REPUBLICA DEL ECUADOR

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS

INAMHI

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA
E HIDROLOGIA

ORSTOM

INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE
POUR LE DÉVELOPPEMENT EN COOPÉRATION

inseq

inundaciones y
sequias

COOPERACION
FRANCO-ECUATORIANA

I N A M H I
INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA
DIVISION DE HIDROLOGIA
PROYECTO INSEQ

O R S T O M
INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE
POUR LE DÉVELOPPEMENT EN COOPÉRATION

LAS INUNDACIONES EN LA ZONA COSTERA ECUATORIANA: MECANISMOS RESPONSABLES, OBRAS DE PROTECCION EXISTENTES Y PREVISTAS

-Serie INSEQ N° 5-

INAMHI Gustavo GOMEZ

Eric CADIER
Frédéric ROSSEL **ORSTOM**
Hubert SEMIOND

inseq
inundaciones y sequías
COOPERACION FRANCO-ECUATORIANA

Junio de 1996

PRESENTACION

En el marco del Proyecto de Inundaciones y Sequías en el Ecuador, uno de los objetivos fundamentales es la investigación de la influencia del fenómeno ENSO en los regímenes pluviométricos y el escurrimiento en las zonas continentales del país.

La Zona Costera Ecuatoriana ha sido una de las más afectadas y en ella la Cuenca del Río Guayas, el sistema hidrográfico más importante en el campo del desarrollo agrícola y agroindustrial del país, que durante los inviernos normales y extraordinarios está sujeta a inundaciones que han provocado cuantiosas pérdidas económicas y secuelas sociales negativas.

El presente trabajo, Las Inundaciones en la Zona Costera Ecuatoriana: Causas, Obras de Protección Existentes y Previstas, dividido en dos temas relativos a lo expresado anteriormente trata, en una primera parte, sobre la posibilidad de prevenir el fenómeno ENSO en base a la relación pluviometría-temperatura de la superficie del mar, mediante una metodología que establece la representatividad regional de los puestos de observación pluviométrica, que el INAMHI y otras instituciones del sector operan en la zona. Una segunda parte de esta publicación expone las principales obras hidráulicas de regulación y de protección que se están desarrollando, bajo la responsabilidad de la CEDEGE, que es el organismo de desarrollo regional encargado del manejo integral de esta cuenca, es decir, donde se aplicarán en general los resultados del Proyecto INSEQ en forma piloto, para la correcta operación de estas grandes obras.

Ing. Galo Cisneros F.
Director Ejecutivo del INAMHI

INDICE

1. INTRODUCCION 3

2. EL "NIÑO" Y LAS ABUNDANTES LLUVIAS EN EL ECUADOR 3

2.1 ¿QUE ES EL "NIÑO"? 5

2.2 EN EL ECUADOR, ¿COMO SE PRESESTA ESTE FENOMENO? 5

2.3 ¿CUALES SON LOS AÑOS "NIÑO"? 6

2.4 ¿CUAL ES LA INFLUENCIA DEL ENSO EN LOS REGIMENES PLUVIOMETRICOS DE LA ZONA COSTERA ECUATORIANA? 7

2.5 ¿SERAN PREVISIBLESLAS PRECIPITACIONES EN EL ECUADOR? 12

2.5.1 Relación entre las precipitaciones mensuales y la TSM 12

2.5.2 Tentativa de previsión 13

2.6 CONCLUSION 14

3. OBRAS DE PROTECCION EXISTENTES Y PROYECTADAS EN LA CUENCA DEL RIO GUAYAS 15

3.1 DESCRIPCION DE LA CUENCA DEL RIO GUAYAS 15

3.2 ¿CUALES SON LAS OBRAS DE PROTECCION EXISTENTES O PREVISTAS? 16

3.2.1 Planificación de instalación de presas 17

3.2.2 La presa Daule-Peripa 19

3.2.3 El sistema de "By-pass" al sur de la cuenca del río Guayas 19

3.3 PROTECCION PROPORCIONADA POR LAS OBRAS ACTUALES Y PROYECTADAS 21

4. CONCLUSION GENERAL 22

5. REFERENCIAS CITADAS 23

LAS INUNDACIONES EN LA ZONA COSTERA ECUATORIANA: CAUSAS, OBRAS DE PROTECCION EXISTENTES Y PREVISTAS

Frédéric ROSSEL [1], Eric CADIER [1], Gustavo GOMEZ [2]

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

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

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 mal drenaje de las grandes llanuras costeras.

En la primera parte, a partir de una regionalización y zonificación de la pluviometría se evalua 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, cuales 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 consideró 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 trata de evaluar sus funcionamientos y de evidenciar la efectividad de la protección proporcionada por estas obras.

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

LES INONDATIONS DANS LA ZONE COTIERE EQUATORIENNE: CAUSES, OUVRAGES DE PROTECTION EXISTANTS ET PREVUS

Résumé

L'impact des anomalies climatiques de type ENSO (El "Niño"/ Southern Oscillation) est particulièrement important dans la zone côtière de l'Equateur. 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 Equateur 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.

