

# ANOMALÍAS Y FENÓMENOS CLIMÁTICOS EXTREMOS

*Pierre Pourrut, Jean-François Nouvelot*

## I. Aspectos climáticos generales específicos al Ecuador

El panorama de conjunto del artículo III revela la complejidad de la realidad climática ecuatoriana. No se trata solamente de un régimen único rico en variantes sino de un mosaico de climas ligados a sistemas regionales y micro-regionales de gran diversidad, condicionados en parte por las características geográficas.

En sí misma, tal diversidad confiere al país una gran originalidad que se traduce en paisajes que pueden cambiar de un extremo al otro a muy cortas distancias. Este aspecto es acentuado aún más por la gran irregularidad de los elementos climáticos y en particular por la de los totales pluviométricos observados en un lugar dado, que pueden manifestarse tanto mediante lluvias anormalmente abundantes como mediante agudas sequías. El exceso, así como la falta de agua, tienen un impacto capital en el frágil equilibrio de una economía nacional dependiente en gran parte de los recursos agrícolas, y hacen que el clima sea una de las principales preocupaciones del agricultor, del planificador o del ingeniero encargado de las infraestructuras. Los valores promedio anuales ya no constituyen un criterio de apreciación suficiente y son los eventos excepcionales, tales como las lluvias catastróficas que acompañan a los fenómenos de El Niño (EN), los que tienen efectos determinantes. Así, la predicción de tales eventos extremos sería muy valiosa puesto que permitiría tomar ciertas precauciones para limitar sus efectos.

Por esta razón, se ha intentado a veces, sin mayor éxito hasta ahora, demostrar la repetición cíclica de tales eventos. Al igual que es imposible negar *a priori* la existencia de esos ciclos (aunque parece muy poco probable), sería aventurado considerar que la realidad climática actual del país es un parámetro fijo e inalterable, incluso si quienes afirman que la franja costera central y meridional está afectada actualmente por un proceso de

desertificación utilizan para ello argumentos un tanto subjetivos. A fin de disponer de los elementos de respuesta suficientes para confirmar o invalidar tales asertos, es necesario que los datos de observación disponibles sean previamente:

- sacados de su contexto estrictamente local para ser analizados a la luz de factores que los condicionan en un campo espacial mucho más amplio, a nivel del continente o incluso del planeta;
- « calibrados » situándolos en el marco temporal de referencia más amplio posible, única manera de apreciar una eventual evolución y de develar posibles « tendencias ».

Se examinarán sucesivamente los dos eventos climáticos anormales que, en el Ecuador, pueden ser considerados como mayores: por una parte, El Niño y, por otra, el pretendido desarrollo actual de un proceso de desertificación en la región costanera. En cuanto al primero, se intentará hacer un balance actual de los conocimientos relativos a su origen y su desarrollo, y se buscará cuantificar el impacto de las lluvias excepcionales, en particular durante el fenómeno de recurrencia elevada observado en 1982-1983. Utilizando el análisis de algunas series pluviométricas, se tratará de verificar si existe verdaderamente un decrecimiento de la pluviosidad en la faja litoral.

## II. El fenómeno El Niño

### 1. DESCRIPCIÓN, CAUSAS Y EFECTOS

Fueron los pescadores sudamericanos quienes bautizaron con el nombre de « El Niño » (término que designa al niño Jesús en referencia a la época en que se produce) al calentamiento de la superficie del océano que, a lo largo de las costas peruanas y ecuatorianas, se inicia todos los años hacia Navidad y se prolonga generalmente hasta marzo o abril.

Sucede en ocasiones que tal evento adquiere una amplitud inhabitual y que el aumento de la temperatura de las aguas oceánicas es a la vez más acentuado y más prolongado. Durante los últimos decenios, ello fue observado en 1925, 1939, 1941, 1953, 1957, 1958, 1965, 1972-1973, 1976-1977, y, más recientemente, en 1982-1983. Actualmente, el término « fenómeno de El Niño (o « Niño », ENSO o simplemente EN) no se refiere a la situación observada anualmente, sino que está reservado a los eventos excepcionalmente marcados. El SCOR (*Scientific Committee for Ocean Research*) define el EN de la siguiente manera: *un flujo de aguas cálidas que, durante un período de por lo menos cuatro meses, presenta una anomalía positiva de temperatura igual o superior al valor de una desviación estándar y se desplaza a lo largo de las costas del Ecuador y del Perú*; esta definición se ha extendido hoy en día para caracterizar al conjunto de flujos de aguas superficiales anormalmente calientes en toda la zona del océano Pacífico tropical.

A lo largo del litoral sudamericano, el fenómeno puede extenderse desde el Sur de Colombia hasta el Norte de Chile. Afecta principalmente a las costas peruanas en donde se observa habitualmente el *upwelling*, es decir importantes movimientos ascendentes de aguas profundas cuya subida es favorecida generalmente por alisios intensos que desalojan las capas de superficie en dirección mar adentro. Hay que recordar que esas aguas frías, ricas en elementos nutritivos, constituyen un medio favorable para la existencia de una importante fauna de peces pelágicos e indirectamente de aves marinas, lo que ha permitido al Perú desarrollar numerosas industrias ligadas a la pesca y a la explotación del guano.

Por su importante incidencia negativa en los planos biológico y climático, EN tiene consecuencias catastróficas en la economía de los países de la zona, razón por la que, desde hace muchos años, es objeto de estudios regionales específicos. Es así como Chile, Colombia, el Ecuador y el Perú formaron el grupo ERFEN (Estudio Regional del Fenómeno El Niño) que trata de descubrir los mecanismos del fenómeno y prever su aparición, gracias a un intercambio constante de datos climatológicos y a las observaciones recogidas por cruceros oceanográficos. Los trabajos se realizan en estrecha coordinación con los estudios desarrollados a nivel internacional por un grupo COI-OMM-CPPS (Comisión Oceanográfica Internacional - Organización Meteorológica Mundial - Comisión Permanente del Pacífico Sur) que mantiene una vigilancia permanente de las condiciones físicas, meteorológicas y biológicas del océano, utilizando para ello los datos registrados y transmitidos por estaciones meteorológicas fijas, buques oceanográficos o mercantes, balizas a la deriva y especialmente satélites.

