

LAS INUNDACIONES EN LA ZONA COSTERA ECUATORIANA: CAUSAS; OBRAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES Y PREVISTAS

Frédéric Rossel, Eric Cadier*, Gustavo Gómez***

Resumen

El impacto de las anomalías climáticas de tipo ENSO ("El Niño" / Southern Oscillation) es muy fuerte en la zona costera del Ecuador. El calentamiento del océano que acompaña a estas anomalías implica precipitaciones e inundaciones que provocan pérdidas humanas y materiales, en ocasiones, considerables. Así, la estación lluviosa a consecuencia de "El Niño" excepcional de 1983 ha causado en el Ecuador y el norte del Perú la muerte de por lo menos 600 habitantes y pérdidas materiales estimadas en 650 millones de dólares, habiendo transcurrido varios años para arreglar los daños sufridos en la infraestructura de los dos países. Estas inundaciones son aún más graves debido al relieve débil y al mal drenaje de las grandes llanuras costeras.

En la primera parte, a partir de una regionalización y zonificación de la pluviometría, se evalúa la correlación entre el ENSO y los totales anuales de precipitación del litoral del Ecuador, y se determinan los sectores más afectados. Se analiza enseguida, cuáles son las posibilidades de estimar las precipitaciones mensuales, con uno o varios meses de anticipación, a partir de las anomalías de temperatura superficial del Pacífico oriental.

En la segunda parte, se estudia la cuenca del río Guayas que es el sector en donde la relación entre la pluviometría y el ENSO es la más fuerte del país. Se describen las principales características de las obras de protección contra las crecidas, construidas y proyectadas por la Comisión de Estudios para el Desarrollo de la Cuenca del río Guayas (CEDEGE). Se intenta evaluar su funcionamiento y evidenciar la efectividad de la protección proporcionada por estas obras.

Palabras claves: *Inundaciones, obras de protección, manejo de cuenca, sistemas de alerta, previsiones, ENSO.*

LES INONDATIONS DANS LA ZONE CÔTIÈRE ÉQUATORIENNE : CAUSES ; OUVRAGES DE PROTECTION EXISTANTS ET PRÉVUS

Résumé

L'impact des anomalies climatiques de type ENSO (El "Niño" / Southern Oscillation) est particulièrement important dans la zone côtière de l'Équateur. Le réchauffement de l'océan qui accompagne ces anomalies entraîne des précipitations et des inondations qui amènent des pertes matérielles et humaines parfois considérables. Ainsi, la saison des pluies correspondant au "Niño" exceptionnel de 1983 a provoqué en Équateur et au nord du Pérou la mort d'au moins 600 habitants et des pertes matérielles estimées à 650 millions de dollars. Ces pays ont mis plusieurs années à réparer les dégâts causés à leur infrastructure. Ces inondations sont aggravées par le faible relief et le mauvais drainage de ces grandes plaines côtières.

* ORSTOM, AP 17 11 06 596, Quito, Ecuador. Fax : (593 2) 569 396. E-mail: rossel@orstom.ecx.ec
cadier@orstom.ecx.ec

** INAMHI, 700 Iñaquito y Corea, Quito, Ecuador. Fax (593 2) 448 686 o 468 327

Dans la première partie, à partir d'une régionalisation et d'une zonification de la pluviométrie, nous évaluons la corrélation entre l'ENSO et les totaux pluviométriques annuels de la zone côtière de l'Équateur et nous déterminons les secteurs les plus affectés. Nous analysons ensuite les possibilités de prévision de la pluviométrie mensuelle avec un ou plusieurs mois d'anticipation à partir des anomalies de température superficielle du Pacifique oriental.

Dans la deuxième partie, nous avons étudié le bassin versant de la rivière Guayas qui correspond à la région où la relation entre la pluviométrie et l'ENSO est la plus forte du pays. Nous décrivons les principales caractéristiques des ouvrages de protection contre les crues construits et projetés par la Commission d'études pour le développement du bassin versant de la rivière Guayas (CEDEGE). Et nous essayons d'évaluer leurs fonctionnements et l'efficacité de la protection offerte par ces ouvrages.

Mots-clés : *Inondations, ouvrages de protection, gestion de bassins versants, systèmes d'alerte, prévisions, ENSO.*

FLOODS IN THE ECUADORIAN COASTAL AREA: RESPONSIBLE PATTERNS, EXISTING AND PLANNED PROTECTION EFFORTS

Abstract

The impact of climatic anomalies such as ENSO ("El Niño"/ Southern Oscillation) is very important in the coastal area of Ecuador. Sea warming coming along with these anomalies leads to precipitation and floods that sometimes bring about considerable material and human losses. An example of the occurred in Ecuador and in the north of Peru in the 1983 rainy season which caused the death of at least 600 inhabitants and material losses estimated at 650 millions dollars. It took many years to repair the damage to the infrastructure. These floods were aggravated by the low relief and poor drainage along the large coastal plains.

In the first section, beginning with regionalization and zonification based on rainfall, we evaluate the correlation between ENSO and rain in the Ecuadorian littoral and we determine the most affected area. Subsequently, we analyse the forecasting possibilities of monthly rain with one or several months of anticipation using the anomalies of the orient Pacific surface temperature.

In the second section, we focus on the Guayas river basin where the relation between rain and ENSO is the highest in the country. We describe the principal characteristics of building and planned flood protection works of the Studies Commission for the Guayas river basin development (CEDEGE), and we evaluate the functioning and efficiency of the protection offered by these works.

Key words: *Floods, protection works, watershed management, warning systems, forecasting, ENSO.*

INTRODUCCIÓN

La distribución de las precipitaciones y de los escurrimientos en la zona costera ecuatoriana es muy irregular.

Primeramente en el plano estacional, puesto que en el transcurso del año, el 85% de las lluvias caen en los cuatro primeros meses, mientras que el 15% restante se distribuye en los ocho meses restantes. Los caudales de los ríos grandes pueden variar con una relación superior a 100, entre el caudal de crecida y el caudal de estiaje. Por ejemplo, el caudal del río Daule, en la estación de la Capilla donde tiene una superficie de 4.500 km², puede pasar de 1.800 m³/s en crecida a menos de 12 m³/s en estiaje.

En segundo lugar, la variación de las precipitaciones de un año a otro son muy fuertes; los coeficientes de variación de los totales anuales pueden superar al 0,40. Está generalmente admitido (Nouvelot & Pourrut, 1984) que las oscilaciones climáticas debidas al fenómeno ENSO son responsables de una gran parte de esta irregularidad interanual.

Esta irregularidad trae como consecuencia sequías muy frecuentes, al igual que inundaciones que se presentan con continuidad excesiva, especialmente en las zonas planas y bajas de las llanuras de los ríos costeros, provocando pérdidas humanas y económicas muy severas.

Para intentar mitigar estos problemas, se construyeron o planearon implementar varias obras de protección y control, tales como:

- Presas de uso múltiple, destinadas a retener el caudal pico de las crecidas y almacenar agua para distribuirla en los períodos críticos de estiaje (irrigación, abastecimiento humano, industrial, navegación, transvase para otras cuencas menos favorecidas, generación hidroeléctrica, etcétera);

- Diques y otras obras de contención de crecidas, con el fin de proteger ciudades y zonas pobladas, industriales o cultivadas;

- Sistemas de drenaje, para evacuar las aguas en exceso;

- By Pass, o canales de gran dimensión destinados a evacuar directamente las crecidas de un río hacia el mar u otro río;

- Sistema de alerta de crecidas, para avisar a las poblaciones y permitir un mejor manejo de las obras de contención y regulación.

1. EL "NIÑO" Y LAS ABUNDANTES LLUVIAS EN EL ECUADOR

1.1. Conceptualización del fenómeno

En las provincias costeras del Ecuador, se producen inundaciones que pueden ser determinantes para la economía del país y en casos extremos para la vida de sus habitantes. Desde el evento excepcional de 1983, todos culpan al "Niño" por las fuertes precipitaciones.

Pero, ¿qué es "El Niño"? ¿En qué años ocurrió? ¿En dónde tiene influencia? ¿Es siempre este fenómeno el que provoca las inundaciones? ¿Se podrá algún día prevenir contra sus consecuencias? Estas son las interrogantes que se intenta contestar.

Antes, definamos en forma clara la extrema irregularidad de las lluvias en la zona costera ecuatoriana, debida en gran parte al "Niño". En la Tabla 1, se presentan los valores medios anuales de precipitación para los años "no-Niño", la media de los años "Niño" sin incluir 1983, el año excepcional de 1983 y la media de todo el período para estaciones representativas de cuatro sectores sensibles al ENSO (Fig. 1) con sus respectivos coeficientes de variación, que se explican más adelante.

Tabla 1 - Medias anuales de precipitación en milímetros y coeficientes de variación de cuatro estaciones meteorológicas de la zona costera.

Estación	Años "no-Niño"	Años "Niño" menos 1983	Año 1983	Media del periodo 1964 - 93	Coficiente de variación
Salinas	80	210	2800	200	1,08
Portoviejo	360	660	1970	470	0,72
Guayaquil	750	1650	4560	1060	0,76
La Concordia	2.840	4070	7140	3230	0,31

1.1.1. ¿Qué es "El Niño"?

