un posible proceso actual de desertificación debido al decrecimiento de las precipitaciones en la franja costanera central y meridional, realidad muy comentada aunque no haya sido debidamente comprobada, a excepción de dos intentos anteriores (12 y 15).

Para poner de relieve una posible evolución positiva o negativa de los valores de ciertos elementos climáticos, en otras palabras para evidenciar una "tendencia climática", es imprescindible referirse a un marco de tiempo lo más amplio posible, es decir proceder al análisis de series de observaciones suficientemente largas y continuas. Por otra parte, también es necesario eliminar la influencia de variaciones accidentales así como el efecto de fluctuaciones de corto período.

De esta manera :

- se ha escogido las estaciones de Guayaquil (período 1915-1983), Milagro (1921-1983) y Machala (1931-1983) para caracterizar la zona litoral, y Quito (1891-1984) como representativa de la región andina;
- se ha calculado medias móviles, reemplazando cada valor anual por la media aritmética entre él y sus vecinos :
$$(n-2 + n-1 + n + n+1 + n+2) / 5$$
 y se ha trazado las rectas de regresión a base de dichas medias móviles y de los datos observados ;
- se ha comparado las series escogidas con las demás series disponibles, aunque tengan una menor duración y una menor confiabilidad en sus observaciones.

Los gráficos correspondientes se presentan en las figuras n° 7 a n° 10 y las principales conclusiones están expuestas a continuación :

- la distribución de los años muy lluviosos y de los años muy secos es una distribución prácticamente al azar y las series observadas en la Costa y en Quito son independientes ;
- en Quito, las medias móviles evidencian una "seudoclicidad" con picos centrados en los años 1899, 1916, 1933, 1952, 1970, es decir con intervalos muy similares que varían entre 17 y 19 años.

La serie muestra también una muy ligera tendencia hacia la baja de pluviosidad, del orden de 1,3 mm al año :

$P \text{ mm} = 1.287 - 1,3 t$, siendo t el número de años desde el inicio de las observaciones ;

- hasta 1982, las cuatro series observadas en la Costa también evidencian una substancial tendencia hacia la baja, del orden de 7 mm al año en Machala y Guayaquil, hasta alcanzar cerca de 16 mm al año en Milagro :

GUAYAQUIL	:	P mm = 1.350	- 7,6 t
MACHALA	:	P mm = 724	- 7,0 t
MILAGRO	:	P mm = 1.948	-15,8 t

En Guayaquil y Milagro, debido a la pluviosidad relativamente elevada, este fenómeno pasa casi inadvertido, mientras que en Machala y en toda la franja litoral Sur y Central (también se puso de relieve una fuerte baja en Portoviejo donde alcanza cerca de 8 mm al año; no se presenta aquí porque existen numerosas lagunas en la información básica) los totales pluviométricos menores que se registran, año tras año, se reciben con mayor agudeza, lo que acredita la versión popular de que se está desarrollando un proceso de desertificación.

Evidentemente, el proceso anteriormente descrito puede provocar inquietudes legítimas, pero sería muy aventurado atreverse en pronosticar que, en la zona litoral, las lluvias llegarán a ser nulas en un futuro próximo. En efecto, las series de observaciones pluviométricas son demasiado cortas para que se exprese una opinión tan pesimista. Por ahora, ningún argumento permite deducir si se trata de una tendencia remota con una gran probabilidad de prolongarse o, al contrario, si la realidad actual se sitúa dentro de una cierta ciclicidad que autoriza pensar que las pluviometrías sufrirán un proceso inverso y aumentarán.

VII - CONCLUSION

Todo lo expuesto tuvo el propósito de demostrar el papel fundamental desempeñado por una gran variedad de factores naturales que, en forma compleja, se combinan para conferir al Ecuador una excepcional originalidad climática, que viene a ser un elemento esencial para el desarrollo socio-económico del país: aporta con el beneficio de tan diversos ecosistemas y, en contraparte, se transforma repentinamente en un elemento devastador.

Sin embargo, no se debe olvidar que a los factores naturales se suma un agente externo cuya influencia no puede ser subestimada: EL HOMBRE. Su acción puede ser voluntaria, por ejemplo cuando cambia la temperatura, la humedad o la ventilación de un espacio cerrado para incrementar su bienestar o para optimizar el desarrollo de animales y cultivos, así como cuando se propone modificar el tiempo al crear lluvias artificiales. De igual manera, por ejemplo con la construcción de presas artificiales con grandes espejos de agua o en el caso del drenaje artificial de extensas zonas de pantanos, la constante preocupación del ser humano para domar la naturaleza llega a tener profundas modificaciones en los climas locales y eventualmente en los climas regionales. Sin embargo, no cabe duda que la acción antrópica más nefasta, por desgracia más generalizada, la constituyen los desmontes y la tala indiscriminada de bosques que afectan a los balances hídricos y energéticos de la atmósfera. En el caso del Ecuador, sin llegar hasta decir que este mecanismo sea el responsable exclusivo de los procesos de desertificación anteriormente analizados, es indiscutible que debe haber desempeñado un papel apreciable, acarreando las condiciones semi-desérticas en las que se han convertido algunas zonas de la faja litoral.

Al igual que el agua o el suelo, el clima es un recurso natural del que dependemos estrechamente. Es un deber cuidarlo celosamente.