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'Equateur 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 Comission 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 clefs: Inondations, ouvrages de protection, gestion de bassins versants, systèmes d'alerte, prévisions, ENSO.

FLOODS IN THE ECUADORIAN COASTAL AREA: RESPONSABLE PATERNS, EXISTING AND PLANNED PROTECTION WORKS

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. It happened so in Ecuador and in the north of Perou in the 1983 rainy season which caused the death of at least 600 inhabitants and material losses estimated at 650 millions dollars. These countries took many years to repair the infrastructure damages. These floods are aggravated by low relief and bad drainage of this coastal wide plains.

In the first part, starting from to a rain regionalization and zonification we evaluate the correlation between ENSO and rain in the Ecuadorian littoral and we determine the most affected area. Later, we analyse the forecasting possibilities of monthly rain with one or several months of anticipation with the anomalies of the orient Pacific surface temperature.

In the second part, we have studied 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 try to evaluate the functioning and efficiency of the protection offered by these works.

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

1. INTRODUCCION

La distribución de la precipitación y el escurrimiento 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 8 meses faltantes. 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 m^3/s en crecida a menos de 12 m^3/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 y Pourrut 1984) que las oscilaciones climáticas debidas al fenómeno ENSO son responsables de una gran parte de esta irregularidad interanual.

Esta irregularidad es consecuente de sequías muy frecuentes, al igual que las 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 se 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, etc.)
- 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 poblaciones y permitir un mejor manejo de las obras de contención y regulación.

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

INTRODUCCION

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 las cuales se intenta contestar.

Antes de contestar a todas estas preguntas, se define 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 (Figura 1) con sus respectivos coeficientes de variación, que se explican más adelante.

Estación	Años "no-Niño"	Años "Niño" menos 1983	Año 1983	Media del periodo 1964-93	Coeficiente 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

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

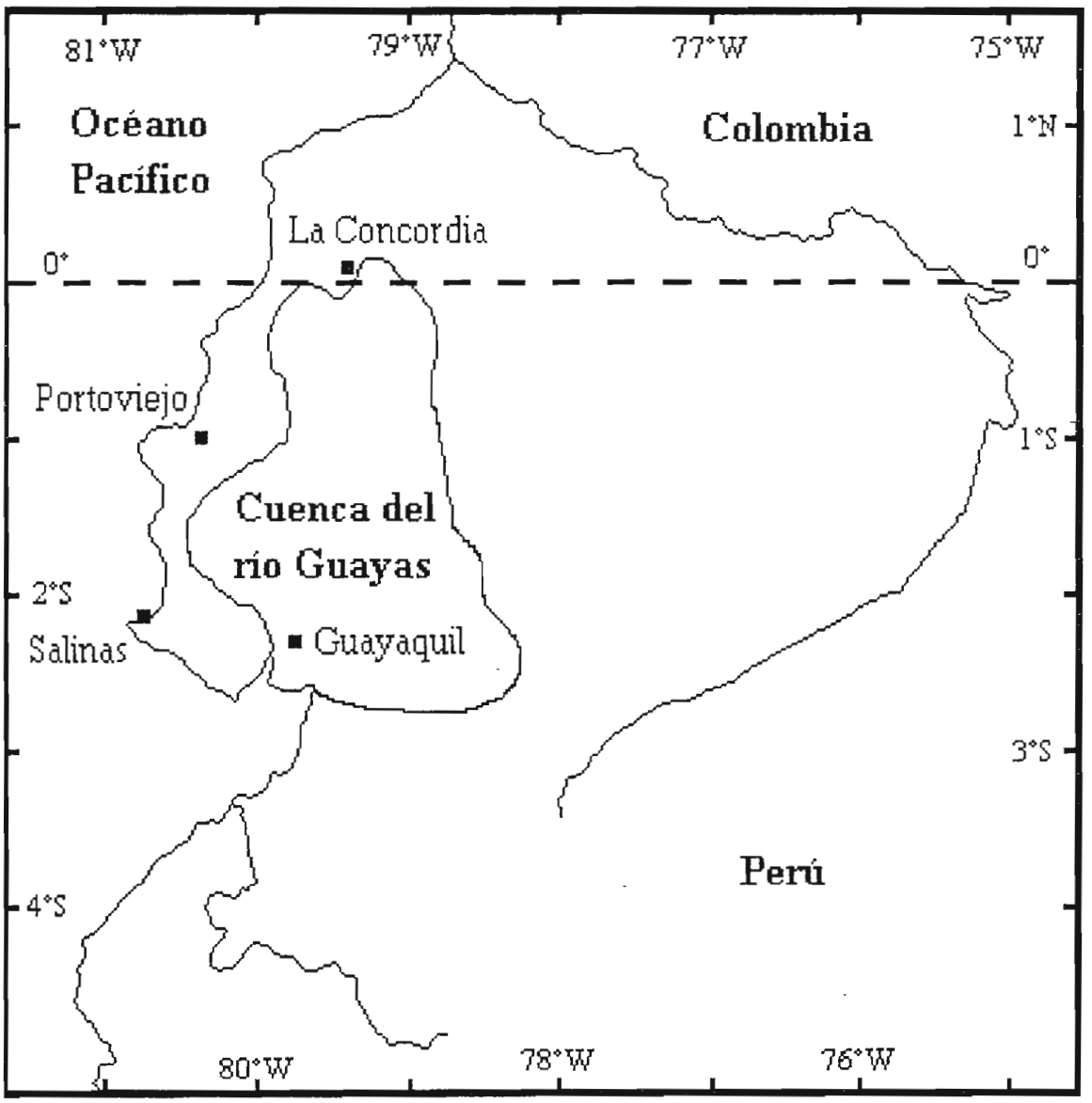

Figura 1: Mapa de ubicación de la cuenca del río Guayas y de las ciudades citadas.