Fueron los pescadores suramericanos quienes bautizaron con el nombre de "El Niño", al calentamiento superficial del océano, el cual a lo largo de las costas ecuatorianas y peruanas empieza cada año alrededor de Navidad y se prolonga generalmente hasta marzo

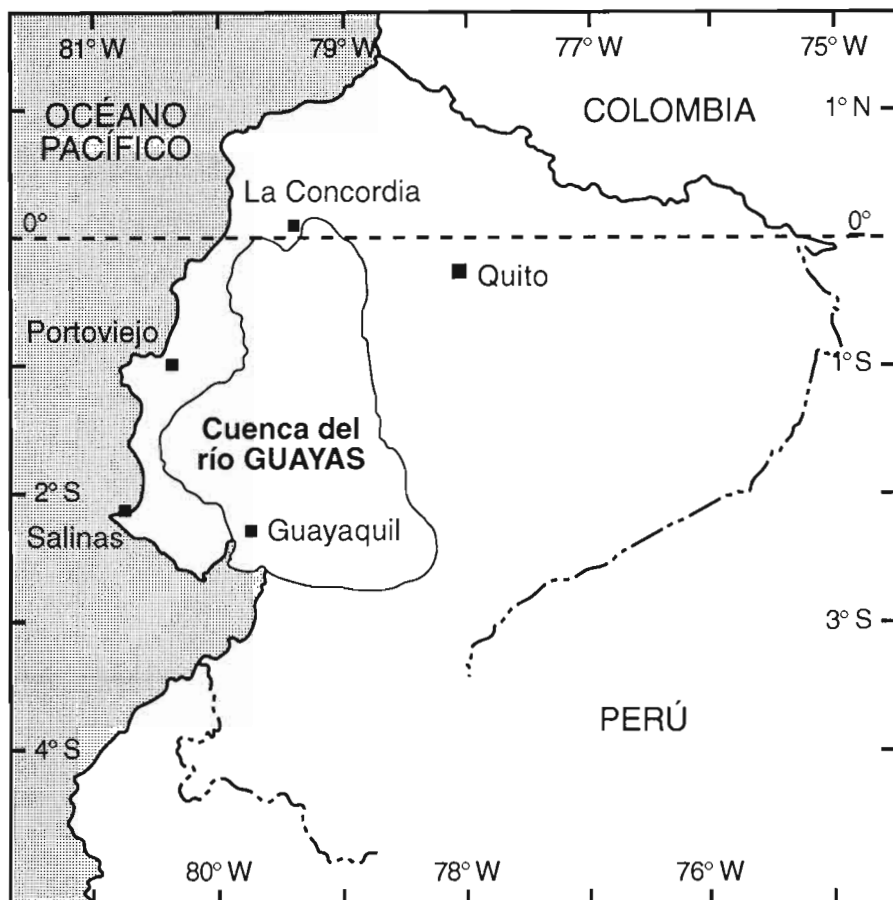


Fig. 1: Mapa de ubicación de la cuenca del río Guayas y de las ciudades citadas.

o abril, en correspondencia a la estación lluviosa. En determinadas ocasiones, ocurre que este evento adquiere una amplitud inusual, con aumento de la temperatura de las aguas oceánicas y lluvias más abundantes. Hoy en día, el término de "El Niño" no se refiere a la situación observada anualmente, sino que está reservado a los eventos anómalos y positivos.

Inicialmente, se pensaba que "El Niño" era un evento local provocado por un debilitamiento de los vientos de baja altura a lo largo del litoral, pero Wyrski (1975) demostró que se trata de un fenómeno mucho más amplio, y formuló su tesis de "la respuesta dinámica del océano al incremento de la intensidad de los alisios". Un resumen de su teoría se reproduce en uno de sus artículos, que define al fenómeno así:

"fuertes alisios del Sur-Este, que soplan durante más de diez y ocho meses, provocan un almacenamiento de agua cálida en el Pacífico oeste. En cuanto estos vientos se debilitan, el agua acumulada tiende a regresar hacia el Pacífico oriental y las costas sur-americanas. La llegada de estas aguas cálidas provocan el incremento del nivel del océano, mientras la termoclina baja, lo que reemplaza el efecto de upwelling y marca el inicio de un "Niño".

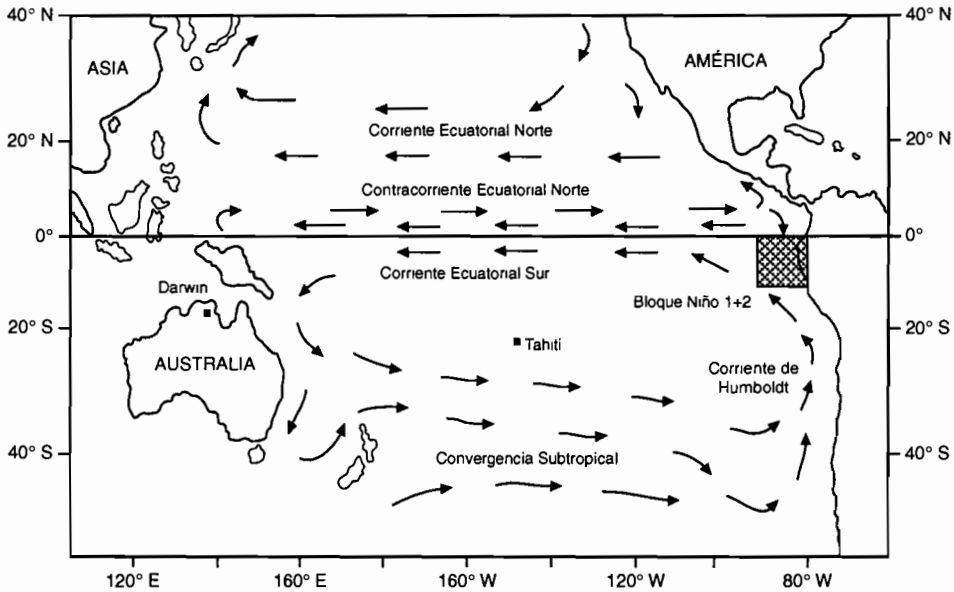


Fig. 2 - Principales corrientes marinas, ubicación de Tahiti, Darwin y del bloque de medición de la temperatura superficial del mar "Niño 1+2".

Por su parte, Bjerknes (1969) 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 del Sur. Esta corresponde a una fluctuación de la circulación atmosférica existente entre el sistema de alta presión del Pacífico Sur-Este (Tahiti) y el de baja presión de la región oceánica occidental (Darwin, Australia; Fig. 2). El índice de la oscilación del Sur (IOS) es positivo cuando la diferencia es superior a la desviación normal y negativo en caso contrario. Bjerknes observó que "El Niño" está asociado a un índice negativo. Este se inicia cuando el índice empieza a bajar y concluye cuando el índice alcanza su valor mínimo.

El debilitamiento de los alisios y la elevación de la temperatura superficial del océano contribuyen al reforzamiento de la contra-corriente ecuatorial. En asociación a las ondas de Kelvin que se propagan de Oeste a Este, provocan un aporte de aguas cálidas y por lo tanto un alza del nivel oceánico en el litoral occidental del continente suramericano. Las aguas calientes se distribuyen en parte hacia el Norte, pero principalmente hacia el Sur dando origen a un "Niño".

El SCOR (Scientific Committee for Ocean Research) define "El Niño" de la manera siguiente:

"Es un flujo de agua caliente 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 ecuatorianas y peruanas".

1. 1. 2. En el Ecuador, ¿cómo se presenta este fenómeno?

En los años "Niño", se observa a lo largo de la costa ecuatoriana una intensificación de la corriente cálida proveniente del Norte, que impide a la corriente fría de "Humboldt" alcanzar las latitudes del Ecuador desde el Sur. Esto implica una baja de la termoclina y

bloquea el efecto de "upwelling". De esta manera no hay renovación de agua "caliente" de la superficie del océano por agua "fría" profunda. Paralelamente, se observa un desplazamiento más pronunciado, hacia el Sur, de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) y un decrecimiento de los vientos del Oeste.

La combinación de estos tres fenómenos provoca una evaporación superior a la normal, la conformación de nubes y el movimiento de este potencial de agua hacia el continente. En el encuentro de los relieves costeros y andinos, estas nubes originan fuertes precipitaciones. Su abundancia está principalmente relacionada a la permanencia del fenómeno a lo largo de la estación lluviosa o más allá de ella y no a algunos eventos excepcionales aislados.

1. 1. 3. *¿Cuáles son los años "Niño"?*

Muchos científicos establecieron clasificaciones de los años "Niño" en función del IOS, pero ocurren eventos aún cuando el IOS no sea negativo y hay descensos de este índice que no coinciden con un "Niño". Eso trae como consecuencia el uso de una multitud de clasificaciones distintas (Quinn et al., 1987; Rasmusson & Wallace, 1983, etcétera) que no concuerdan para muchos años. Así, de acuerdo con Nouvelot & Pourrut (1994), se ha adaptado la definición de "El Niño" propuesta por el SCOR, que es la más adecuada para el estudio de las repercusiones del fenómeno en el clima del Ecuador. Se ha considerado el bloque "Niño 1+2" (0-10 °S / 80-90 °W; Fig. 2) como representativo de las anomalías de la temperatura superficial del mar (TSM) de la corriente cálida del norte; este sector es el único del Pacífico oriental para el cual se dispone de una serie cronológica de registro de TSM. De lo dicho anteriormente, se puede presentar una nueva definición del fenómeno en los siguientes terminos:

"Anomalía positiva superior a una desviación estándar de la temperatura superficial del mar media mensual del bloque "Niño 1+2" durante cuatro meses consecutivos o más".

Uno de los intereses de esta definición radica en el hecho de que se consideran solamente los eventos que se desarrollan hacia las costas americanas y se eliminan las anomalías producidas sólo en el Pacífico central.

Para el período 1970 a 1993, se utilizan los datos publicados por el CAC (Climate Analysis Center) de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) en la red Internet, y para el período 1963 a 1969 los datos COADS (Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set) publicados por la NOAA (CEOS, 1994) y el ORSTOM (Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération) (Fig. 3).