Aunque no es posible adelantar una explicación definitiva de las causas de aparición del fenómeno, en

particular porque un examen comparativo muestra que los EN pasados nunca se asemejan completamente a pesar de ciertas características comunes, se han emitido varias teorías respecto a la formación y al desarrollo de un evento tipo.

Pese a los grandes avances logrados recientemente gracias a la acumulación de datos de observación y a su procesamiento computarizado, las hipótesis planteadas no siempre concuerdan y los factores que condicionan ciertos parámetros (sobre todo aquellos que se suponen útiles a su previsión) siguen siendo objeto de estudio. Por el momento, las explicaciones más satisfactorias son bastante antiguas puesto que se trata de las de Klaus Wyrtki y Jacob Bjerknes.

Se creía primeramente que el EN era un fenómeno local provocado por el debilitamiento de los vientos de baja altitud a lo largo del litoral. Su estudio debió sin embargo contemplarse en un marco espacial mucho más amplio después de que K. Wyrtki probara que no existía disminución apreciable de la fuerza de esos vientos y que los EN pasados siempre se acompañaban de condiciones meteorológicas inhabituales. Habiendo demostrado además que, durante los 18 meses que preceden su aparición, los alisios soplan más fuertemente que lo normal, Wyrtki formuló su tesis de la « respuesta dinámica del océano al aumento de la fuerza de los alisios ». Un extracto de sus artículos resume perfectamente su teoría: « ... fuertes alisios del Sureste, que soplan durante más de 18 meses, provocan una acumulación de agua caliente en el Pacífico Oeste, acompañada de un alza del nivel del océano y de un hundimiento de la termoclina. En cuanto esos vientos se debilitan, el agua acumulada tiende a regresar hacia el Pacífico oriental y las costas sudamericanas; la llegada de esas aguas calientes provoca un alza del nivel del océano, mientras que la termoclina se hunde, lo cual reemplaza los efectos del *upwelling* y marca el inicio de un Niño »

Por su parte, J. Bjerknes propone su teoría de la « interacción termodinámica entre el océano y la atmósfera ». En 1966, observó que el calentamiento anormal del océano estaba asociado a la Oscilación Sur (SO), fenómeno que había sido observado por primera vez en 1924 por Walker. La Oscilación Sur corresponde a una fluctuación de la circulación atmosférica transversal (puesta igualmente en evidencia por Walker, ver artículo II) que se manifiesta con una variación más o menos cíclica (el período es de alrededor de 3 años) de la diferencia de presión atmosférica existente entre el sistema de altas presiones del Pacífico Sureste (isla de Pascua - Tahití) y el de bajas presiones de la región pacífica occidental (Indonesia - Australia). El índice SO es positivo cuando la diferencia es superior a la habitual y negativo en el caso contrario. Bjerknes observó que el EN estaba asociado a un índice negativo: se inicia cuando el

índice comienza a disminuir y termina cuando alcanza su valor mínimo, desplazándose el ramal ascendente de la circulación zonal hacia el Este, entre Nueva Guinea y el meridiano 180°. El debilitamiento de los alisios y el alza de las temperaturas superficiales del océano contribuyen a reforzar la contracorriente ecuatorial, lo cual, asociado a las ondas de Kelvin que se propagan de Oeste a Este, se traduce en un aporte de aguas calientes y por lo tanto en una elevación del nivel del océano en el litoral occidental del continente sudamericano. Las aguas son entonces redistribuidas, en parte hacia el Norte, pero sobre todo hacia el Sur, dando origen al EN.

Ya se ha hecho mención de los efectos catastróficos del fenómeno.

En el plano climático, el debilitamiento de los alisios, la elevada temperatura de las aguas oceánicas de superficie y las posiciones anormales ocupadas por el FE y el FIT (siendo el primero empujado hacia el Sur por la afluencia de aguas calientes y situándose el segundo también en posición muy meridional, como consecuencia de una fuerte alteración de la circulación atmosférica de Hadley) crean las condiciones propicias a la caída de abundantes precipitaciones. Incluso si sus efectos no son solo negativos (relleno de los embalses, aporte de agua a la vegetación y abastecimiento de las napas subterráneas de un sector de clima muy seco), tienen consecuencias nefastas pues son seguidas de inundaciones devastadoras y de una aceleración de los procesos erosivos. Según Joan Hock, del Servicio de Información y de Observación del Medio Ambiente de los Estados Unidos, el EN de 1982-1983 causó los siguientes daños: « (...) inundaciones en las cinco provincias occidentales del Ecuador y en la llanura costera del Perú, dejando como saldo 260 víctimas, 200 millones de dólares en destrucción de propiedades, 100 millones en pérdidas agrícolas. En el Ecuador, las inundaciones destruyeron gran parte de las plantaciones de arroz y de las infraestructuras de riego » (traducción libre).

En el plano biológico, los EN contrarían los movimientos del *upwelling*. La biomasa del fitoplancton oceánico sufre una reducción considerable en diatomeas y un aumento en dinoflagelados de aguas calientes, cambios que se acompañan de una fuerte disminución de huevos y alevinos de peces pelágicos (caballas, sardinas y sobre todo anchoas), lo que tiene una incidencia desastrosa en la vida marina y en la población de aves acuáticas. Es así como, en el Perú, por falta de alimentación, El Niño de 1982-1983 redujo la fauna avícola marina de 28 a 6 millones de individuos y el de 1972 determinó el paso espectacular de la captura de anchoas de 12 MT (megatoneladas) en 1970 a 4 MT en 1972 y 1,5 MT en 1973. A este respecto, el EN de 1982-1983 tuvo un impacto aun mayor puesto que tales capturas descendieron a menos de 0,5 MT.

Las hipótesis de Wyrтки y de Bjerknes establecen ambas la posibilidad de una predicción de un EN gracias a ciertos indicadores tales como la 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, y el aumento significativo de las temperaturas superficiales de las aguas y fuertes anomalías en la diferencia de presiones atmosféricas entre el Pacífico Sudeste y Australia-Indonesia, en el segundo caso. Se debe sin embargo señalar que, a pesar de la observación de algunas anomalías, el sistema de previsión fracasó durante el Niño de 1982-1983 que sobrevino de manera inopinada. Igual sucedió con la predicción errónea de un EN en 1989-1990, el que súbitamente no se produjo pese a los numerosos signos precursores.