2.1 ¿QUE ES EL "NIÑO"?

Fueron los pescadores sur-americanos 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 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 océanicas y lluvias más abundantes. Hoy en día, el término "El Niño" no se refiere a la situación observada anualmente, sino que se reserva a los eventos anómalos y positivos.

Inicialmente, se pensaba que "El Niño" era un fenómeno local provocado por un debilitamiento de los vientos de baja altura a lo largo del litoral, pero Wyrtki (1979) 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: *"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".*

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 (Tahití) y el de baja presión de la región oceánica occidental (Darwin, Australia, Figura 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 océanico en el litoral occidental del continente sur-americano. Las aguas calientes se distribuyen en parte hacia el Norte, pero principalmente hacia el Sur dando origen a un "Niño".

El SCOR (Scientific Commitee 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 stándar y se desplaza a lo largo de las costas ecuatorianas y peruanas".*

2.2 EN EL ECUADOR, ¿COMO SE PRESESTA ESTE FENOMENO?

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 "Humbolt" 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.

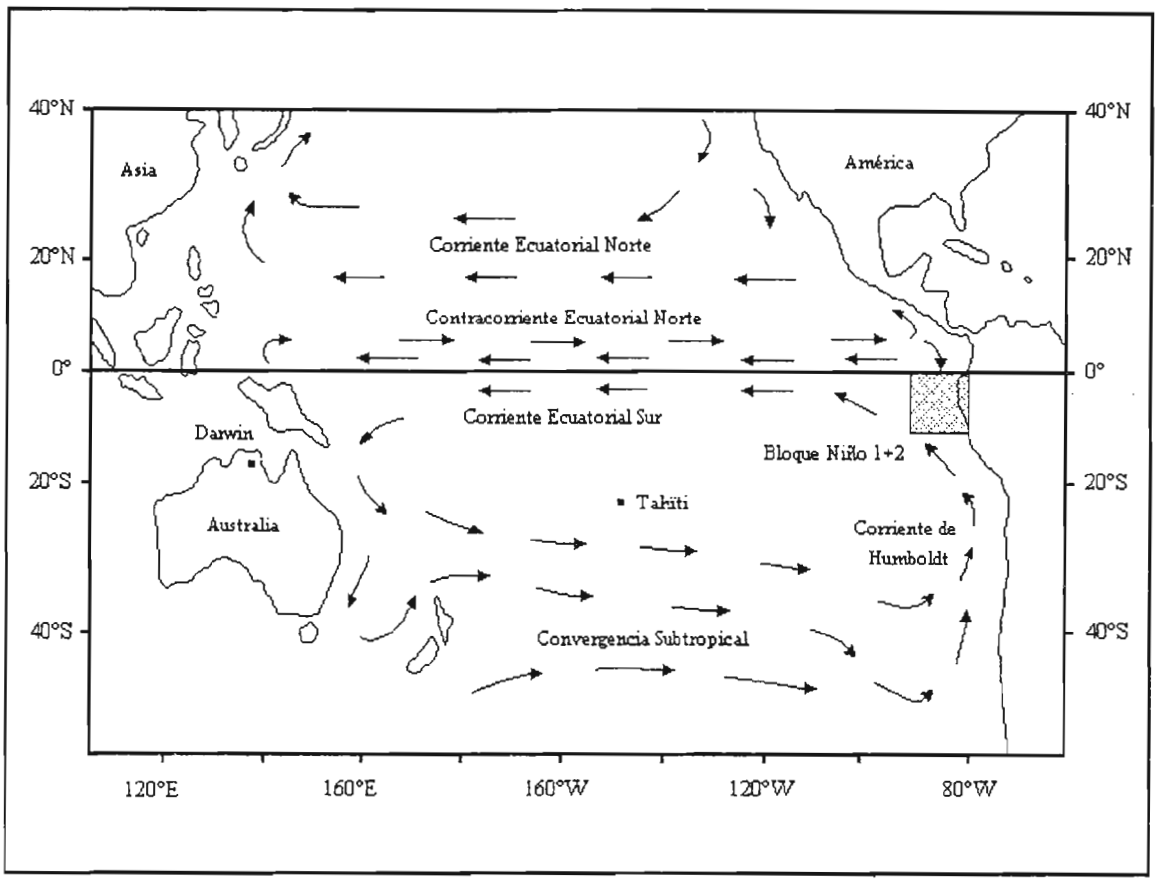

Figura 2: Principales corrientes marinas, ubicación de Thaïti, Darwin y del bloque de medición de la temperatura superficial del mar "Niño 1+2",.