Utilizando estos datos y la definición anterior, los eventos "Niño" en el período 1964 a 1993 son: de abril a agosto de 1965, de marzo de 1972 a enero de 1973, de mayo a septiembre de 1976, de agosto de 1982 a noviembre de 1983, de enero a diciembre de 1987, y de marzo a junio de 1992. Se debe asociar estos eventos a los años hidrológicos (del 1° de septiembre al 31 de agosto) 1965, 1972, 1973, 1976, 1983, 1987, 1992. El año 1988, que incluye cuatro meses (septiembre a diciembre), con anomalía positiva superior a un grado, no fue considerado como "Niño", porque registra varios meses (entre marzo y agosto) con anomalía negativa del mismo orden, lo que corresponde a un evento frío. El año 1969 no fue considerado como "Niño" porque contiene solamente tres meses con anomalía superior a un grado.

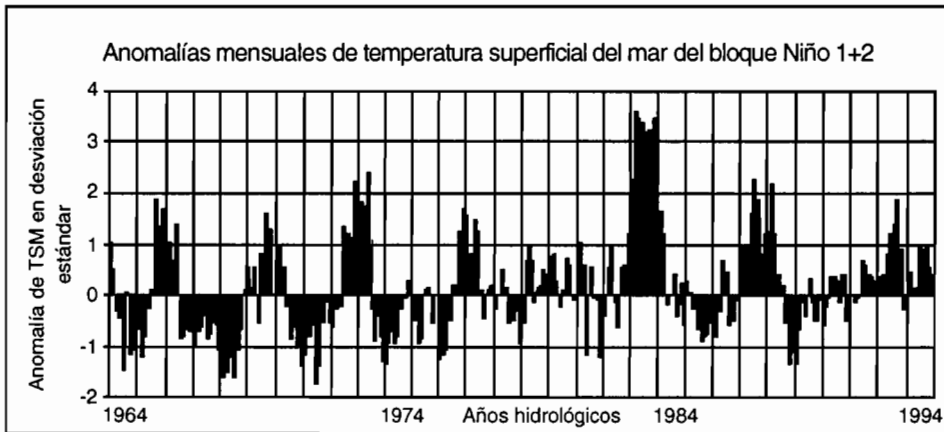


Fig. 3 - Anomalías mensuales en desviación estándar de la TSM del bloque Niño 1+2.

1. 1. 4. ¿Cuál es la influencia del ENSO en los regímenes pluviométricos de la zona costera ecuatoriana?

Se manifestó anteriormente y es de conocimiento general que "El Niño" provoca precipitaciones abundantes en la mayor parte de la costa ecuatoriana. Con excepción del "Niño" de 1982-1983 (Nouvelot & Pourrut, 1984; CEPAL, 1983), no se ha cuantificado la influencia del ENSO en las precipitaciones en el Ecuador.

Con este objetivo, se realizó una zonificación de los totales pluviométricos anuales del litoral (Rossel *et al.*, 1995), poniendo particular atención en los años "Niño", y trabajando con los datos de 230 estaciones pluviométricas de 1964 a 1993. Se emplearon treinta años de información que corresponden al período de funcionamiento de la mayoría de los aparatos y se utilizó el método del "Vector Regional" (Brunet-Moret, 1979) desarrollado en el logicial CLIMAN (Le Goulven & Alemán, 1991).

Este método permite delimitar zonas, dentro de las cuales los totales pluviométricos anuales son pseudo-proporcionales, las variaciones interanuales de las series cronológicas de las estaciones de un grupo pueden ser representadas por una sola serie. Esta serie es el vector regional; se puede considerar que el componente anual del vector es equivalente al promedio de las anomalías pluviométricas de cada estación para el año considerado. Utilizando este método, se dividió la zona costera del país y la vertiente occidental de la cordillera de los Andes en catorce grupos pluviométricos y se definieron cuatro grupos entre el callejón interandino y la región amazónica.

Para caracterizar la relación existente entre el ENSO y los totales pluviométricos se analizó primeramente la coincidencia entre los años "Niño" y los años de lluvias excesivas. Con este fin se realizaron los gráficos de los valores tipificados ($P_t = (P - m)/s$, en donde m y s son, respectivamente, la media y la desviación estándar de la variable P) de los vectores regionales de cada grupo.

Las figuras 4 y 5 de los grupos de Santo Domingo y de Cuenca, permiten visualizar respectivamente un grupo en donde esta relación que resulta ser directa (los siete "Niño" corresponden a excesos de lluvia) y otro en donde no es significativa (dos "Niño" corresponden

a excesos de lluvia, dos a precipitaciones medias y tres a déficit). El análisis de todos los gráficos está resumido en la tercera columna de la Tabla 2, en la cual se indica el número de años "Niño" que corresponden a excesos de lluvia por cada grupo.

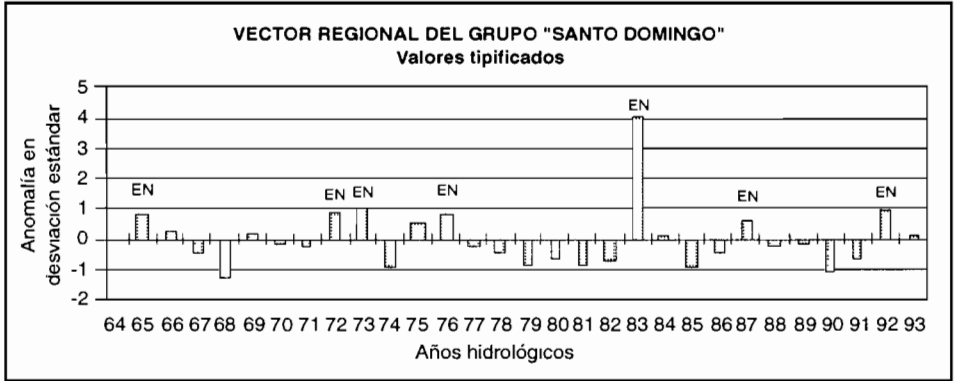


Fig. 4 - Valores tipificados del vector regional de la zona de Santo Domingo. Los años marcados con EN corresponden a los siete "Niño" del período de acuerdo con la definición adoptada. Este grupo presenta una buena relación entre el ENSO y los totales anuales pluviométricos.

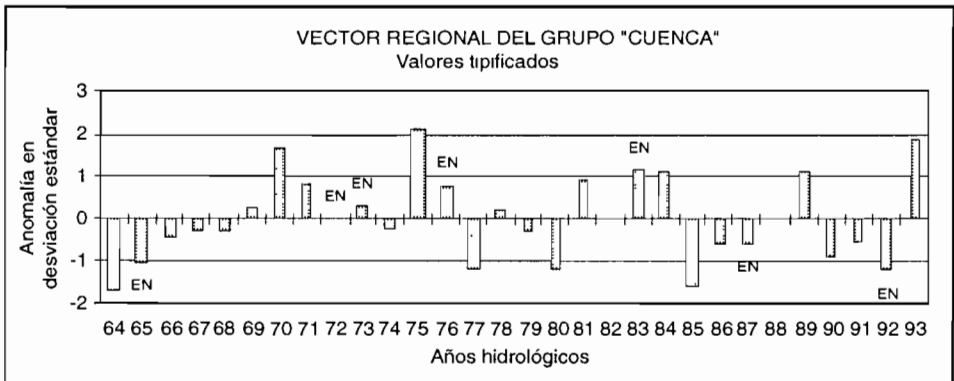


Fig. 5 - Valores tipificados del vector regional de la zona de Cuenca. Los años marcados con EN corresponden a los siete "Niño" del período de acuerdo con la definición adoptada. La relación entre el ENSO y los totales anuales pluviométricos de este grupo no es significativa.

Para percatarse de la importancia de las anomalías correspondientes a los años "Niño", se calculó las diferencias entre las medias pluviométricas de los años "Niño" y de los años "no-Niño". Se expresó estas anomalías de manera absoluta en milímetros y relativa en porcentajes. En el año 1983 se registraron valores extremos (anomalías anuales superiores en muchos grupos a cuatro y en un caso a diez desviaciones estándar), muy superiores a los observados durante los otros años "Niño". Por otro lado se realizó un primer análisis de los vientos dominantes que demostró que los vientos del año 1983 fueron diferentes a los de los otros años "Niño", de tal manera que se creyó útil determinar las diferencias, incluyendo el año 1983, a la media de los años "Niño", y excluyéndolo en un segundo tiempo. Estos valores se encuentran en las cuarta y quinta columnas de la Tabla 2.

Se terminó este análisis con el cálculo de los coeficientes de correlación lineal entre las componentes anuales de los vectores regionales y la TSM anual del bloque "Niño 1+2" para todo el período, excluyendo el año 1983. Los valores de estos coeficientes de correlación además de ser considerados como un índice del nivel de relación entre los totales pluviométricos anuales y el ENSO, permiten tener una idea de la posibilidad de estimar la precipitación estacional y mensual a partir de las anomalías de la TSM del Pacífico oriental. Estos valores se encuentran en las sexta y séptima columnas de la Tabla 2.

En la Tabla 2, se reportan los números y nombres de cada grupo (Fig. 6), la precipitación media anual, el número de años "Niño" que corresponden a excesos de lluvia, la diferencia entre la media de todos los años "Niño" y la de los años "no-Niño", la diferencia entre la media de los años "Niño" menos el evento de 1983 y la de los años "no-Niño", los coeficientes de correlación entre las componentes anuales de los vectores y la TSM anual del bloque "Niño 1+2" para todo el período, y estos mismos coeficientes sin considerar el año 1983.

Tabla 2 - Análisis de la relación entre el ENSO y los vectores regionales.

