

ARTÍCULO II

FACTORES CONDICIONANTES DE LOS REGÍMENES CLIMÁTICOS E HIDROLÓGICOS

Pierre Pourrut, Gustavo Gómez, Alejandro Bermeo, Angel Segovia

El Ecuador, país andino, amazónico y ribereño del Pacífico, puede definirse como una tierra de contrastes: contrastes humanos y choque de civilizaciones, aunque también contrastes físicos, geológicos, climáticos y evidentemente hidrológicos. En efecto, en él se encuentran yuxtapuestos a cortas distancias, terrenos accidentados y llanuras, zonas cálidas y zonas frías, regiones húmedas y secas, en donde el agua se manifiesta bajo formas sumamente variables y constituye a menudo un factor limitante para el desarrollo agrícola por su escasez sobre todo, pero a veces también por su abundancia.

I. Consideraciones generales

Aunque no se debe despreciar la influencia de agentes como la geología (en particular las características litológicas tales como el grado de dureza o de impermeabilidad de las rocas, al igual que los grandes sistemas de fallas o de fracturas) o la vegetación (papel que desempeña la cobertura vegetal en la protección de las pendientes y el establecimiento de los términos del balance hídrico, principalmente la evapotranspiración y el escurrimiento superficial), no cabe duda de que los dos factores que pueden considerarse como los más directamente responsables del trazado y de la densidad de la red hidrográfica, así como de las variaciones y la diversidad de los regímenes hidrológicos, son el relieve y la pluviosidad. Sin embargo, desde ya se debe plantear el siguiente postulado: ríos, orografía y lluvias no son agentes independientes sino, por el contrario, estrechamente correlacionados por interacciones complejas en donde se mezclan causas y efectos.

Es así como el relieve determina las características físicas y morfométricas de la red hidrográfica que realiza el drenaje de las cuencas: el libre desarrollo de la escorrentía producida por las lluvias se asocia a él para definir la dirección de los flujos, la forma y la densidad

de los drenes así como la pendiente longitudinal del lecho. Los valores de esta última condicionan a su vez la dinámica erosiva, lo que permite identificar *una primera interdependencia*: buscando constantemente su perfil de equilibrio, los ríos, agentes principales del deterioro de las tierras, y accesoriamente del transporte y depósito de las mismas, constituyen uno de los elementos fundamentales de la morfogénesis y de la formación de los paisajes. Esto es particularmente cierto en el Ecuador dados:

- su historia geodinámica extremadamente compleja, de lo que da testimonio la gran diversidad de formaciones geológicas, sobre todo de origen volcánico cuya dureza es muy variable según se trate de volcanismo de fisuras (coladas de lava muy dura de tipo basáltico o andesítico) o explosivo (acumulación por vía eólica de cenizas y polvos que forman tobas relativamente suaves, de tipo cangahua);

- la intensidad de la orogénesis y el carácter reciente de algunos de sus paroxismos, lo que se refleja en una repetida reactivación erosiva y en la existencia de una red hidrográfica joven, aún en plena evolución.

Además de la estrecha relación existente entre los caudales y las características físicas y morfométricas de la cuenca de alimentación, los caudales que transitan por los cursos de agua, al igual que sus variaciones a lo largo del año, están por supuesto subordinadas directamente a los totales pluviométricos y a la distribución de las lluvias. Estas últimas, que dependen de factores planetarios que rigen las condiciones climáticas, tales como la circulación atmosférica general o incluso la existencia de corrientes oceánicas, son también condicionadas por el contexto físico local. Esto permite identificar *una segunda interdependencia*: a las condiciones pluviométricas de conjunto que, en el Ecuador, están regidas por las reglas climáticas propias de las zonas de baja latitud (desplazamiento periódico del Frente Intertropical, FIT — llamado también