2.3 ¿CUALES 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 et Wallace 1983, etc.) que no concuerdan para muchos años. Así, de acuerdo con Nouvelot y 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, Figura 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 stándar de la temperatura superficial del mar media mensual del bloque "Niño 1+2" durante 4 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) (Figura 3).

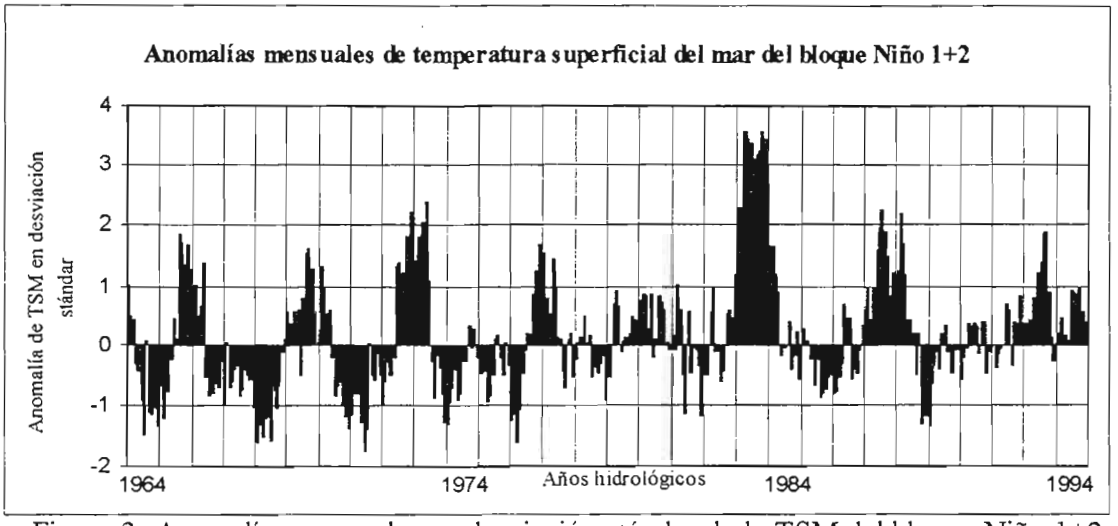

Figura 3: Anomalías mensuales en desviación stándar de la TSM del bloque Niño 1+2.

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 primero 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.

2.4 ¿CUAL ES LA INFLUENCIA DEL ENSO EN LOS REGIMENES PLUVIOMETRICOS 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 1982-83 (Nouvelot y 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 y al. 1995), poniendo particular atención a 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 y Alemán 1991).

Este método permite delimitar zonas, dentro de las cuales los totales pluviométricos anuales son seudo-proporcionales, las variaciones inter-anuales 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 inter-andino 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 ($P_t = (P - m) / \sigma$, en donde m y σ son, respectivamente, la media y la desviación stándar 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 uno 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.

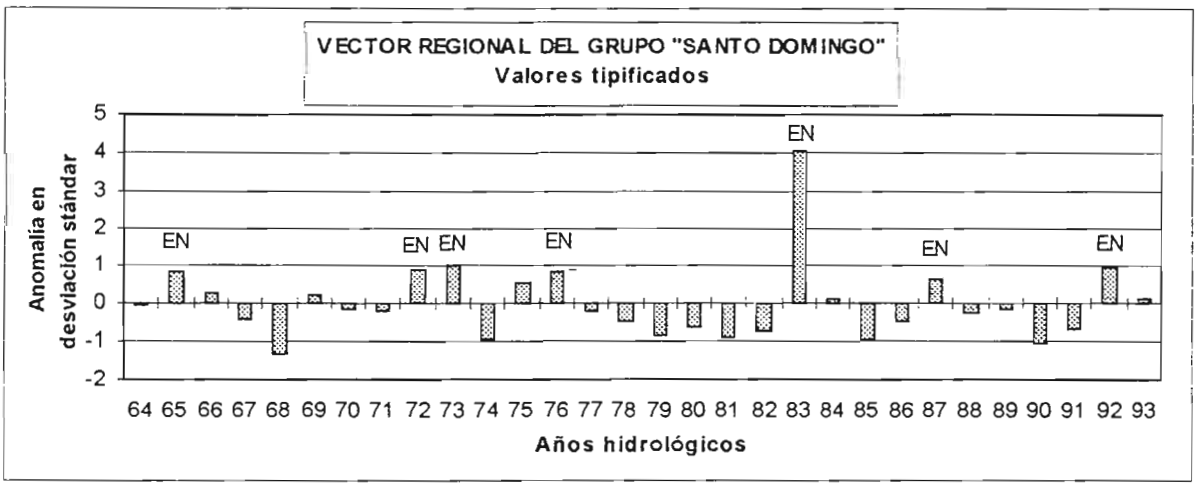

Figura 4: Valores tipificados del vector regional de la zona de Santo Domingo. Los años marcados con EN corresponden a los siete "Niño" del período de acuerdo con la definición adoptada. Este grupo presenta una buena relación entre el ENSO y los totales anuales pluviométricos.