## 2. EL NIÑO 1982-1983

No cabe duda alguna de que el EN de 1982-1983 respondió a un modelo de formación diferente al modelo tipo. Wyrтки había pronosticado por cierto que el fenómeno no tendría lugar en 1982 ni en 1983, y probablemente tampoco en 1984 porque no habían cambios significativos en las variaciones del nivel del océano y de la termoclina. Sólo un análisis posterior permitió detectar algunos signos precursores, en particular un calentamiento inhabitual de las temperaturas oceánicas superficiales en la longitud 180°, ya en enero de 1982, y una anomalía de diferencia de presión atmosférica entre Darwin (Australia) y Tahití, igualmente a inicios de ese mismo año. Los fuertes déficits pluviométricos observados a mediados de 1982 en Indonesia, Nueva Zelanda y Filipinas, al igual que la sequía que afectó a Australia en la misma época deben atribuirse a un desplazamiento precoz hacia el Este de la rama ascendente de la circulación de Walker. Se observa igualmente la tendencia del FIT a desplazarse prematuramente hacia el Sur al igual que el anormal establecimiento de un sistema de vientos de Oeste a poca altura que favorece la propagación de la onda Kelvin a través del océano Pacífico.

En uno de los artículos difundidos por la Fundación Charles Darwin para las Islas Galápagos en 1985, Wyrтки hace, *a posteriori*, un excelente análisis del EN de 1982-1983. La pertinencia de sus afirmaciones merece una cita textual (traducción libre) de amplios extractos que valen la mejor de las explicaciones.

1. « (...) constituyendo la variación del nivel del océano una respuesta a la acción de los vientos, se deben ante todo describir los principales cambios anormales que sufrieron los mismos en el Pacífico tropical durante el Niño de 1982-1983. Durante la primera mitad del año 1982, el régimen de los alisios en el océano Pacífico no era notablemente diferente a lo normal (Arkin et al., 1983). A lo largo del Ecuador, al igual que al Este de la línea de cambio de fecha, los vientos eran un tanto más fuertes

que de costumbre y se registraban algunas borrascas de vientos de Oeste en la zona occidental del Pacífico ecuatorial (Sadler y Kilonsky, 1983) pero tal situación de conjunto no podía considerarse como inhabitual. La anomalía se inicia a fines de junio de 1982 y consiste en una generalización y un refuerzo de los vientos de Oeste ya observados en el Pacífico ecuatorial occidental. Alcanzan la línea de cambio de fecha en julio y su campo de acción se desplaza lentamente hacia el Este para estar finalmente presente casi en la totalidad del Pacífico ecuatorial en octubre y noviembre (Sadler y Kilonsky, 1983). (...) De enero a mayo, los vientos de Oeste soplan en la mayor parte del Pacífico ecuatorial entre el ecuador y  $10^{\circ}$  S, lo que es opuesto al régimen habitual de los alisios. Esta situación, que dura hasta junio, es responsable de la formación y del desarrollo de gran número de ciclones tropicales en el hemisferio sur. »

2. « En resumen, se puede decir que, a gran escala, dos eventos rigen al Niño de 1982-1983. Durante la segunda mitad de 1982, vientos de Oeste engendrados al Norte del ecuador se desplazan hacia el Este a lo largo de este último. Durante la primera parte de 1983, el campo de acción de esos vientos emigra hacia el hemisferio sur y ocupa todo el espacio comprendido entre el ecuador y  $10^{\circ}$  S. La topografía de la superficie del océano da una respuesta conforme a esa situación.

En todo el Pacífico, esta respuesta del nivel del océano puede ser ilustrada por los registros efectuados en cuatro estaciones escogidas como representativas de las diversas partes del Pacífico. Ponape ( $6^{\circ} 59' N$ ,  $158^{\circ} 14' E$ ), situada en la contracorriente, es representativa de los eventos del Pacífico occidental al Norte del ecuador. En ella se observa un lento decrecimiento del nivel del océano que se inicia en mayo de 1982, alcanza su valor mínimo en diciembre y es seguido de un rápido ascenso. La isla Christmas ( $1^{\circ} 59' N$ ,  $157^{\circ} 29' O$ ) es representativa del Pacífico central ecuatorial y el registro muestra un pico del nivel del océano entre julio y diciembre. Ese pico corresponde a la llegada al Pacífico oriental del agua caliente proveniente del Oeste, transportada por las ondas Kelvin. Luego de ese paso, el nivel del océano es claramente inferior al normal.

La evolución del nivel del agua en Santa Cruz (islas Galápagos,  $0^{\circ} 45' S$ ,  $90^{\circ} 19' O$ ) es representativa del Pacífico oriental ecuatorial que soporta los efectos mayores de El Niño. El registro es casi idéntico a los observados en todas las estaciones del Ecuador, del Perú y de Colombia. En él se observan dos picos bajos en mayo y junio de 1982. El nivel se eleva fuertemente en septiembre de 1982 y experimenta dos ascensos sucesivos, en enero y mayo de 1983, después de los cuales desciende rápidamente para alcanzar valores inferiores al normal. Funafuti ( $8^{\circ} 31' S$ ,  $179^{\circ} 21' E$ ) es representativa del nivel del océano en el Pacífico occidental al Sur del ecuador, en

una zona en donde se observa habitualmente una relativa elevación de la topografía dinámica que marca el centro de la circulación anticiclónica del Pacífico meridional. En Funafuti, el nivel del océano comienza a descender en diciembre de 1982 y alcanza su valor mínimo en junio de 1983, después de lo cual emprende un nuevo ascenso.