Zona de Convergencia Intertropical, CZIT —, regímenes de los alisios, etc.) y sometidas a la influencia de corrientes oceánicas (desplazamientos de la corriente fría de Humboldt, alteración climática ocasionada por el fenómeno « El Niño ») se suma el efecto de la cordillera andina que desempeña un papel preponderante en la génesis, el aislamiento y la repartición de masas de aire cuyas características influyen en la formación de las precipitaciones. Responsable de toda una secuencia altitudinal de topoclimas así como de los elevados gradientes pluviométricos observados en las vertientes expuestas a los vientos húmedos dominantes, pero pudiendo también hacer de pantalla frente a las influencias oceánicas y amazónicas y crear así zonas abrigadas muy secas, la formidable barrera de orientación meridiana que constituyen los Andes origina la individualización de tres grandes regiones naturales que representan otros tantos conjuntos climáticos: la región litoral, la región andina y la región amazónica, que poseen regímenes de lluvia muy variados en los que los totales pluviométricos anuales fluctúan entre menos de 100 mm y más de 6.000 mm.

Las diversas consideraciones de orden general que acaban de exponerse llevaron a presentar en un solo y mismo capítulo los agentes responsables a la vez de los climas (y por lo tanto de la pluviosidad), del trazado de las redes hidrográficas y de las particularidades de los regímenes hidrológicos. Se insistirá especialmente en los mecanismos ligados a las precipitaciones, sabiendo que el clima, las lluvias y los regímenes hidrológicos dan lugar a un análisis por separado en los artículos III, IV, V, VI y VII.

II. Descripción de los agentes responsables de los regímenes hidroclimáticos

Entre los diferentes factores astronómicos, geográficos y meteorológicos que influyen en los regímenes hidroclimáticos del Ecuador, aquellos cuyo papel es determinante son los siguientes:

- la latitud, que define las condiciones generales de la circulación atmosférica a nivel planetario, entre la línea ecuatorial y los polos, y la longitud que regula un sistema de circulación atmosférica Este-Oeste;
- el relieve, la altitud y el papel de pantalla desempeñado por la cordillera de los Andes, factores que condicionan la existencia de regiones naturales muy autónomas;
- el océano Pacífico, generador de masas de aire cuyas características habituales se ven a veces perturbadas por la influencia de corrientes oceánicas.

1. LA LATITUD Y LA LONGITUD

El Ecuador está situado sobre el ecuador geográfico y los mecanismos que rigen los climas y las precipitaciones se sujetan por lo tanto a las reglas de la circulación atmosférica propia de las regiones de baja latitud.

Se conoce de sobra que, alrededor del globo terrestre,

la atmósfera está sometida a dos tipos de circulación, la una meridiana y la otra zonal, siendo los fenómenos observados la resultante de estas dos tendencias perpendiculares.

Entre la línea ecuatorial y los trópicos, la circulación meridiana se caracteriza por la existencia de dos núcleos individualizados separados por una zona de baja presión en donde se sitúa el FIT, estando al igual que el núcleo septentrional — o núcleo de Hadley — ligeramente desplazado hacia el Norte. Hay que recordar que el sistema sigue el movimiento aparente del sol y se desplaza periódicamente hacia el hemisferio de verano, de abril a julio hacia el hemisferio norte y de octubre a enero hacia el hemisferio sur, lo que permite la penetración de masas de aire con características diferentes, templado y poco húmedo en el primer caso, cálido y húmedo en el segundo. Por otro lado, para las regiones tropicales en su conjunto, G. Walker puso en evidencia un sistema de circulación zonal transversal: en los continentes, que se calientan más rápidamente que las masas oceánicas, al aire asciende para luego volver a descender hacia los océanos, más fríos. El sistema transversal más importante está situado en el océano Pacífico y es así como los alisios se cargan de humedad y convergen al Oeste hacia las bajas presiones de Australia-Indonesia, zona de inestabilidad atmosférica que da lugar a precipitaciones elevadas. En altura, el aire retorna hacia el Este y vuelve a descender a la zona fría y seca de las altas presiones del Pacífico sudeste centradas en la isla de Pascua.