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 stándar), muy superiores a los observados durante los otros años "Niño". 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.

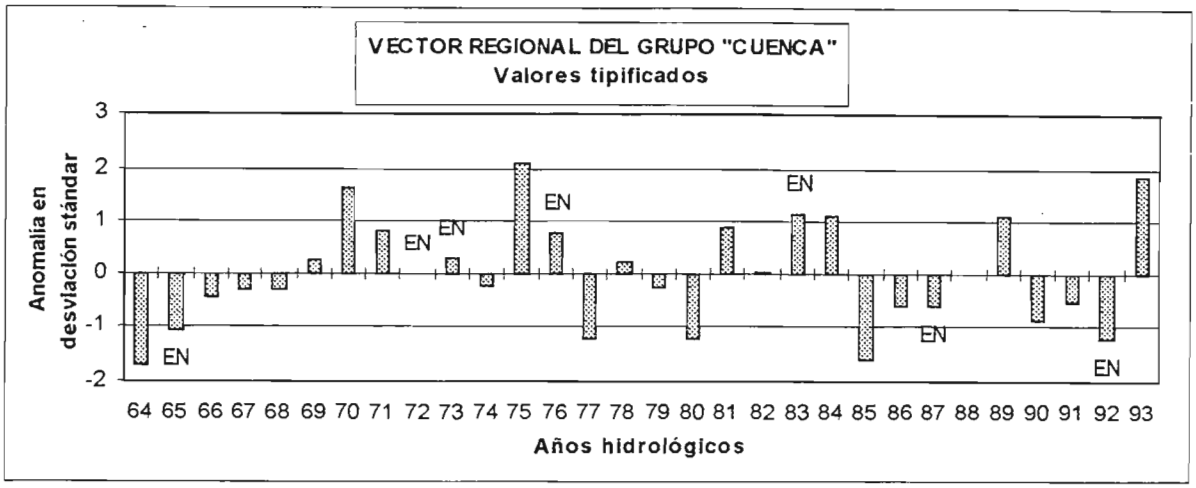

Figura 5: Valores tipificados del vector regional de la zona de Cuenca. Los años marcados con EN corresponden a los siete "Niño" del período de acuerdo con la definición adoptada. La relación entre el ENSO y los totales anuales pluviométricos de este grupo no es significativa.

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 están en las sexta y séptima columnas de la Tabla 2.

N°	Nombre	Número de "Niño" que coresponden a años lluviosos	Precip. media anual en (mm) de todos los años	Diferencia entre años "Niño" con 1983 y 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

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

En la Tabla 2, se reportan los números y nombres de cada grupo (Figura 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.

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 (Figura 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 (Figura 4), con excepción de un "Niño" en tres grupos para los cuales corresponde a un año de pluviométria 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 donde la correlación es significativa (grupos 1 a 6) y otro donde es menos significativa (grupos 7 a 11). Se estudiará ulteriormente a nivel mensual y con criteriores 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" incluido el año 1983, se deben en gran parte a que no se observó en estos 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 mencionado sector.

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~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.