Número	Nombre	Número de "Niño" que corresponden a años lluviosos	Precipitación media anual en milímetros de todos los años	Diferencia entre los años "Niño" con 1983 y los años "no-Niño"		Diferencia entre los años "Niño" sin 1983 y los años "no-Niño"		Coef. de correlación entre los vectores y la TSM anual con 1983	Coef. de correlación entre los vectores y la TSM anual sin 1983
1	Sto Domingo	7	2860	1483 mm	59 %	1081 mm	43 %	0.81	0.56
2	Los Ríos	7	2060	1285 mm	73 %	986 mm	56 %	0.74	0.50
3	Guayaquil	7	1414	1360 mm	124 %	1042 mm	95 %	0.80	0.58
4	Colimes	7	1284	1219 mm	122 %	1149 mm	115 %	0.57	0.52
5	El Oro	7	964	1071 mm	150 %	650 mm	91 %	0.83	0.55
6	Esmeraldas	6	1590	812 mm	58 %	714 mm	51 %	0.65	0.50
7	Chone	7	1055	704 mm	79 %	401 mm	45 %	0.79	0.44
8	Portoviejo	6	679	701 mm	136 %	433 mm	84 %	0.74	0.32
9	Manta-Jipijapa	7	388	492 mm	180 %	295 mm	108 %	0.71	0.21
10	Zapotal	7	535	903 mm	391 %	601 mm	165 %	0.72	0.31
11	Pajan	6	1061	662 mm	73 %	480 mm	53 %	0.68	0.36
12	San Lorenzo	4	3840	907 mm	25 %	835 mm	23 %	0.32	0.21
13	San Miguel	4	2596	590 mm	24 %	418 mm	17 %	0.55	0.18
14	Jubones	4	670	110 mm	17 %	52 mm	8 %	0.39	0.06
15	Otavalo	2	1146	-70 mm	-6 %	-151 mm	-13 %	0.01	-0.30
16	Ambato	3	595	12 mm	2 %	6 mm	1 %	0.01	-0.14
17	Cuenca	2	909	-18 mm	-2 %	-46 mm	-5 %	0.09	-0.12
18	Puyo	2	4244	42 mm	1 %	85 mm	2 %	0.04	0.04

El análisis de este cuadro permite dividir al país en cuatro sectores, en función del grado de relación entre el ENSO y las precipitaciones anuales (Fig. 6).

a) Un sector en el cual esta relación es **fuerte**, corresponde a la mayor parte del litoral ecuatoriano (grupos 1 a 11), en donde :

- Todos los "Niño" corresponden a años de lluvia excesiva (Fig. 4), con excepción de un "Niño" en tres grupos para los cuales corresponde a un año de pluviometría media.

- La precipitación media de los años "Niño" es superior a la de los años "no-Niño" por lo menos en un 40%. Se nota que esta diferencia aumenta en porcentaje cuando la precipitación disminuye, y es máximo en el grupo Zapotal del extremo Sur-Oeste que incluye la península de Santa Elena. Pero, esta diferencia es más elevada en términos de cantidad absoluta en los sectores próximos a la Cordillera de los Andes que son más lluviosos que los que son distantes a iguales latitudes.

- El análisis de los coeficientes de correlación entre las componentes anuales de los vectores regionales de cada grupo con la TSM del bloque "Niño 1+2", conduce a subdividir este sector en dos, uno en donde la correlación es significativa (grupos 1 a 6) y otro en donde es menos significativa (grupos 7 a 11). Se estudiará ulteriormente a nivel mensual y con criterios sinópticos el origen de esta diferencia. Se observa por el momento que estos dos sectores están separados por las montañas de Chindul y la Cordillera de Colonche con altitud máxima de 700 msnm.

- Los valores comparativamente bajos de los coeficientes de correlación entre las componentes anuales de los vectores de los grupos de Colimes (4) y Esmeraldas (6) con la TSM del bloque "Niño 1+2" considerando el año 1983, son debidos en gran parte a que no se observó en estos dos grupos precipitaciones excepcionales este año.

- La disminución tanto de las diferencias de las medias, como de los coeficientes de correlación si no se considera el año 1983, ilustra el carácter excepcional de este evento ENSO, los valores extremos de TSM y de precipitación medida este año en la mayor parte del sector mencionado.

b) El sector correspondiente a la parte norte del litoral ecuatoriano (grupos 12 y 13) en el cual la relación es **débil**:

- Los años con excedentes de precipitación tienden a corresponder a años "Niño", pero se establece que no es el único fenómeno que provoca lluvias abundantes en este sector, y además tres "Niño" correspondieron a años de precipitación media.

- Las diferencias entre los años "no-Niño" y "Niño" es del orden del 20 al 25 %.

- Los coeficientes de correlación sin 1983 no son significativos ($R \sim 0.20$).

- La fuerte disminución del coeficiente de correlación cuando no se considera el año 1983 para el grupo de San Miguel (13), ilustra el carácter excepcional de los valores de precipitación registrados este año.

c) El sector en el cual se puede decir que no existe una relación significativa entre los totales pluviométricos y el ENSO, a excepción del evento de 1983 y que coincide con el año de precipitación máxima. Este sector corresponde al grupo Jubones (14), que es una región ubicada a más de 1500 msnm en el lado occidental de la Cordillera de los Andes. Las observaciones hechas para el grupo de San Miguel, en situación semejante pero más al norte

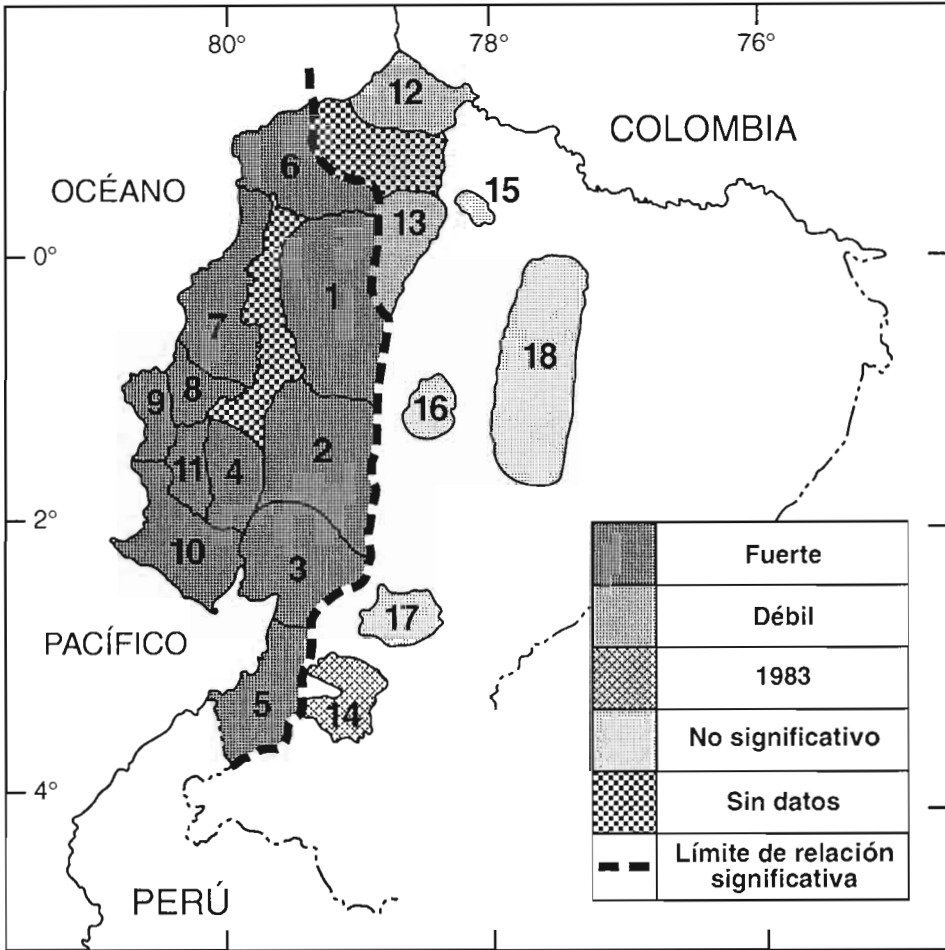


Fig. 6 - Grado de relación entre el ENSO y los totales anuales de precipitación, y límite de relación significativa.

y con altitud menor, permite suponer que este sector se extiende a todas las partes altas de la vertiente occidental de la cordillera. Esta suposición no se pudo verificar por ausencia de información en estas regiones generalmente inhabitadas.

d) Finalmente, el sector correspondiente al callejón interandino y a la vertiente amazónica, en donde la relación es insignificante o aleatoria. Algunos años "Niño" coinciden con años de exceso de lluvia; otros a precipitaciones medias y otros a déficit (Fig. 5). No hay diferencia significativa entre las medias de los años "Niño" y "no-Niño"; los coeficientes de correlación no son significativos, y el año 1983 no presenta un carácter pluviométrico extremo.

En resumen, se puede decir que el ENSO trae como consecuencia sistemática, fuertes precipitaciones en la costa ecuatoriana con excepción de su parte extrema norte, y que los totales pluviométricos de la Sierra y del Oriente no están relacionados con el ENSO a excepción del año 1983, que corresponde al año más lluvioso en las zonas altas de la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes.

El presente estudio permitió determinar el **límite de relación significativa entre el ENSO y las precipitaciones anuales en el Ecuador**, que corresponde aproximadamente al piedemonte occidental de la Cordillera de los Andes al Este, y se sitúa entre los grupos Esmeraldas (6) y San Lorenzo (11) al Norte (Fig. 6). Lamentablemente su posición Norte no está muy bien definida por la ausencia de registros pluviométricos en la zona inhabitada del bosque tropical húmedo existente entre los grupos Esmeraldas y San Lorenzo.

1. 1. 5. ¿Serán previsible las precipitaciones en el Ecuador?

Del estudio anterior, se pudo determinar que en el sector ubicado al Oeste del límite de relación significativa y particularmente en su parte próxima a la Cordillera de los Andes, se podrá estimar las anomalías positivas de las precipitaciones a partir de las de TSM del bloque "Niño 1+2".