Aunque estos registros muestran las variaciones locales del nivel del océano, no revelan los verdaderos cambios que lo afectaron a gran escala, los mismos que son mejor ilustrados por mapas de nivel oceánico para todo el Pacífico. Durante el año 1981 y muy al inicio de 1982, el nivel no mostraba una desviación significativa con relación a la normal y no es sino en el transcurso del primer trimestre de 1982 cuando se pueden poner en evidencia ligeras anomalías positivas en el Pacífico occidental. Del orden de 5 a 10 centímetros, se desarrollan entre enero y marzo a lo largo del ecuador, en el intervalo comprendido entre las islas Salomón y Tahití. (...) Este nivel más elevado que de costumbre en el Pacífico occidental es sin embargo muy inferior al observado durante los EN pasados y no puede considerarse como una de las causas directas del fenómeno de 1982. »

3. « En las Galápagos, la primera alza importante del nivel del océano se sitúa el 3 de octubre. Sigue a un lento ascenso, en agosto y septiembre, y constituye aparentemente la señal de la llegada al Este de la primera onda Kelvin. El alza del nivel oceánico en el lado oriental del continente prosigue durante lo que queda del año y alcanza un pico de + 47 cm el 6 de enero de 1983, para luego caer rápidamente. El mapa de las anomalías del nivel oceánico en diciembre de 1982 muestra al EN en el máximo de su desarrollo: en el Pacífico occidental, el nivel es en todo lado inferior al normal y la anomalía máxima alcanza - 25 cm en las islas Carolina. Esta amplia anomalía indica la existencia de un flujo de aguas calientes de superficie proveniente del Pacífico occidental, en particular de la zona situada al Norte del ecuador. Simultáneamente, aguas superficiales calientes se acumularon en el Pacífico oriental, en donde el nivel cerca del ecuador es superior en aproximadamente 35 cm a la normal, extendiéndose las anomalías positivas lejos hacia el Norte, hasta California, y lejos hacia el Sur, hasta Chile. »

4. « Durante la primera mitad del año 1983, (...) se registra en Galápagos un segundo pico del nivel oceánico; afecta a las costas del Ecuador y del Perú. La profunda depresión del nivel oceánico en el Pacífico occidental indica también una circulación anormal. Al Norte de esa depresión, entre el ecuador y  $10^{\circ}$  S, el flujo de superficie se desplaza hacia el Este, transportando las aguas calientes hacia las islas Marquesas. La acumulación de aguas anormalmente calientes es evidente en los mapas de temperaturas superficiales (Arkin et al., 1983). Al Sur de la depresión, entre  $10^{\circ}$  y  $20^{\circ}$  S, el flujo circula hacia el Oeste, lo que indica un desplazamiento meridional de

la corriente Ecuatorial Sur y, aparentemente, de todo el sistema subtropical del Pacífico Sur. »

5. « Después del Niño de 1982-1983, el regreso a la normal de la topografía oceánica y del sistema de circulación asociado a ella es un lento proceso. (...) A lo largo de las costas del Ecuador, el nivel oceánico es aún ligeramente más elevado que de costumbre mientras que es inferior a la normal en las islas Galápagos.

El principal resultado del análisis de las fluctuaciones del nivel oceánico en el Pacífico durante El Niño de 1982-1983 es la puesta en evidencia de la coherencia de esas variaciones cuando son consideradas a una escala espacial muy amplia y a una escala de tiempo muy extensa. El nivel oceánico es un excelente parámetro para correlacionar la respuesta del océano a regímenes de vientos muy variables y para estudiar el aspecto dinámico de tales respuestas. »

En el litoral ecuatoriano, los eventos descritos fueron percibidos desde octubre de 1982. El calentamiento precoz de las aguas oceánicas, seguido de un aumento apreciable de las temperaturas del aire (del orden de 3° C), contribuyó a aumentar la inestabilidad de las capas inferiores de la atmósfera y se produjeron lluvias prematuras durante la segunda quincena del mes.

Aunque su intensidad haya sido desigual según los lugares, la influencia de El Niño se extiende a todo el año, de octubre de 1982 a septiembre de 1983. La comparación entre las precipitaciones interanuales y aquellas provocadas por el fenómeno demuestra perfectamente la gran variabilidad pluviométrica de la región costanera, aspecto que fue abordado en el artículo III. Se observará que el impacto de El Niño es particularmente importante en la franja litoral, hasta una latitud de 0° 30', al igual que en las estribaciones de la cordillera Occidental. En esa zona, las pluviometrías anuales, mensuales y diarias observadas en ciertas estaciones de duración relativamente larga pueden considerarse como verdaderamente excepcionales incluso si, como lo subraya F. Moniod, « ... cuidado con las consideraciones estadísticas de los fenómenos hidrópluviométricos consecutivos a El Niño: la realidad de las frecuencias o los tiempos de retorno anunciados es muy discutible pues el hecho observado no es tal vez el paroxismo de una situación latente cuyo "germen" estaría contenido en la muestra de referencia, sino la manifestación accidental, aunque relativamente común, de otra situación ignorada en la muestra de referencia, en cuyo caso las extrapolaciones mediante las leyes de Galton, Pearson u otra, de la distribución de la muestra no tienen razón alguna de reflejar la frecuencia del accidente ». Aquí se encuentra el problema ya señalado de las distribuciones plurimodales y de los « outliers »; en realidad, el ajuste debería ser una combinación de dos componentes para tomar en cuenta la existencia de los procesos. La estimación de las frecuencias presentada es entonces sólo un elemento indicativo.

**GUAYAQUIL (67 años)**, media interanual:

1.100,9 mm - mediana: 1.015 mm (véase fig. 15 y 16)

- Niño de 1982-1983: 4.600,4 mm (segundo valor observado: 2.619,3 mm en 1925), lo que correspondería a un período de retorno superior a varios miles de años si se admite una distribución unimodal;

- 6 meses tienen un período de retorno superior a 100 años;

- 12 lluvias diarias tienen una frecuencia anual, 4 una frecuencia decenal y 1 una frecuencia centenal;

- se registraron 33,9 mm en 10 minutos, es decir una intensidad de 203 mm/hora.

**SALINAS (27 años)**, media interanual: 125,5 mm - mediana: 100 mm

- Niño de 1982-1983: 2.883,0 mm (segundo valor observado: 340,4 mm en 1976), lo que correspondería a un período de retorno superior a varios miles de años si se admite una distribución unimodal;

- 5 meses tienen una frecuencia más rara que la frecuencia centenal;

- 33 lluvias diarias tienen una frecuencia anual, 8 una frecuencia decenal y 2 una frecuencia centenal (señalemos en particular una lluvia de 223 mm).