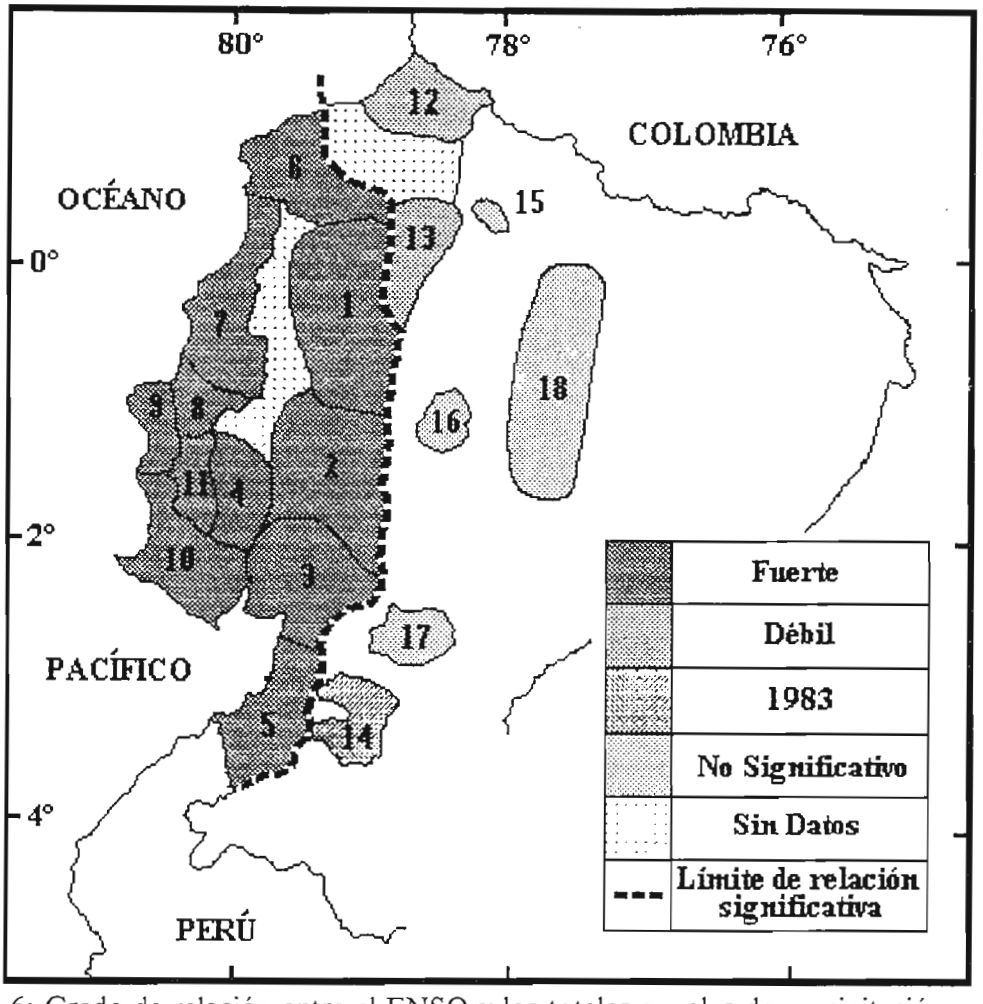

Figura 6: Grado de relación entre el ENSO y los totales anuales de precipitación, y límite de relación significativa.

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 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 inter-andino 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 (Figura 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 son 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 situa entre los grupos Esmeraldas (6) y San Lorenzo (11) al Norte (Figura 6). Lamentablemente su posición Norte no está bien definida por ausencia de registros pluviométricos en la zona inhabitada del bosque tropical húmedo existente entre los grupos Esmeraldas y San Lorenzo.

2.5 ¿SERAN PREVISIBLES LAS PRECIPITACIONES EN EL ECUADOR?

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

2.5.1 Relación entre las precipitaciones mensuales y la TSM

Se presentan solamente los resultados preliminares obtenidos de la estación de Pichilingue que tiene una serie cronológica contínua para el período 1964-1993 que es representativa de la zona de Santo Domingo. Primeramente, 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 mm/°C. Se establece que, con temperaturas inferiores a 21,5 °C no se producen precipitaciones en Pichilingue. Si se consideran únicamente los meses con TSM superior a 21,5 °C se constata que la gradiente de la recta de regresión aumenta sustancialmente para alcanzar 100 mm/°C (R = 0,81). Aunque estos ajustes sean relativamente buenos, parece que un ajuste polinomial debería representar mejor la relación. La Figura 7 presenta un ajuste polinomial de segundo orden entre las dos variables, que refleja mucho mejor la relación existente.

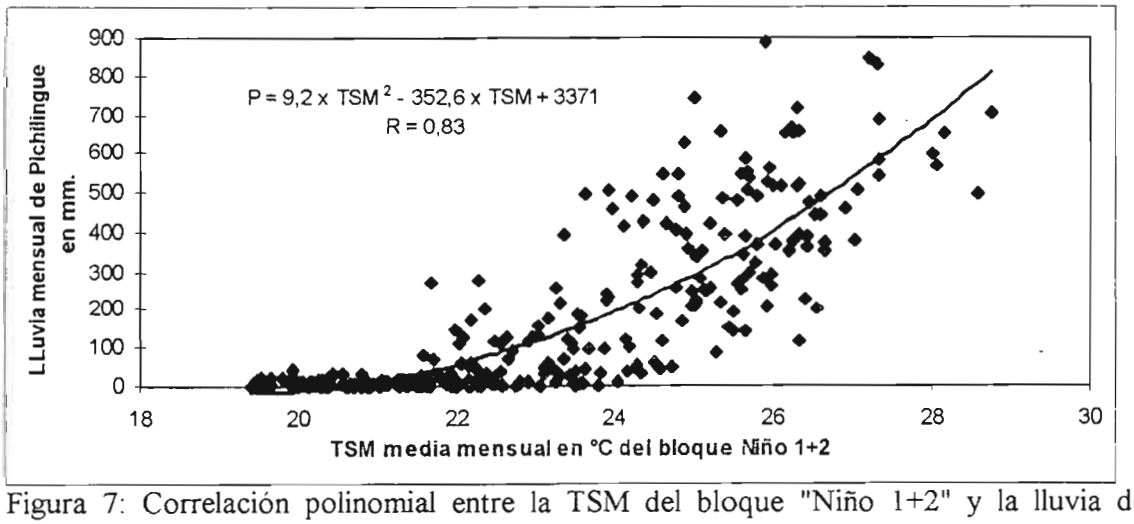

Figura 7: Correlación polinomial entre la TSM del bloque "Niño 1+2" y la lluvia de Pichilingue.

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 stándar (Figura 8), se observa una clara alza de las anomalías de precipitación con las de temperatura del mar.