1. 1. 5. 1. Relación entre las precipitaciones mensuales y la TSM

Se presentan únicamente los resultados preliminares obtenidos de la estación de Pichilingue, que tiene una serie cronológica continua para el período 1964 a 1993 y que es representativa de la zona de Santo Domingo. En primer lugar, se trabajó con los totales pluviométricos mensuales y la temperatura superficial media mensual del mar del bloque "Niño 1+2".

a) Relación entre los valores mensuales de precipitación y de TSM

El coeficiente de correlación lineal entre la TSM del bloque "Niño 1+2" y los totales mensuales de pluviometría en Pichilingue es elevado ($R = 0,80$) y la pendiente de la recta de regresión significativa, con un gradiente de $80 \text{ mm}/^{\circ}\text{C}$. Se establece que, con temperaturas inferiores a $21,5^{\circ}\text{C}$ no se producen precipitaciones en Pichilingue. Si se consideran únicamente los meses con TSM superior a $21,5^{\circ}\text{C}$ se constata que la gradiente de la recta de regresión aumenta sustancialmente para alcanzar $100 \text{ mm}/^{\circ}\text{C}$ ($R = 0,81$). Aunque estos ajustes sean relativamente buenos, parece que un ajuste polinomial debería representar mejor la relación. La Fig. 7 presenta un ajuste polinomial de segundo orden entre las dos variables, que refleja mucho mejor la relación existente.

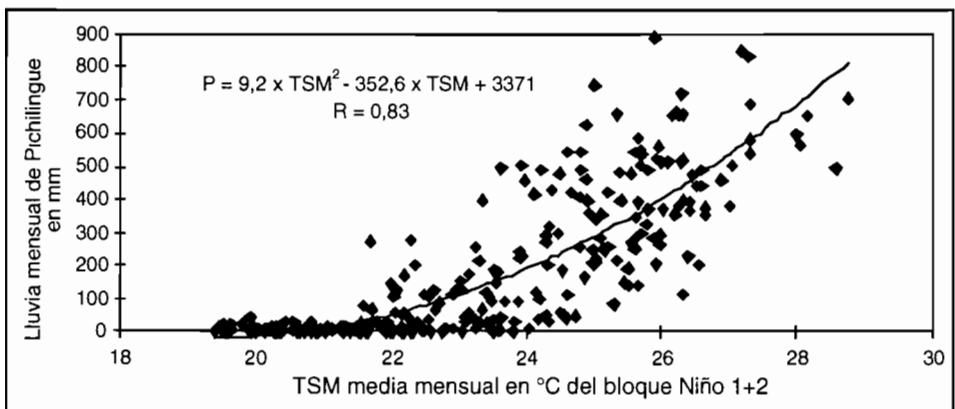


Fig. 7 - Correlación polinomial entre la TSM del bloque "Niño 1+2" y la lluvia de Pichilingue.

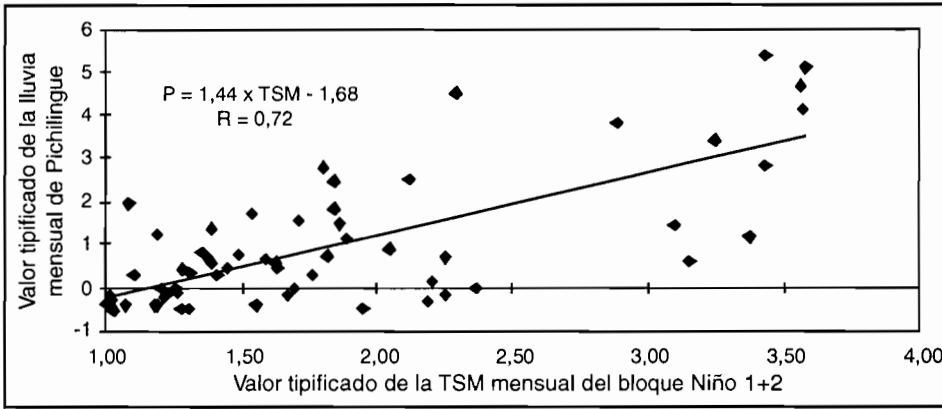


Fig.8 - Correlación entre las anomalías mensuales de TSM del bloque “Niño 1+2” y las anomalías de lluvia de Pichilingue, considerando sólo los meses con anomalía superior a una desviación estándar de TSM.

b) Relación entre los valores mensuales tipificados de precipitación y de TSM

De la misma manera, si se consideran solamente las anomalías de TSM superior a una desviación estándar (Fig. 8), se observa una clara alza de las anomalías de precipitación con las de temperatura del mar.

Estos dos primeros gráficos permiten observar que los totales pluviométricos mensuales están relacionados con la temperatura del mar a lo largo de las costas ecuatorianas y peruanas.

1. 1. 5. 2. Tentativa de previsión

Ahora se analizan las posibilidades de prever las anomalías de precipitación mediante las anomalías de TSM. La relación entre las anomalías de TSM con las de lluvia del mes siguiente es significativa (Fig. 9 : R = 0,67 y gradiente = 1,43), y algo muy importante a

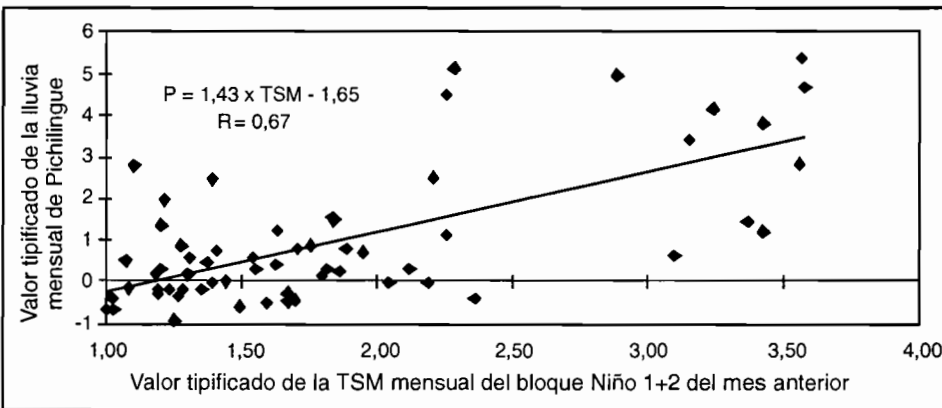


Fig. 9 - Correlación entre las anomalías de lluvia de Pichilingue y las anomalías de TSM del bloque “Niño 1+2” del mes anterior, considerando sólo los meses con anomalía superior a una desviación estándar de TSM (tentativa de previsión).

considerar es que la ecuación de la recta de regresión es casi la misma, lo que permite estimar una probabilidad de ocurrencia de las anomalías de lluvia mensual de Pichilingue a partir de las anomalías de TSM del bloque "Niño 1+2" del mes anterior.

Este primer estudio realizado solamente con valores de la TSM del bloque "Niño 1+2" y los totales pluviométricos mensuales de la estación Pichilingue, indica que las anomalías positivas de la TSM pueden ser consideradas como un indicador de probable abundancia de precipitaciones en el mes siguiente.

Se espera llegar a estimaciones más significativas y tal vez con algunos meses de anticipación utilizando los resultados de los modelos de circulación atmosférica y oceanográfica de los grandes proyectos internacionales, y por otra parte considerando otros parámetros explicativos, como las componentes zonales y meridionales del viento del Pacífico Tropical Oriental, los totales pluviométricos del período anterior, como lo hizo Hastenrath (1990) en el Noreste brasileño, todo esto asociado a un análisis de la situación sinóptica regional.

1. 1. 6. *Conclusión*

Se dividió al sector costero del país en zonas pluviométricas homogéneas, en las que las variaciones interanuales son pseudo-proporcionales. Esto permitió definir en el litoral del Ecuador dos sectores, según la influencia del ENSO en los totales pluviométricos.

Se determinó el límite de relación significativa entre el ENSO y las precipitaciones en el Ecuador, el mismo que corresponde a las estribaciones de la Cordillera de los Andes al Este y se sitúa al Norte entre Esmeraldas y San Lorenzo.

Se demostró, para una estación meteorológica representativa de una región de la costa ecuatoriana, que las precipitaciones mensuales están relacionadas con la temperatura superficial del Pacífico oriental, y se puede afirmar que cuando la TSM del bloque "Niño 1+2" es elevada, la probabilidad de observar en el mes siguiente valores anormalmente elevados de precipitaciones es alta.

Siguiendo este análisis preliminar, se podrá estimar con uno o varios meses de anticipación, la probabilidad de tener excesos de lluvia que originarán las inundaciones que afectarán al litoral ecuatoriano.

2. OBRAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES Y PROYECTADAS EN LA CUENCA DEL RÍO GUAYAS

En la primera parte se determinó que existe una marcada influencia del fenómeno ENSO en el litoral ecuatoriano en general y de manera especial en la cuenca del río Guayas, que corresponde en su mayor parte a los grupos pluviométricos más relacionados con el ENSO que son "Santo Domingo", "Los Ríos", "Guayaquil" y "Colimes" (nº1, 2, 3 y 4 de la Fig. 6). Esta marcada influencia ha obligado al gobierno a tomar medidas precautelatorias ante posibles eventos hidrometeorológicos que provocan inundaciones en esta importante zona de desarrollo económico del país, mediante la planificación, diseño y construcción de obras de infraestructura para la protección contra las inundaciones.

2. 1. Descripción de la cuenca del río Guayas

La Cuenca del río Guayas con una superficie de 31.500 km², está situada al centro-oeste del país (Fig. 1). Corresponde al 13% del territorio ecuatoriano, y en ella se concentra el 40% de la población total del país.