LEXICO

radiación solar: fuente inicial de energía procedente del Sol, que origina toda actividad atmosférica así como numerosas reacciones bio-químicas y procesos biológicos. Debido al movimiento de la Tierra alrededor de su eje y alrededor del Sol, resulta una duración desigual de días y noches así como una variación del ángulo de incidencia de los radios solares y de la distancia entre Sol y Tierra, razones por las cuales se modifica constantemente la radiación recibida por el globo terrestre. Su valor medio se establece alrededor de 300 calorías/cm²/día.

movimiento aparente del sol: debido a la inclinación del eje de la Tierra con relación al plano de su órbita alrededor del Sol, éste se desplaza al cenit entre los dos trópicos. Alcanza el Trópico de Cáncer en el solsticio de Junio y el Trópico de Capricornio en el solsticio de Diciembre, pasando a la vertical de la línea equinoccial durante los equinoccios de Marzo y Septiembre.

ZCII : zona de presiones atmosféricas bajas donde convergen y chocan los alisios del Noreste y del Sureste, procedentes de los centros de altas presiones ubicados en las latitudes tropicales.

FII : Separación de las circulaciones tropicales de los dos hemisferios, ubicada en la ZCIT cerca del ecuador térmico.

expansión adiabática : expansión del aire cuando, al subir, está sometido a una menor presión atmosférica. Dicha expansión se efectúa sin intercambio de calor pero el trabajo mecánico producido significa pérdida de energía, lo que acarrea su enfriamiento.

período de retorno - frecuencia: entre otros objetivos, el análisis estadístico de series de observaciones aspira a prever la probabilidad de aparición de eventos excepcionales, la misma que está definida por una frecuencia o por un período de retorno. Siendo "N" el número de valores del muestreo (generalmente reducido en climatología, por ejemplo 35 años), y "n" el número de ellos que sobrepasa un valor dado, la frecuencia se calcula generalmente mediante una de las dos ecuaciones siguientes: $F = n - 0,5 / N$ o $F = n/N + 1$. El período de retorno se expresa en años y no es nada más que el inverso de la frecuencia $T = 1/F$. De este modo, a la frecuencia centenal, cuyo valor es 0,01 (o 0,99), corresponde un período de retorno de 100 años y a la frecuencia quinquenal, cuyo valor es 0,2 (o 0,8), corresponde un período de retorno de cinco años.

guano : materia excrementicia de aves marinas que se encuentra acumulada en grandes cantidades en varias islas del Ecuador, Perú y Chile. Es sumamente rica en fosfatos y constituye un excelente abono mineral.

termoclina : zona de discontinuidad en la distribución vertical de las temperaturas de un océano. En el presente caso, la termoclina tiene una temperatura de 15°C y separa dos capas con características muy distintas.

BIBLIOGRAFIA

- (1) -POURRUT, P. "Los climas del Ecuador - Fundamentos explicativos" - in Documentos de investigación N° 4/1983 - pag. 8 - 43 - CEDIG - IPGH - ORSTOM.
- (2) -ACOSTA SOLIS, M. "División fitogeográfica y formaciones geobotánicas del Ecuador" - 1968 - 307 pag. - Casa de la Cultura Ecuatoriana.
- (3) -ACOSTA SOLIS, M. Bases ecológicas para clasificar áreas fitogeográficas" - 1975 - 39 pag. - IPGH.
- (4) -BLANDIN LANDIVAR, C. "El clima y sus características en el Ecuador." - 1977 - 83 pag. - IPGH.
- (5) -NARANJO, F. "El clima del Ecuador" - 1981 - 102 pag. - Casa de la Cultura Ecuatoriana.
- (6) -CAÑADAS CRUZ, L. "El mapa bioclimatológico y ecológico del Ecuador" - 1983 - 210 pag. - MAG-PRONAREG-Banco Central del Ecuador.
- (7) -POURRUT, P. " Atlas del mundo - Ecuador" - Artículo "Clima" - 1982 - pag. 17 - 20 - Jeune Afrique y Banco Central del Ecuador.
- (8) -BALDIT, A. "Les éléments météorologiques du climat" - in "Traité de climatologie" de M. PIERY.
- (9) -ARLERY R., GRISOLLET H., GUILMET B. "Climatologie - Méthodes et pratiques" - 1973 - 434 pag. - Gauthier Villars.
- (10) -Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) "Anuarios meteorológicos" N° 1 a N° 22 - 1961 a 1982.
- (11) -NOUVELOT, J.F. "Normas pluviométricas propuestas para el Ecuador" - 1982 - 63 pag. + anexos - PRONAREG-ORSTOM.
- (12) -NOUVELOT J.F., POURRUT P. "El Niño - Phénomène océanique et atmosphérique - Importance en 1982-83" - pag. 39 - 67 - in Cahiers ORSTOM, Hydrologie, XXI, N° 1, 1984 - 1985.
- (13) -WYRTKI, K. "El Niño" - in la Recherche N° 106.
- (14) -PHILANDER, S.G.H. "El Niño southern oscillation phenomena - NOAA/geophys.fluid dynam.labo - Princeton University.
- (15) -POURRUT, P. "Algunas consideraciones acerca de los fenómenos climáticos extremos observados en el Ecuador" - 1986 - Actas del Coloquio Ecuador 1986 - Banco Central del Ecuador.

ANEXES : 2 tableaux
10 figures