**MANTA (32 años)**, media interanual: 225,8 mm - mediana: 170 mm

- Niño de 1982-1983: 1.835,1 mm (segundo valor observado: 754,2 mm en 1953), lo que correspondería a un período de retorno superior a varios miles de años si se admite una distribución unimodal;

- 7 meses tienen un período de retorno superior a 100 años;

- 14 lluvias diarias tienen una frecuencia anual y 1 una frecuencia centenal (180 mm).

En la zona interandina, en donde la cordillera Occidental contribuye a reducir en gran medida el papel de las masas de aire oceánico, a distribuir las de manera heterogénea y tal vez incluso a anular su efecto, es muy difícil establecer una relación directa entre El Niño y las pluviometrías registradas en 1982-1983. En su conjunto, son superiores a los valores normales pero el aumento es muy variable: generalmente del orden del 20 al 30 %, pero puede también ser nulo o alcanzar el 400 %, pudiendo el alza de la pluviosidad ser muy diferente entre estaciones vecinas. Consecuentemente, la influencia de El Niño no parece traducirse principalmente en la invasión de masas de aire húmedo sino más bien en el incremento de una actividad convectiva que responde a condiciones estrictamente locales y bastante aleatorias. En Quito, se observaron 219 días de lluvia (es decir 33 más que el número anual promedio), totalizando 1.780 mm (en lugar de 1.204 mm) de los cuales 1.678 se registraron de octubre a mayo; la frecuencia del evento es de orden centenal. Se debe observar en cambio que el fenómeno no tuvo influencia alguna en las alturas

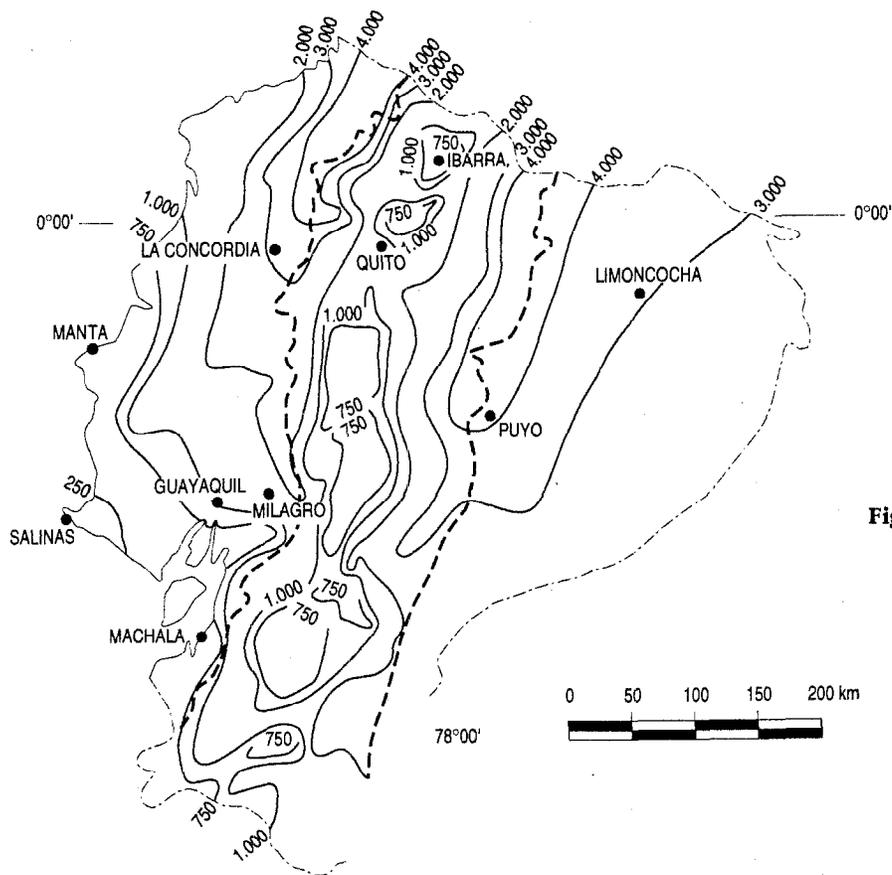


Fig. 15 Alturas pluviométricas anuales 1965-1978

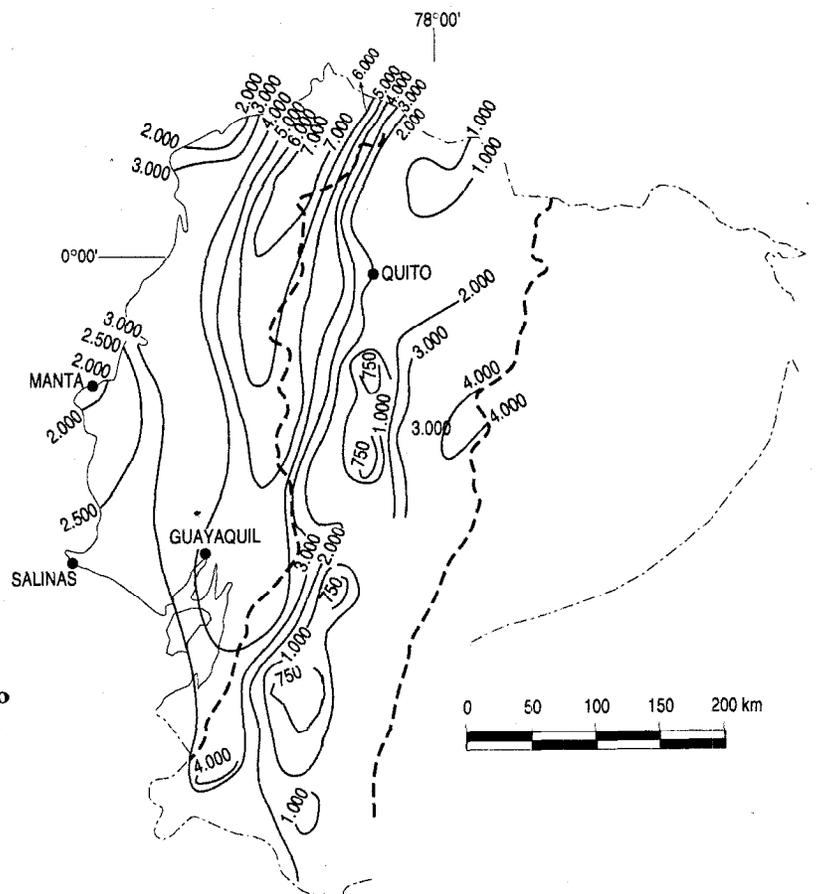


Fig. 16 - Alturas pluviométricas El Niño octubre de 1982 - septiembre de 1983

pluviométricas diarias (aunque la cantidad de lluvias fuertes sea más importante que de costumbre, lo que es ilustrado por el hecho de que el total anual aumenta en un 48 % mientras que el número anual de días lluviosos no se incrementa sino en un 17 %) ni en las intensidades que se acercan a los valores medianos.