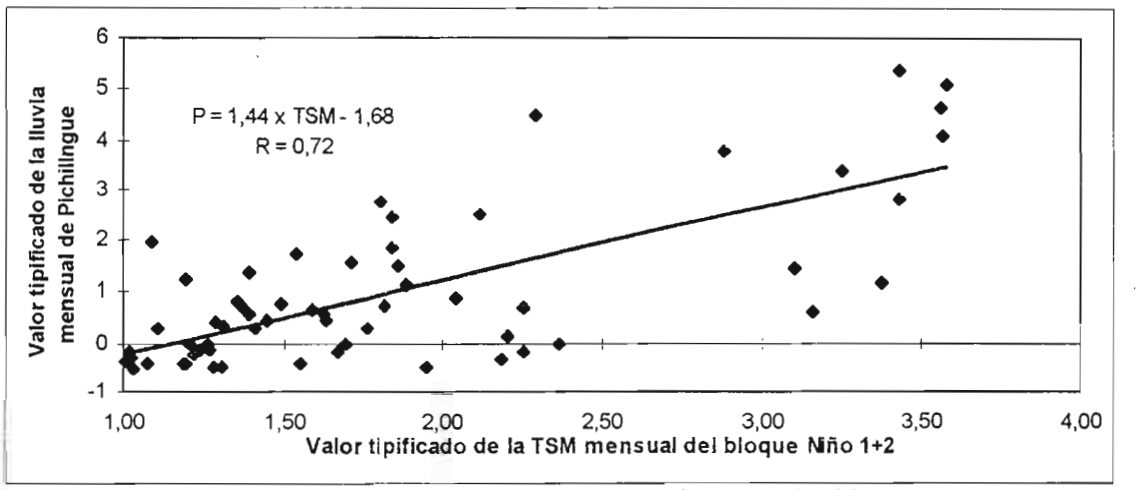

Figura 8: Correlación entre las anomalías mensuales de TSM del bloque "Niño 1+2" y las anomalías de lluvia de Pichilingue, considerando solo los meses con anomalía superior a una desviación stándar de TSM.

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

2.5.2 Tentativa de previsión

Ahora se analizan las posibilidades de preveer 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 (Figura 9: R = 0,67 y gradiente = 1,43), y algo muy importante a 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.

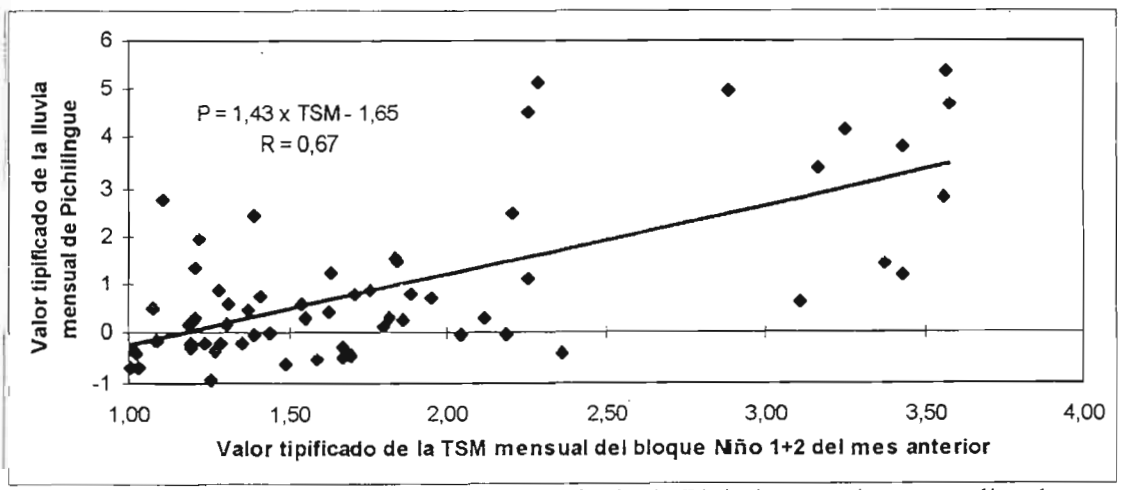

Figura 9: Correlación entre las anomalías de lluvia de Pichilingue y las anomalías de TSM del bloque "Niño 1+2" del **mes anterior**, considerando solo los meses con anomalía superior a una desviación stándar de TSM (tentativa de previsión).

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 Nor-Este brasileño, todo esto asociado a un análisis de la situación sinóptica regional.

2.6 CONCLUSION

Se dividió al sector costero del país en zonas pluviométricas homogeneas, en las que las variaciones interanuales son pseudo-proporcionales. Ello 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 situa 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.

3. OBRAS DE PROTECCION EXISTENTES Y PROYECTADAS EN LA CUENCA DEL RIO GUAYAS

Se determinó en la primera parte 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 coresponde en su mayor parte a los grupos pluviométricos más relacionados con el ENSO que son "Santo Domingo", "Los Ríos", "Guayaquil" y "Colimes" (n°1, 2, 3 y 4 de la Figura 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.

3.1 DESCRIPCION DE LA CUENCA DEL RIO GUAYAS

La Cuenca del río Guayas con una superficie de 31.500 km^2 , está situada al centro-Oeste del país (Figura 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 (Figura 10). Al Oeste, se encuentra el río Daule, de 12.000 km^2, cuya cuenca está enteramente situada en la zona costera baja. Al centro, el río Quevedo-Vinces, de 6.400 km^2, con una parte de su cuenca situada en las estribaciones de la cordillera. Más al Este, el río Babahoyo de 7.800 km^2 con gran parte de la cuenca originada en la Sierra, y al extremo Sur- Este, los ríos Chimbo y Bulubulu con un área total de 5.200 km^2. La cuenca del río Chimbo proviene en gran parte de la región interandina.