El río Guayas está conformado por cuatro grandes tributarios que escurren de Norte a Sur y de Este a Oeste que confluyen al norte de la ciudad de Guayaquil para formar el río Guayas (Fig. 10). Al Oeste, se encuentra el río Daule, de 12.000 km², cuya cuenca está enteramente situada en la zona costera baja. Al centro, el río Quevedo-Vinces, de 6.400 km², con una parte de su cuenca situada en las estribaciones de la cordillera. Más al Este, el río Babahoyo de 7.800 km² con gran parte de la cuenca originada en la Sierra, y al extremo Sureste, los ríos Chimbo y Bulubulu con un área total de 5.200 km². La cuenca del río Chimbo proviene en gran parte de la región interandina.

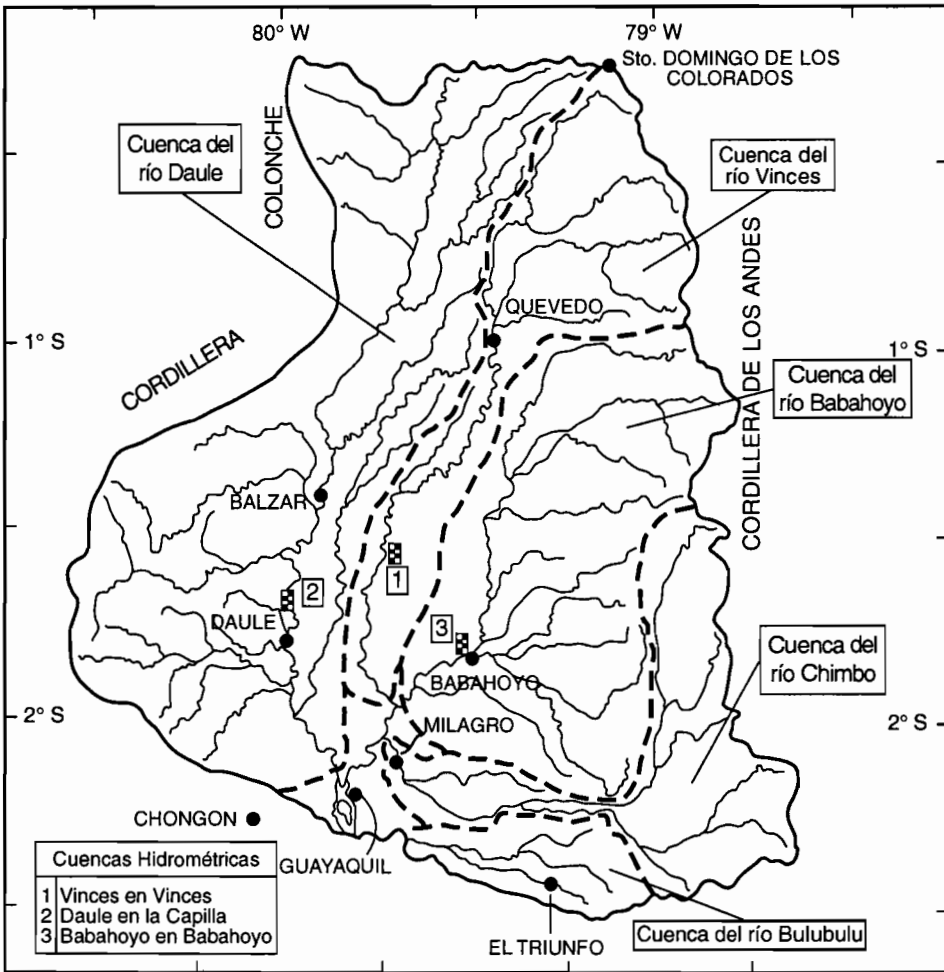


Fig. 10 - Plano base de la cuenca del río Guayas.

El potencial agrícola del río Guayas es actualmente el mayor del Ecuador, tanto en cultivos de subsistencia como en cultivos destinados a la exportación, existiendo más de 300.000 ha fácilmente irrigables, además de la crianza de ganado, etcétera. Entre las principales actividades agrícolas cabe citar algunas destinadas principalmente a la exportación del banano, arroz, café, cacao, y la crianza de camarones, además de otras más tradicionales como la yuca, las hortalizas y los frutales. El agua destinada al riego, constituye el 95% del requerimiento global del Guayas.

Su pluviometría media anual varía de Norte a Sur y de Este a Oeste, de 3.000 mm en el límite Noreste, en Santo Domingo de los Colorados, disminuyendo a 2.200 mm en Quevedo, a 1.200 mm a la altura de las ciudades de Babahoyo y Daule, a 1.000 mm en Guayaquil y a 750 mm en Chongón al extremo Suroeste.

La distribución de los totales anuales es sumamente irregular, sus coeficientes de variación son superiores a 0,40. Como se demostró anteriormente una gran parte de esta irregularidad se debe al fenómeno ENSO, debiéndose resaltar que "El Niño" extraordinariamente fuerte de 1983 quedó grabado en la memoria por la gravedad de los daños ocasionados por las aguas. También la distribución estacional de las precipitaciones es bastante irregular, así el 85% del total de la lluvia se concentra durante los cuatro primeros meses del año.

Como consecuencia, todos estos factores provocan una extrema irregularidad de los caudales en los ríos. Desgraciadamente las situaciones extremas como el exceso de agua (inundaciones) o la falta de la misma (sequías), constituyen la situación más frecuente, de tal manera que ciudades como Vinces, Babahoyo, Quevedo, o Balzar y las zonas agrícolas de este sector son periódicamente azotadas por inundaciones que implican pérdidas económicas severas.

2. 2. ¿Cuáles son las obras de protección existentes o previstas?

Se describen a continuación las obras de protección contra las crecidas existentes y proyectadas en la cuenca del río Guayas (Fig. 11). Esta es la mayor cuenca de los ríos costeros en donde se concentran la mayoría de las obras de protección contra las inundaciones.

La CEDEGE es la entidad encargada de la planificación y ejecución de obras de interés general para esta cuenca y en particular de las obras de regulación y protección contra las crecidas.

2. 2. 1. Planificación de instalación de presas

La CEDEGE (1984) tenía elaborado un plan hidráulico a largo plazo que contempla 20 sitios de posibles presas de almacenamiento para la protección de crecidas e irrigación, 2 transvases, 2 derivaciones y 3 proyectos locales de aprovechamiento y conservación. Los volúmenes de estas veinte presas están resumidos en la Tabla 3.

Después de la construcción de estas presas, los caudales de crecida natural (Tabla 4) serían reducidos de acuerdo a las Tablas 5 y 6.

Según la CEDEGE (1984), las presas previstas permitirán una protección contra las inundaciones para un período de retorno de 30 años en la cuenca del río Daule, de 25 años en la cuenca del río Vinces, pero solamente de 5 años en la cuenca del río Babahoyo, que continuará sometida a inundaciones frecuentes. Las presas no resultaron una solución factible para las cuencas de los ríos Chimbo, Bulubulu y Cañar por lo cual fue necesario proyectar un sistema de evacuación de las crecidas por canales de grandes dimensiones llamados "By-Pass".

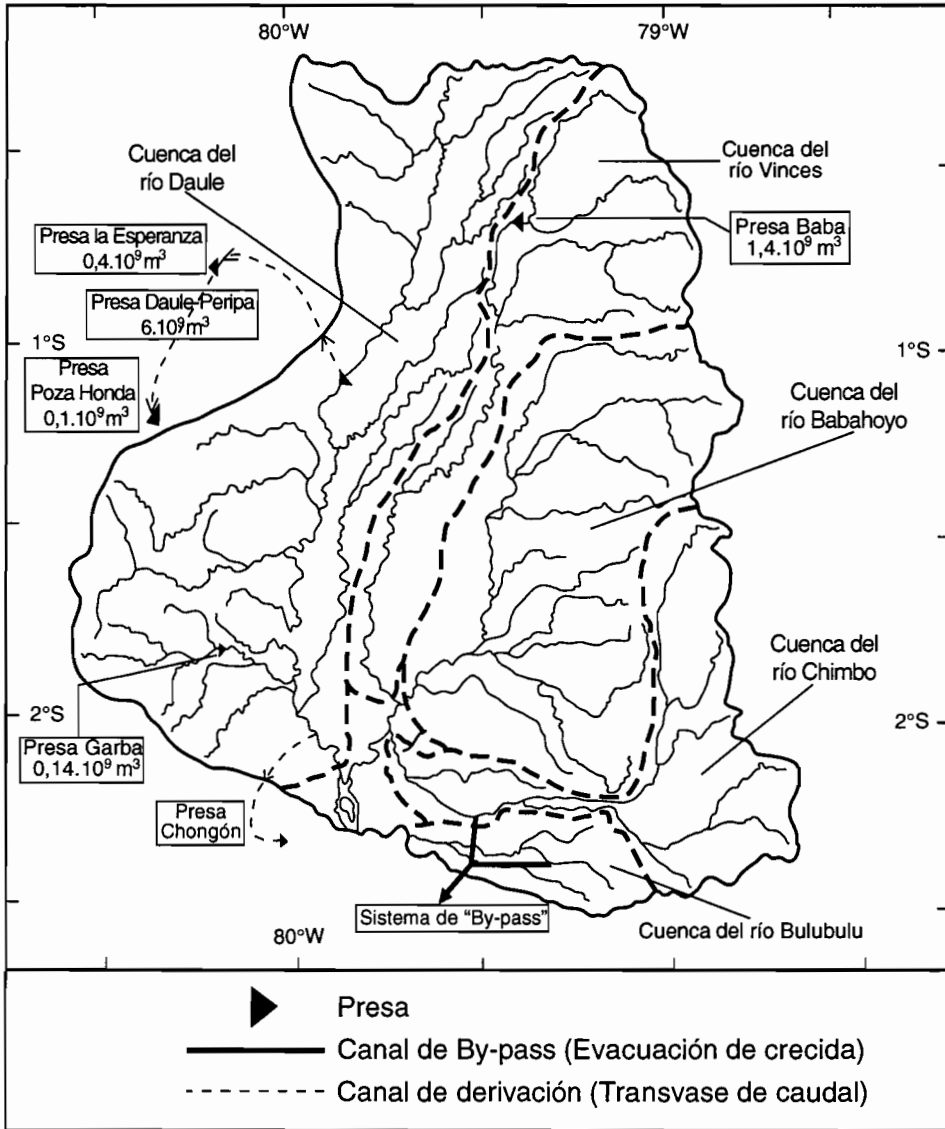


Fig. 11 - Ubicación de las principales obras de protección contra las inundaciones.