2. EL RELIEVE Y LAS CONDICIONES GEOGRÁFICAS

La formidable barrera NNE-SSO de la cordillera de los Andes desempeña un papel fundamental en la formación, el desplazamiento y el aislamiento de las masas de aire local o regional. Su altura, que alcanza más de 6.000 m.s.n.m., produce masas de aire frío, modifica el régimen de precipitaciones, delimita las hoyas más secas haciendo de pantalla ante la entrada de aire húmedo, y finalmente, impide todo contacto entre las masas de aire provenientes del Pacífico y aquellas procedentes de la región amazónica. A continuación se describen brevemente las condiciones geográficas generales.

El Ecuador continental está dividido de Oeste a Este en tres grandes regiones naturales:

a) la región costanera: está constituida de una franja litoral de aproximadamente 100 Km de ancho, siendo los valores extremos del orden de los 180 y 40 Km. Se pueden distinguir dos unidades:

- en la parte occidental y noroccidental se extiende una cordillera costanera cuya altura máxima no supera los 800 m.s.n.m. y que, a nivel de Puerto Cayo, curva hacia el Este en dirección a Guayaquil en donde desaparece. Más al Sur, colinas aisladas y bajas llanuras forman la península de Santa Elena;
- al pie de los Andes se sitúa la fosa de hundimiento del Guayas, cuyo ancho es de alrededor de 80 Km;

está limitada al Norte por relieves levantados y se prolonga hacia el Sur, hasta el Perú, mediante una estrecha franja litoral.

b) la región andina: la cordillera de los Andes, cuyo ancho varía entre 100 y 140 Km, presenta vertientes externas muy abruptas. De Norte a Sur, comprende tres unidades:

- desde la frontera colombiana hasta aproximadamente 2° 30' S, existen dos cordilleras bien individualizadas, de dirección general NNE-SSO: la cordillera Real y la cordillera Occidental, ambas coronadas por volcanes cuya altura varía entre 4.300 y 6.300 m.s.n.m. Enmarcado por las dos cordilleras, el callejón interandino, cuyo ancho es inferior a 40 Km, está constituido de una serie de hoyas separadas por relieves transversales conocidos localmente como « nudos »;

- de 2° 30' S a 3° 40' S, los volcanes son reemplazados progresivamente por vastos relieves tabulares que se extienden entre 3.000 y 4.300 m.s.n.m.;

- al Sur de 3° 40' S, las dos cordilleras pierden definitivamente su individualidad y la altura no supera los 3.500 m.s.n.m.

c) la región amazónica: está formada de dos partes muy distintas:

- la zona subandina, paralela a los Andes, está constituida por una cordillera de alrededor de 50 Km de ancho. De una altura comprendida entre 500 y 3.900 m.s.n.m. (Sumaco, Cutucú y Cóndor), está dividida en la zona central por el relieve tabular profundamente erosionado constituido por el importante cono de deyección del Pastaza;

- hacia el Este, a una altura inferior a los 350 m.s.n.m., se extienden la vasta llanura amazónica, sus bajas colinas y sus grandes valles a menudo pantanosos.

La región insular (archipiélago de Colón o islas Galápagos), está formada de 19 islas y 40 islotes volcánicos situados de un lado y otro de la línea equinoccial, 1.000 Km al Oeste del continente. Su superficie es cercana a los 8.000 Km², de los cuales 4.588 Km² están ocupados por la mayor de las islas, Isabela, formada de seis volcanes que coronan a 1.707 m.s.n.m.

3. EL OCÉANO PACÍFICO Y LAS CORRIENTES OCEÁNICAS

El régimen normal de las masas de aire tropical oceánico se ve modificado por la influencia de las corrientes marinas. El desequilibrio del balance entre la evaporación y las precipitaciones del océano Pacífico (que corresponden, respectivamente, al 50 % y al 40 % del balance global del planeta) se compensa gracias a los aportes de las aguas profundas provenientes principalmente de los océanos Índico y Antártico. Esas aguas, naturalmente frías dado su origen, ascienden a la superficie a lo largo de las costas peruanas y sur-ecuatorianas gracias al *upwelling* que resulta del desplazamiento de las aguas de superficie hacia el Noreste y el Este debido

a la acción de los alisios del Sureste. Haciéndose más calientes y menos densas, al ser empujadas por los vientos y desviadas por la fuerza de Coriolis, forman la *corriente Ecuatorial Sur* que se dirige hacia el Oeste, lo que explica el nivel más elevado del océano (alrededor de 40 cm) y la mayor profundidad de la termoclina (- 200 m en lugar de - 50 m) observados en el Pacífico occidental.