### III. Decrecimiento de las precipitaciones en la región litoral

Para subrayar el grado de anormalidad de ciertos eventos pluviométricos o para poner en evidencia una tendencia climática, es necesario hacer referencia a una crónica suficiente de datos, es decir analizar series de observaciones continuas y de larga duración.

Así, se puede pensar que una manera objetiva de ilustrar que un proceso de desertificación afecta a la región litoral central y meridional consistiría en demostrar que existe un decrecimiento de las precipitaciones anuales. Con esa intención, se escogieron las estaciones de larga duración de Guayaquil (período de 1915-1983), Milagro (1921-1983), Machala (1931-1983) y Portoviejo (escogida por su excepcional situación aunque presenta importantes y frecuentes lagunas de información) y, como referencia, al exterior de la zona estudiada, la de Quito-Observatorio (1891-1986) situada en la región andina. Se debe señalar que la información, a menudo deficiente, debió ser completada ya sea utilizando las medias interanuales para los meses faltantes (hasta dos en general, excepcionalmente tres), o estableciendo correlaciones entre estaciones vecinas cuando el año entero era demasiado deficiente. Por otro lado, el período anual de referencia escogido fue el año calendario, pues cualquier otra división no mejoraba sustancialmente los resultados. El procesamiento estadístico aplicado a las series consistió en:

- buscar leyes de distribución adaptadas para evaluar la frecuencia de ciertos eventos excepcionales, tales como los EN (ver el capítulo 2) o los años extremadamente secos (en particular 1926 y 1960 en los Andes y 1952 y 1968 en el litoral);
- estudiar la distribución en el tiempo de los picos y de los años deficitarios (búsqueda de eventuales pseudo-ciclos);
- buscar una tendencia general tratando de eliminar la influencia de las variaciones accidentales y el efecto de las fluctuaciones de corta duración, gracias:
  - al cálculo de las medias móviles simétricas, de período de cinco años, reemplazando cada valor anual  $n$  por la media aritmética entre el mismo y los valores que lo enmarcan:  $(n_{-2} + n_{-1} + n + n_{+1} + n_{+2}) / 5$ ;
  - al cálculo de medias móviles ponderadas que toman en cuenta los años anteriores, utilizando para ello una forma exponencial decreciente siguiendo el método propuesto por J.-C. Olivry;

- al trazado de las diversas rectas de tendencia, tanto para los datos en bruto observados como para las medias móviles y las medias móviles ponderadas.

Este procesamiento y los gráficos correspondientes (figuras 17 a 21) permiten extraer las siguientes enseñanzas:

1. Las series observadas en el litoral y en los Andes son casi siempre independientes.
2. Los años muy lluviosos tienen una distribución prácticamente al azar. Tal observación es igualmente válida para los años muy secos.
3. Aunque el número de eventos y la duración de las series sean insuficientes para sacar conclusiones definitivas, se puede observar que en el litoral, los EN están precedidos de un año de baja pluviometría y que esta se sitúa en la fase decreciente de las medias móviles.
4. En Quito, el examen de las medias móviles parece mostrar una « pseudo-periodicidad » cuyos picos estarían centrados en los años 1899, 1916, 1933, 1952 y 1970, es decir cuyos intervalos son muy cercanos puesto que varían de 17 a 19 años. Incluso si los valores anuales originales lo sugieren también, sobre todo a partir de inicios de siglo, hay que guardarse de sacar de ello conclusiones demasiado afirmativas, en particular a causa del efecto Sulsky que es un efecto de ciclo introducido artificialmente por el empleo de las medias móviles.
5. La serie de Quito muestra igualmente una baja muy ligera de la pluviometría, del orden de 1 mm por año (la ecuación de la recta de tendencia ajustada, presentada sólo como elemento indicativo, es  $P \text{ mm} = 1.287 - 1,3 t$ , en donde  $t$  es el número de años contado a partir del inicio de las observaciones), pero, también aquí, se debe ser prudente pues la desviación estándar de la estimación de la media representa varias decenas de milímetros y por ello es difícil adelantar que el hecho no es fortuito.

En cuanto a las cuatro series observadas en la región costera hasta 1982, también ponen en evidencia una tendencia (coeficientes de correlación significativos en el intervalo de confianza del 95 %) al decrecimiento de las lluvias del orden de 300 mm en 50 años (las ecuaciones de las rectas de regresión, cuyos resultados deben ser tomados con extrema prudencia, arrojan valores de pendientes de aproximadamente 7 mm/año en Machala, Portoviejo y Guayaquil, alcanzando incluso cerca de 16 mm/año en Milagro). En Guayaquil y en Milagro, en donde la pluviosidad es relativamente más elevada, este fenómeno pasa prácticamente desapercibido mientras que en Machala, Portoviejo y en general en toda la franja litoral sur y central, la baja registrada es percibida con mayor agudeza, lo que acredita la versión popular de la existencia de un actual proceso de desertificación. En lo que respecta al presente estudio, afirmar que tal proceso se está operando sería muy aventurado. Incluso si se identificó una tendencia a la baja, las series observadas son muy insuficientes como para hacerse una idea