2. 2. 2. La presa Daule-Peripa

Se trata de la principal presa de aprovechamiento múltiple de la cuenca del Guayas. Controla una cuenca de 4.500 km², es decir aproximadamente el 40 % de la superficie total de la cuenca del río Daule. Su volumen de 6.10⁹ m³ es superior al escurrimiento medio anual de su cuenca, estimado en 5,3.10⁹ m³.

El lago formado tiene una superficie de 270 km², la presa alcanza una altura de 78 m sobre el lecho del río y una longitud de corona de 250 m., 21 km de dique permiten cerrar el

Tabla 3 - Superficies de las subcuencas y volúmenes de almacenamiento (CEDEGE, 1984).

Sub - Cuenca	Superficie (km ²)	Capacidad de almacenamiento inventariada (10 ⁶ m ³)
Vinces	6.419	3.237
Daule	12.058	7.345
Babahoyo	7.828	1.342
Chimbo-Bulubulu	5.200	0
Total	31.500	11.924

Tabla 4 - Caudales máximos (m³/s) sin obras de regulación (CEDEGE, 1984).

Estación	Período de retorno (años)		
	2	10	50
Daule en la Capilla	1.800	2.600	3.500
Vinces	852	1.135	1.331
Babahoyo	1.624	2.202	2.709

Tabla 5 - Caudales máximos (m³/s) con la primera etapa del plan de regulación, después de la construcción de las siete presas más importantes (CEDEGE, 1984).

Estación	Período de retorno (años)		
	2	10	50
Daule en la Capilla	460	1.430	2.675
Vinces	383	561	668
Babahoyo	1.222	1.620	1.919

Tabla 6 - Caudales máximos (m³/s) con la segunda etapa del plan de regulación, después de la construcción de las veinte presas (CEDEGE, 1984).

Estación	Período de retorno (años)		
	2	10	50
Daule en la Capilla	278	1.073	1.896
Vinces	340	499	594
Babahoyo	1.025	1.358	1.610

lago en las partes más bajas de la divisoria de aguas. Tiene tres compuertas principales diseñadas para evacuar un caudal de crecida de 3.600 m³/s y otro vertedero de emergencia que puede evacuar 800 m³/s suplementarios.

El costo total de la obra está valuado en 1.200 millones de dólares. Está construida y en funcionamiento, faltando la realización de etapas complementarias. Esta presa de aprovechamiento múltiple permitirá :

- a) La irrigación de 50.000 ha en la cuenca baja del río Daule.

b) El transvase de agua para otras presas como las de Poza Honda, La Esperanza o Chongón, situadas fuera de la cuenca del río Guayas en zonas del litoral con déficit de agua permanente.

c) La generación de energía hidroeléctrica a través de una planta de 130 MW o más, diseñada para generar 500 millones de kw.h por año.

d) La presa Daule-Peripa fue diseñada para proteger el valle aguas abajo para una crecida de 30 años de período de retorno, reduciendo el caudal de dicha crecida de 3.200 m³/s a 1.600 m³/s. Este caudal de crecida regularizada de 1.600 m³/s corresponde a la crecida natural que ocurre en promedio cada dos años.

2. 2. 2. 1. Limitación de la protección contra las crecidas de la presa Daule-Peripa

La presa Daule-Peripa constituye sin duda alguna un progreso esencial para la protección de la cuenca baja del Daule contra las inundaciones. Sin embargo es claro que en caso de surgimiento de períodos lluviosos de frecuencia mayor, como fue el caso del invierno catastrófico de 1983, la presa "Daule-Peripa" se llenará en las primeras crecidas, no pudiendo almacenar las crecidas posteriores y su papel se limitará a la reducción provocada por la laminación del pico en el lago.

Sería necesario acoplar al sistema de manejo de esta presa una red hidrometeorológica de alerta que permitirá conocer anticipadamente cuando sea necesario vaciar preventivamente la presa, en el caso que se pronostique la llegada de una crecida muy fuerte. Además, la presa "Daule-Peripa" sólo controla la mitad de la superficie de la cuenca del río Daule y no podrá proteger las zonas inundables situadas cerca de la parte inferior de su curso contra las crecidas originadas en esta misma zona inferior o en el occidente de la cuenca.

2. 2. 3. El sistema de "By-pass" al sur de la cuenca del río Guayas

En el Sur de la cuenca del río Guayas existe una convergencia de varios ríos grandes que fluyen paralelamente de Este a Oeste, a pocos kilómetros uno del otro, cuyas aguas proceden de cuencas importantes, principalmente ubicadas en la Sierra. Se trata de los ríos Chimbo (2.300 km²), Chanchán (1.400 km²) a uno o dos kilómetros al Sur y el río Bulubulu (700 km²), 10 kilómetros más al Sur (Fig. 11). La convergencia de todas estas aguas, a poca distancia, provocan inundaciones frecuentes en estas zonas planas, donde la pluviometría local fluctúa alrededor de los 2.000 y 2.500 mm anuales, tendiendo a agravar la situación.

Esta zona, con una densidad de población relativamente elevada, está azotada por inundaciones frecuentes, y sería muy oneroso construir aquí diques generales de contención o embalses de regulación de tamaño suficiente para proporcionar una protección eficaz. Por estos motivos, la solución encontrada fue la construcción de canales de evacuación de crecidas hacia el océano, diseñados con un período de retorno de 50 años, complementados por un sistema de diques locales de contención y de obras de drenaje, conforme se indica en la Fig. 12.

La primera etapa de este sistema de canales llamado "By-pass" está en fase de construcción y próximamente entrará en operación. Esta red de canales fue creada para evitar que los ríos Chimbo, Bulubulu y Boliche lleguen a niveles de desbordamiento. Para esto se proyectó un esquema hidráulico relativamente complejo, donde los canales recuperan los excesos de agua para desfogar en los esteros cercanos al mar o en la parte inferior del curso de agua del río Bulubulu, llamado Boliche.

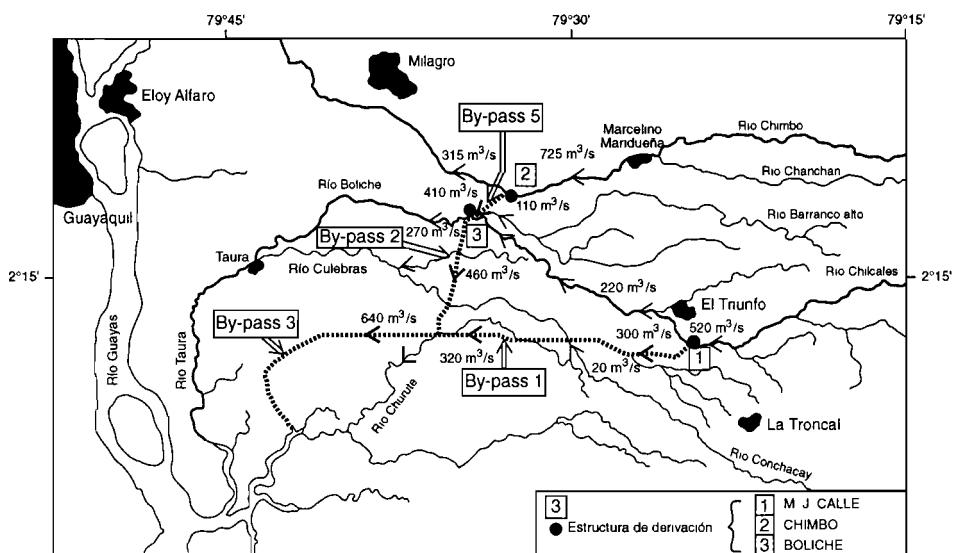


Fig. 12 - Descargas derivadas por los diferentes "By-pass" (CEDEGE, 1995).

Esta obra ambiciosa de carácter regional tiene como objetivo proteger o disminuir el impacto de las crecidas para una zona de casi 10.000 km². El sistema de control de crecidas está basado en cuatro tramos de "By-pass" (tramo 1, 2, 3 y 5) de una longitud total de más de 60 km con canales de ancho variable entre 40 y 120 m, capaces de evacuar caudales de 300 a 640 m³/s.

Se construirán también todas las obras auxiliares como las estructuras de derivación, los sifones invertidos para permitir tanto el cruzamiento de los canales con los ríos así como los puentes para dejar pasar las carreteras, entre otros. A más de esto se profundizarán y encauzarán los cauces más críticos con diques, en los ríos Boliche, Chimbo y Bulubulu, para aumentar su capacidad de evacuación y se protegerá con diques ciudades como el Trunfo, Milagro, etcétera.

2. 3. Protección proporcionada por las obras actuales y proyectadas

La presa Daule-Peripa, que controla la mitad de la cuenca del río Daule, desde su construcción, poco después de las inundaciones catastróficas de 1983, ha proporcionado una protección eficaz contra las crecidas en toda la parte baja de la indicada subcuenca, además de proveer de la suficiente cantidad de agua en los estiajes, permitiendo de esta manera el desarrollo de la irrigación en esta misma subcuenca. Sin embargo, se conoce que la protección ofrecida no puede ser total por no poder controlar las crecidas generadas en la cuenca baja y occidental, pudiendo llenarse completamente en caso de lluvias y escurrimientos extremadamente fuertes como los que se observaron durante "El Niño" de 1983. Aún faltan construirse obras para los demás aprovechamientos previstos, como la producción hidroeléctrica y el transvase de agua hasta la Península de Santa Elena y Manabí, actividades que están siendo implementadas paulatinamente.