Para compensar el déficit producido de esa manera en el Pacífico occidental, se forman las *contracorrientes Ecuatorial Norte* y *Ecuatorial Sur*, mientras que en latitudes mayores la circulación se organiza en torbellinos subtropicales, dextrógira en el hemisferio norte y levógira en el hemisferio sur. A lo largo de las costas peruanas y sur-ecuatorianas, la corriente fría de Humboldt (temperatura entre 15 y 19° C y salinidad cercana al 35 ‰) se desplaza proviniendo del Sur y toma luego una dirección Noroeste para calentarse finalmente y mezclarse progresivamente con la corriente Ecuatorial Sur (temperatura superior a 25° C y salinidad inferior a 35 ‰). Esa mezcla de aguas poco saladas ricas en oxígeno con aguas frías cargadas de elementos nutritivos (fosfatos, nitratos) desempeña un papel muy importante en el desarrollo de la fauna de las aguas costeras peruanas y ecuatorianas. La zona de transición entre esas dos corrientes, llamada Frente Ecuatorial FE, está situada en general entre la costa norte del Perú y las islas Galápagos. Se desplaza habitualmente hacia el Norte en julio-agosto-septiembre y hacia el Sur en enero-febrero-marzo. La aparición de un fenómeno de El Niño concuerda con un importante desplazamiento anómalo del FE hacia el Sur.

III. Modo de acción de los factores que condicionan los regímenes hidroclimáticos

En una región dada, los regímenes climáticos o hidroluviométricos dependen estrechamente de las características de las masas de aire que en ella se encuentran, las que a su vez están condicionadas o son producidas por los grandes factores descritos en el capítulo anterior.

1. PAPEL DE LA LATITUD Y DE LA LONGITUD

Los dos grandes sistemas de circulación atmosférica ponen en juego importantes masas de aire regional, ya sea siguiendo procesos habituales, o mediante la intervención, menos frecuente, de ciertas anomalías. El desplazamiento periódico del FIT hacia el hemisferio norte o sur determina la penetración de aire con diferentes características de temperatura y de humedad, siendo estas las responsables de las condiciones térmicas y de las lluvias. Cuando el FIT atraviesa el Ecuador geográfico, prosigue su camino hacia el Sur y comienza luego a regresar hacia el ecuador geográfico, el país se encuentra bajo la influencia de masas de aire caliente y húmedo