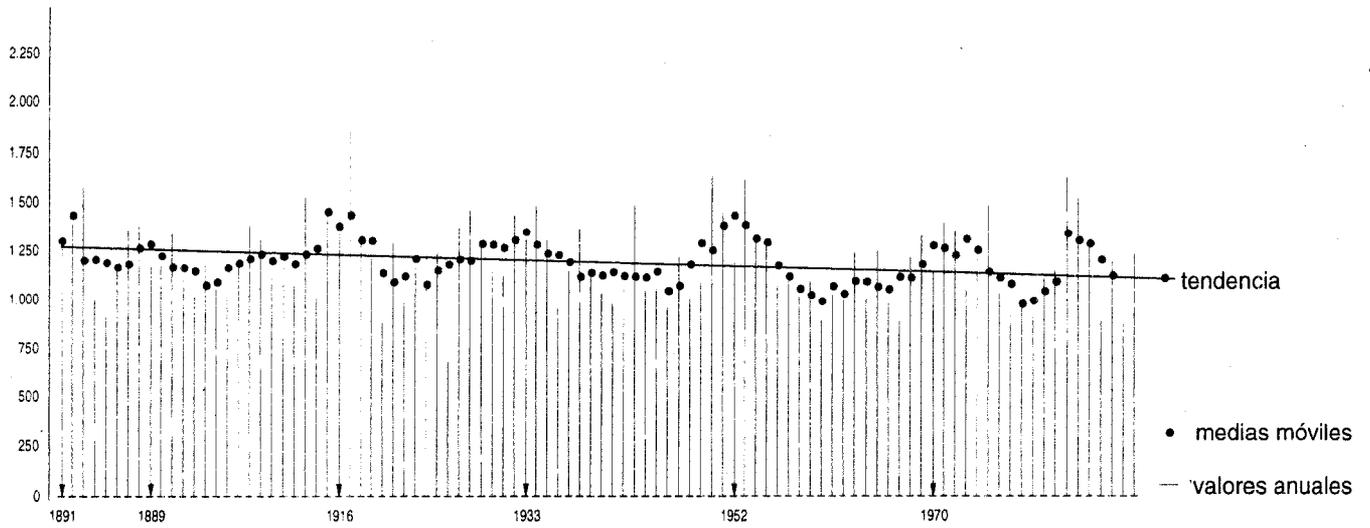


Fig. 17 - Quito

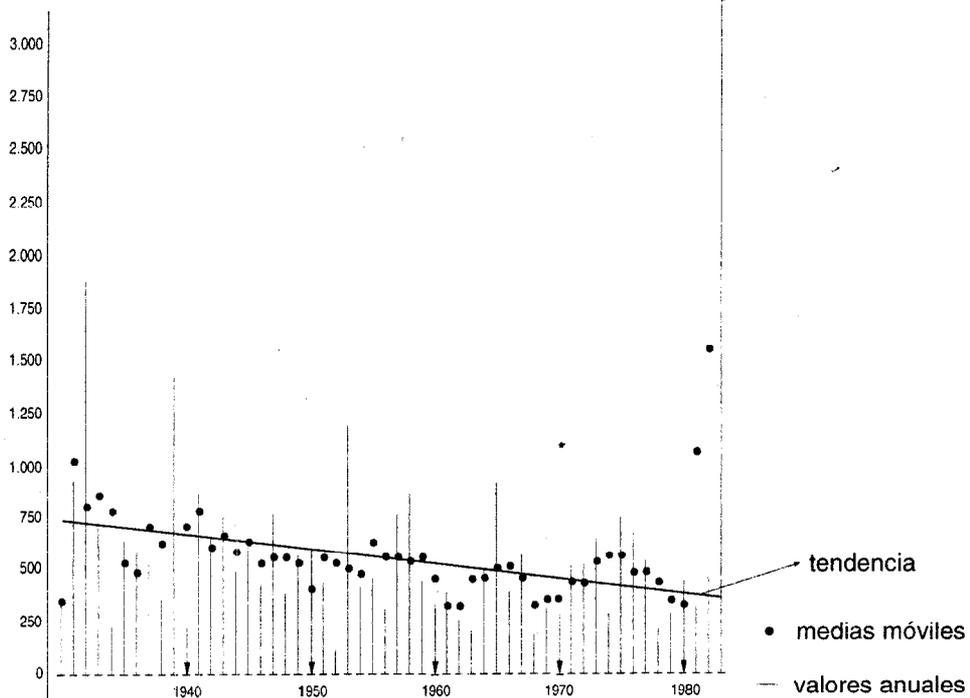


Fig. 18 - Machala

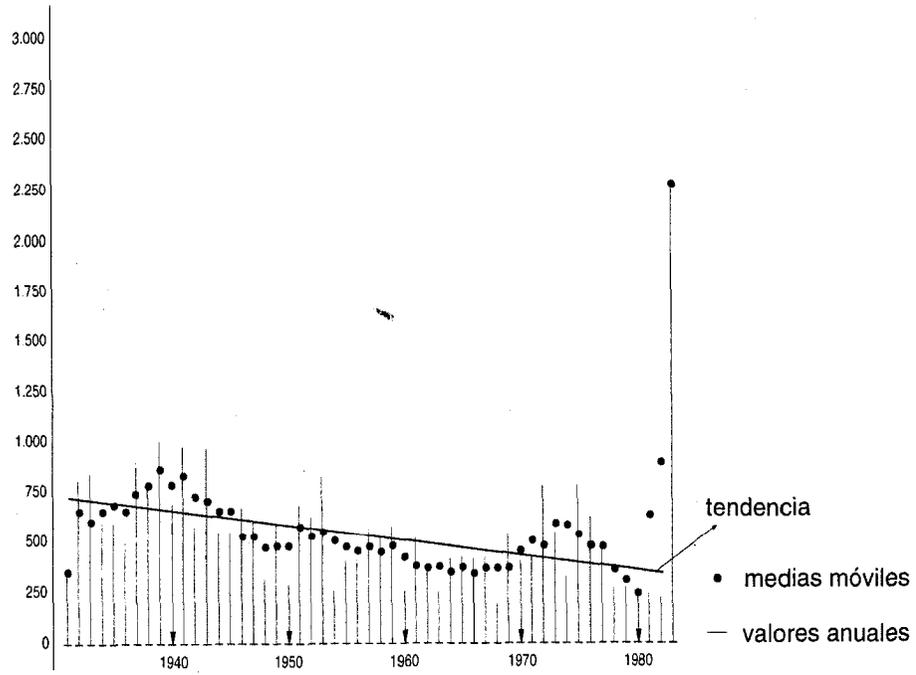


Fig. 19 - Portoviejo

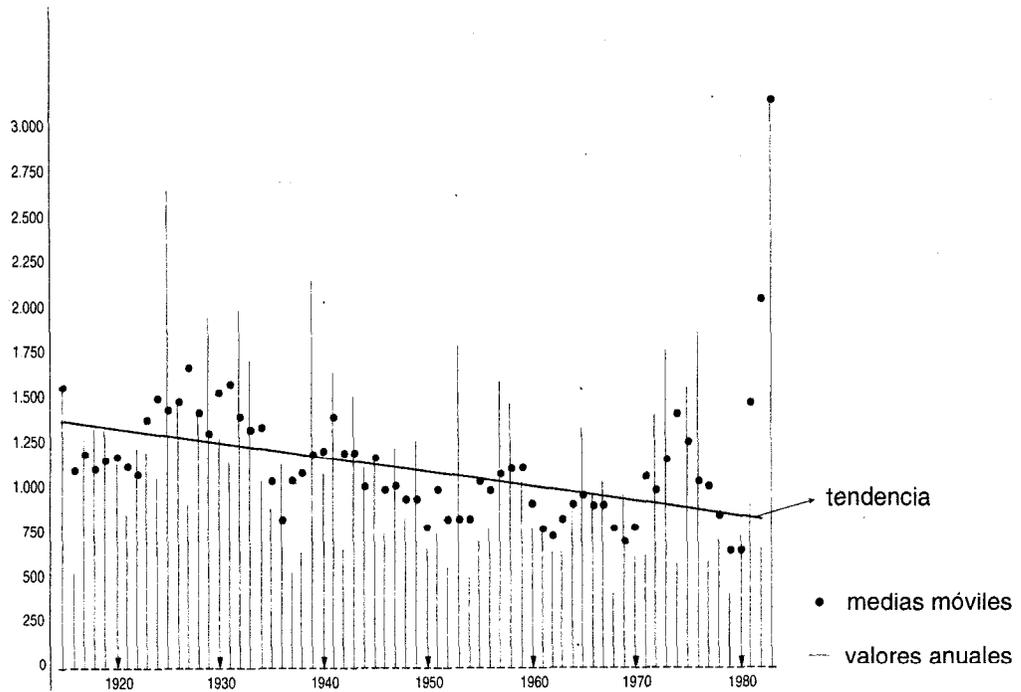


Fig. 20 - Guayaquil

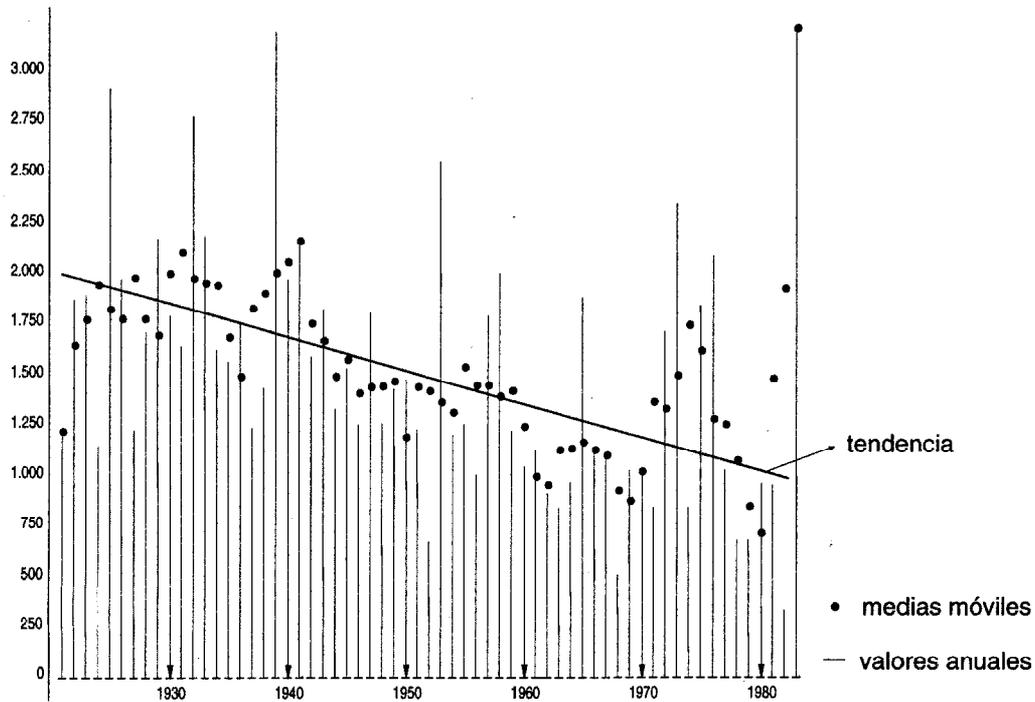


Fig. 21 - Milagro

definitiva de la posición exacta del período estudiado dentro del contexto de las demás tendencias históricas, a la baja y al alza sucesivamente, que constituyen las oscilaciones altamente probables de un elemento climático tal como la lluvia.

#### IV. Conclusiones

El análisis estadístico al que fueron sometidas las series pluviométricas observadas, aunque no permite una verdadera predicción de los eventos excepcionales ni de los totales pluviométricos futuros, proporciona algunas valiosas indicaciones en cuanto a la posibilidad de aparición de un Niño. Es así como un índice como el que representa la anterioridad de un año particularmente seco durante un período de pluviometría decreciente (únicamente el Niño de 1931 no responde estrictamente a esa condición incluso si el año 1930 es un tanto deficitario) constituye un nuevo elemento de previsión que merece probablemente ser considerado,

sobre todo si viene a sumarse a los demás indicadores tradicionales (variación positiva del nivel del océano, aumento significativo de la temperatura superficial de las aguas, incremento prolongado de la fuerza de los alisios y anomalías de la Oscilación Sur).

También fue posible identificar una tendencia decreciente de las pluviometrías en la región costanera, lo que implica dos aspectos complementarios. El primero consiste en que los valores de los años secos de frecuencia rara presentados en los dos artículos anteriores están ligeramente sobrestimados puesto que fueron calculados con el conjunto de la serie. El segundo se refiere al hecho de que sería audaz pronosticar, como algunos no han vacilado en hacerlo, que las pluviometrías de la zona litoral continuarán decreciendo para desaparecer completamente. Toda consideración de este orden no podría adelantarse a menos que se situara en un amplio contexto histórico, es decir en un marco temporal mucho más amplio que el permitido por las series disponibles.