El sistema de "By-pass" de la parte Sur de la cuenca del río Guayas, en las subcuencas de los ríos Bulubulu y Chimbo, podrá resolver o por lo menos disminuir los problemas causados por las crecidas originadas en las zonas altas de los referidos ríos, situadas en la Cordillera de los Andes, hasta un período de retorno de cincuenta años.

Quedará evidentemente el problema de las crecidas generadas localmente en los pequeños ríos de esta región sin relieve y sometidos a abundantes lluvias. Para solucionar este problema, como se observa en la Fig. 11, actualmente están siendo proyectadas otras presas, entre ellas la presa Baba con un volumen de $1,4 \cdot 10^9 \text{ m}^3$, situada en la cuenca alta del río Quevedo y la presa Garba con un volumen inferior a $0,14 \cdot 10^9 \text{ m}^3$, situada en un afluente de la margen derecha del curso inferior del río Daule.

El resto de la cuenca del río Guayas está actualmente desprovisto de obras importantes de protección contra las crecidas y la población tiene que convivir con este problema. Las casas de las zonas inundables son construidas sobre columnas, utilizando diques y sobre elevaciones del suelo para poner a salvo el ganado y los bienes. Se utilizan canoas para suplir las deficiencias de las carreteras inundadas.

3. CONCLUSIÓN GENERAL

La zona costera ecuatoriana y principalmente la cuenca baja del río Guayas están frecuentemente sometidas a inundaciones que pueden tener consecuencias devastadoras, agravadas por impactos humanos como la deforestación y erosión en las cabeceras de los ríos, taponamiento de esteros y drenajes naturales, construcción de carreteras, diques, insuficiencia del alcantarillado, etcétera. El mayor riesgo, como consecuencia de las inundaciones, se produce en las actividades productivas que se desarrollan en los valles aluviales o planicies inundables, especialmente en cultivos como el banano, arroz, caña de azúcar, cultivos de ciclo corto y actualmente en la industria camaronera. En año de extraordinaria pluviosidad, las inundaciones pueden provocar la pérdida de vidas humanas.

Desde siglos atrás, el hombre encontró soluciones para mitigar el efecto de los desbordamientos de los ríos. En la cuenca del río Guayas, desde los años sesenta la CEDEGE y otras instituciones del gobierno central, regional o seccional, realizan estudios y construyen obras de protección, tales como embalses de regulación, diques, rellenos de ríos, dragados y canales de derivación. Siendo necesario continuar los esfuerzos de la CEDEGE cumpliendo con las etapas y obras previstas en su plan hidráulico, con miras a ampliarlo a la totalidad del sector costero, la intervención del sector privado, principal beneficiario de estas obras, debería ser fundamental. Sin embargo, deberán tomarse en cuenta las limitaciones de estas obras hidráulicas como los problemas de operación, altos costos e impactos ambientales adversos, por lo que previo a su construcción deberá demostrarse su sostenibilidad a largo plazo.

Pero también existen otras alternativas de solución, no estructurales, que pueden implementarse complementariamente, como la previsión del tiempo a mediano plazo mediante el análisis de la relación existente entre las precipitaciones y parámetros climáticos, tales como la temperatura superficial del Pacífico Oriental (bloque "Niño 1+2") relacionadas con el fenómeno ENSO, lo que permitirá estimar en términos de probabilidad las cantidades de lluvia en los meses venideros, así como de mejorar el manejo de las obras de regulación o control y aumentar la protección proporcionada por éstas.

Referencias citadas

- BJERKNES, J.H., 1969 - Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific. *Monthly Weather Review*, 97: 163-172.
- BRUNET-MORET, Y., 1979 - Homogénéisation des précipitations. *Cahiers ORSTOM, Sér. Hydrol.*, 16(3-4) : 147-170.
- CEDEGE, 1984 - Informe de labores de marzo de 1982 a julio de 1984. *CEDEGE*: 54p.
- CEDEGE, 1995 - Resumen de las características técnicas de las obras de control de inundaciones de la cuenca baja del río Guayas. *CEDEGE*: 110p.
- CEOS, 1994 - COADS on CD-ROM, volume 5: Eastern Pacific, a product from the Climate and Eastern Ocean Systems (CEOS) program. *ORSTOM-NOAA*.
- CEPAL, 1983 - Los desastres naturales de 1982-83 en Bolivia, Ecuador y Perú. *Naciones Unidas*: 227 p.
- HASTENRATH, S., 1990 - Prediction of Northeast Brazil rainfall anomalies. *Journal of Climate*, 3: 893-904.
- LE GOULVEN, P. & ALEMAN, M., 1991 - Logiciel CLIMAN (Climatic Monthly Analysis) de traitement des données contenues dans la banque hydroclimatique BHIME. *ORSTOM. Communication personnelle*, 14p.
- NOUVELOT, J.F. & POURRUT, P., 1984 - El Niño. Phénomène océanique et atmosphérique. Importance en 1982-1983 et impact sur le littoral équatorien. *Cahiers ORSTOM, Série Hydrologie*, 21(1) : 39-65.
- NOUVELOT, J.F. & POURRUT, P., 1994 - Anomalies et phénomènes climatiques extrêmes. in: *L'eau en Equateur. Principaux acquis en hydroclimatologie* (P. Pourrut, ORSTOM Editions) : 87-98 ; ORSTOM.
- QUINN, W. H., NEAL, V.T. & ANTÚNEZ DE MAYOLO, S.E., 1987 - El Niño occurrences over the past four and half centuries. *Journal of Geophysics Res.*, 92: 14449-14461.
- RASMUSSEN, E.M. & WALLACE, J.M., 1983 - Meteorological aspects of the El Niño / Southern Oscillation. *Science*, 222: 1195-1202.
- ROSSEL, F., SEMIOND, H. & CLAIRET, S., 1995 - Régionalisation de la pluviométrie annuelle de l'Equateur pour l'étude de l'impact de l'ENSO sur les régimes pluviométriques. *ORSTOM - INAMHI*, 56p.
- WYRTKI, K., 1975 - El Niño: the dynamic response of the equatorial Pacific ocean to atmospheric forcing. *J. Phys. Oceanogr.*, 5: 572-584.

1996

Tome 25
N° 3

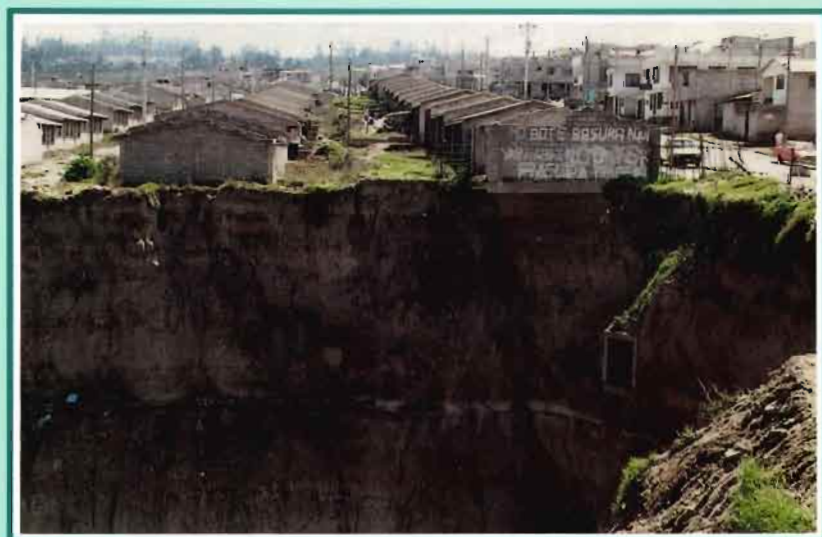
LIMA - PÉROU

BULLETIN

de l'INSTITUT FRANÇAIS
d'ÉTUDES ANDINES

LES RISQUES NATURELS ET LEUR GESTION EN ÉQUATEUR

DIVERSITÉ DES EXEMPLES
COMPLÉMENTARITÉ DES
APPROCHES



Sous la direction de
Robert d'Ercole



IFEA

CRSTOM



ISSN 0303 - 7495

**BULLETIN
DE L'INSTITUT FRANÇAIS
D'ÉTUDES ANDINES**

1996, Tome 25, N° 3

Directeur : Georges Pratlong
Responsable de l'édition : Anne-Marie Brougère

Toute correspondance concernant la revue doit être adressée à :

Institut Français d'Études Andines - Éditions
Casilla 18-1217 - Lima 18 - Pérou
Tél: 51-1 447 60 70
Fax: 51-1 445 76 50
Courrier Électronique : abrouger@ifea.org.pe

Composition:
Anne-Marie Brougère
Juan Carlos Tello

Maquette de la couverture:
Alain Dagand

Impression:
Editorial Gráfica Pacific Press S.A.
Los Negocios, 219
Surquillo
Lima - Pérou

Photo de la couverture :

Urbanización Carapungo, dans le nord de Quito, menacée par l'érosion début 1994. Exemple d'un aménagement mal conçu par rapport au site : le lotissement, coordonné par le *Banco de Vivienda* au début des années 90, a été construit en bordure d'une grande *quebrada*, profonde de 60 à 80 mètres environ. Le collecteur d'eaux pluviales de l'ensemble de l'urbanisation, visible sur la droite du cliché et déversant en cascade dans des cendres volcaniques (la *cangahua*), a concentré le ruissellement, causant ainsi l'érosion régressive du talus sur une dizaine de mètres environ. Malgré la déviation du collecteur vers une autre sortie, le recul du talus s'est poursuivi depuis.

(Cliché Bernard Lortic, ORSTOM)