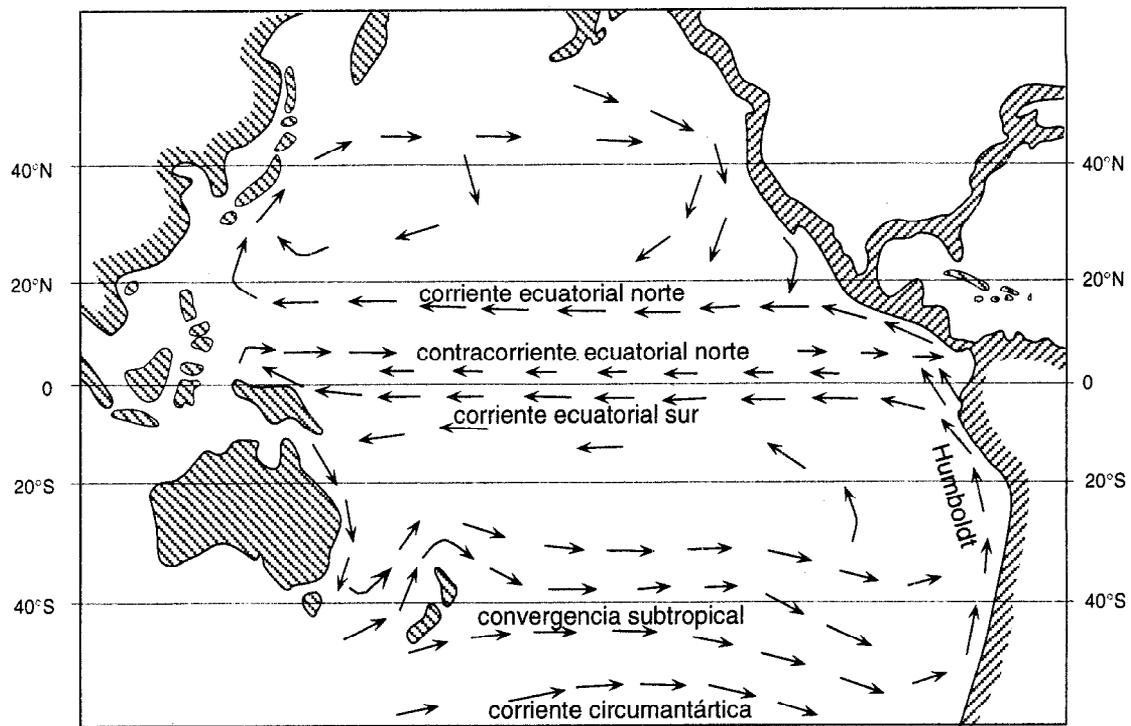


Fig. 1 - Esquema de las principales corrientes marinas del océano Pacífico

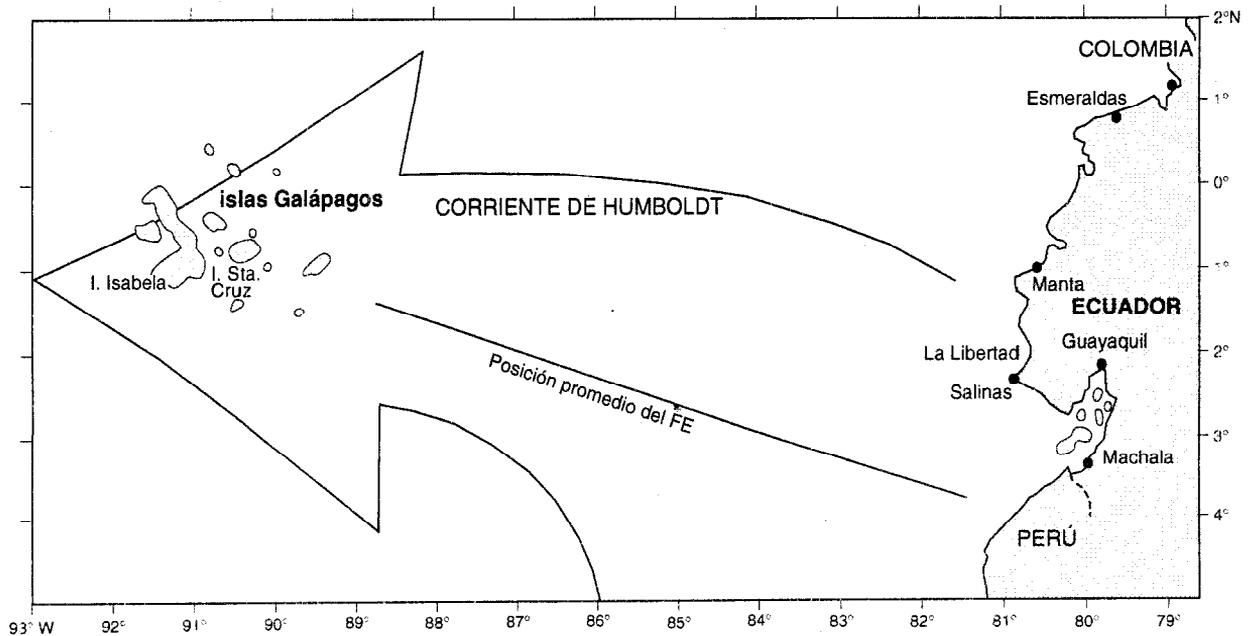


Fig. 2 - Posición habitual de la corriente de Humboldt y del Frente Ecuatorial

de carácter oceánico, las mismas que generan lluvias notables y un aumento de la temperatura del aire. Por el contrario, el desplazamiento septentrional del FIT determina la penetración de masas de aire continental poco caliente y poco húmedo, proveniente del Sudeste, lo que se traduce en un descenso de las temperaturas y en lluvias débiles. Además, cuando el FIT pasa o se establece en un lugar, aumenta la actividad convectiva produciéndose entonces lluvias de tormenta, generalmente cortas pero intensas.

Así, es posible deducir esquemáticamente la acción del factor latitud:

- de diciembre a abril: temperaturas elevadas y estación lluviosa cuyos inicio y fin se caracterizan por una gran inestabilidad de las capas inferiores de la atmósfera;
- de enero a octubre: temperaturas bajas y estación seca.

El papel esencial que juega el factor latitud es a veces modificado considerablemente por la acción del factor longitud, en particular cuando la circulación zonal de Walker experimenta cambios anormales que provocan la aparición del fenómeno de El Niño. En tal caso, el FIT ocupa durante un período más largo una posición más meridional que la acostumbrada, lo que acarrea un fuerte incremento de las precipitaciones. A la inversa, toda permanencia prolongada del FIT en situación septentrional se traduce generalmente en sequías.

2. PAPEL DEL RELIEVE

El relieve tiene una influencia permanente en los elementos climáticos. Cuando la altitud aumenta, baja la presión atmosférica, se incrementa la radiación solar, disminuye la temperatura del aire, cambia la trayectoria de los vientos y se modifican las alturas pluviométricas. El aire, forzado a elevarse, 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 otro lado, la orografía tan particular del Ecuador define regiones naturales bien individualizadas que dan origen a masas de aire con características muy diferentes. Se pueden citar:

- masas de aire tropical continental, en la llanura amazónica y la depresión litoral del Guayas, con una temperatura elevada y una humedad importante debida a la evaporación de los pantanos y a la evapotranspiración de la selva. Esas masas de aire pueden estar sometidas a procesos 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 cima de los principales volcanes, con una humedad relativa importante, incluso si ella no se traduce en fuertes precipitaciones a causa del frío reinante;
- masas de aire templado continental, en las regiones situadas entre 2.000 y 3.000 m.s.n.m. aproximadamente,

con un contenido de agua variable, generalmente bastante bajo cuando se sitúan en las cuencas interandinas;

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

- aumento de las precipitaciones en las vertientes externas de las cordilleras. Cuando el régimen de los vientos es favorable, parte de las precipitaciones pueden penetrar en el callejón interandino, en octubre y noviembre en el caso de las lluvias provocadas por las masas de aire amazónico, y entre febrero y mayo cuando se trata de las masas de aire provenientes de la llanura litoral. Cuando la descarga en las vertientes externas es completa, el aire que se ha secado desciende a lo largo de la vertiente opuesta, se calienta por compresión adiabática formándose un viento de tipo «foehn» que invade parte del callejón interandino;
- en altura, por encima de los 3.200 m.s.n.m., precipitaciones menos abundantes y de bajas intensidades, nieve o granizo cuando la temperatura es cercana a 0° C;
- en los valles interandinos, acumulación de aire denso, bastante frío y seco, lo que contribuye a mantener un clima estable y poco lluvioso.

3. PAPEL DEL OCÉANO PACÍFICO Y DE LAS CORRIENTES OCEÁNICAS

Sobre el océano Pacífico se forman, por regla general, masas de aire tropical oceánico con una temperatura elevada y una alta tasa 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 ser objeto de un proceso ya descrito de ascenso y de expansión adiabática (de allí su enfriamiento), provocando así importantes precipitaciones en las estribaciones externas e incluso al interior del callejón interandino.

Sin embargo, como ya se señaló, el Ecuador en general y muy particularmente la zona litoral centro-meridional están sometidos a la influencia permanente de la corriente fría de Humboldt o corriente Ecuatorial sur y expuestos a la acción esporádica de un flujo de aguas calientes provenientes del golfo de Panamá, conocido habitualmente con el nombre de corriente de El Niño que, en condiciones particulares, puede amplificarse extraordinariamente (fenómeno El Niño). Esas condiciones dan origen a:

- masas de aire marítimo relativamente frío, en toda el área de influencia de la corriente de Humboldt cuya temperatura, frente a las costas ecuatorianas varía entre 14 y 18° C. La evaporación es muy inferior a la de las otras regiones del océano, lo que da lugar a masas de aire húmedo de baja temperatura que, al penetrar en el continente (península de Santa Elena y lado Sur de Manabí), no pueden precipitarse pues el enfriamiento es insuficiente. No pueden sino provocar niebla o lluvias

muy finas llamadas localmente « garúa ». Tienen una importancia particular en las islas Galápagos;

- masas de aire marítimo caliente que se desplazan a lo largo de las costas con el fenómeno El Niño. Se caracterizan por temperaturas y una tasa de humedad muy elevadas, lo que provoca lluvias muy fuertes en las regiones sometidas habitualmente a la influencia de la corriente de Humboldt, y por lo tanto áridas o semi-áridas.

El papel que desempeña el océano Pacífico y las corrientes oceánicas puede resumirse de la siguiente manera:

- penetración en el continente de masas de aire caliente y húmedo, ligadas al desplazamiento del FIT hacia el Sur y reforzamiento de las masas de aire continental litoral, lo que se traduce en totales pluviométricos apreciables;

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

- a pesar de una gran variabilidad, existencia en las islas Galápagos de un clima de tipo ecuatorial que presenta dos máximos pluviométricos por año;

- producción de lluvias excepcionales ligadas a la aparición del fenómeno El Niño.

IV. Conclusión: acción de conjunto de los diferentes factores

No se trata de entrar aquí en los detalles de la distribución de las lluvias y la escorrentía a lo largo del año, tema tratado en los artículos III, IV y VI. Sin embargo, se puede dar, en unas pocas líneas, una buena idea de la situación global.

Los tres factores descritos anteriormente se conjugan para formar un escenario complejo pero, cuando todas las condiciones son normales, es decir cuando uno u otro factor no ha experimentado ningún cambio anormal importante, su influencia individual o colectiva

explica más o menos bien los diferentes regímenes pluviométricos e hidrológicos que se observan habitualmente en el país:

- en el litoral y en la fachada pacífica de la cordillera Occidental, un régimen de tipo tropical con *una sola estación lluviosa* entre diciembre y abril (desplazamiento del FIT); los totales pluviométricos, bajos en la franja costera centro-meridional (papel de la corriente de Humboldt), aumentan hacia el interior (papel de la cordillera Occidental);

- en las estribaciones orientales de la cordillera Real y en la Amazonía, un régimen persistente con *lluvias abundantes bien distribuidas a lo largo de todo el año* (situación 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 a la penetración mayoritaria de masas respectivamente de aire amazónico en octubre y noviembre, o pacífico de enero a mayo (desplazamiento del FIT, régimen de los vientos), siendo los totales pluviométricos variables según la altura, la exposición de las vertientes o la existencia de relieves transversales que definen cuencas más abrigadas y por lo tanto más secas (altura y relieve de las dos cordilleras); dada la presencia de glaciares y de nieves perpetuas en la cima de algunos volcanes elevados, los ríos alimentados por aguas fundidas constituyen un caso particular;

- en la región insular, un régimen de tipo ecuatorial con *dos estaciones lluviosas* (desplazamientos del FIT y del FE), aumentando considerablemente las precipitaciones con la altura (papel del relieve) y siendo las mismas más abundantes en las vertientes expuestas al Sur (papel de la corriente de Humboldt).