El potencial agrícola del río Guayas es actualmente el mayor del Ecuador, tanto en cultivos de subsistencia como en destinados a la exportación, existiendo más de 300.000 Ha fácilmente irrigables, además de la crianza de ganado, etc. Entre las principales actividades agrícolas cabe citar algunas destinadas principalmente a la exportación como el banano, arroz, café, cacao, camarones y otras más tradicionales como la yuca, hortalizas y 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 Nor-Este, 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 Sur-Oeste.

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 fenómento ENSO, debiéndose resaltar que "El Niño" extraordinariamente fuerte de 1983 queda gravado 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.

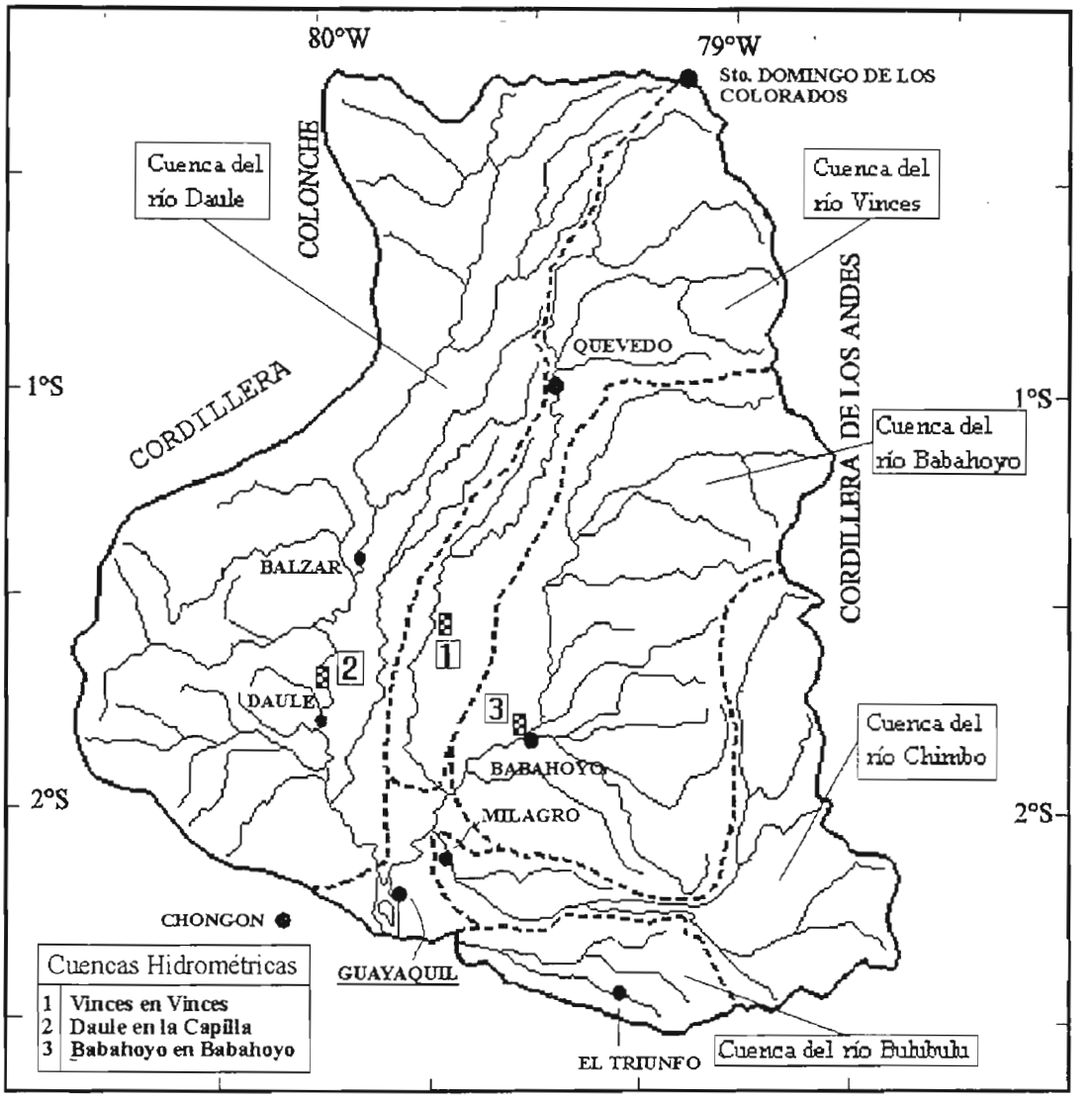

Figura 10: Plano base de la cuenca del río Guayas.

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.

3.2 ¿CUALES SON LAS OBRAS DE PROTECCION EXISTENTES O PREVISTAS?

Se describen a continuación las obras de protección contra las crecidas existentes y proyectadas en la cuenca del río Guayas (figura 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.

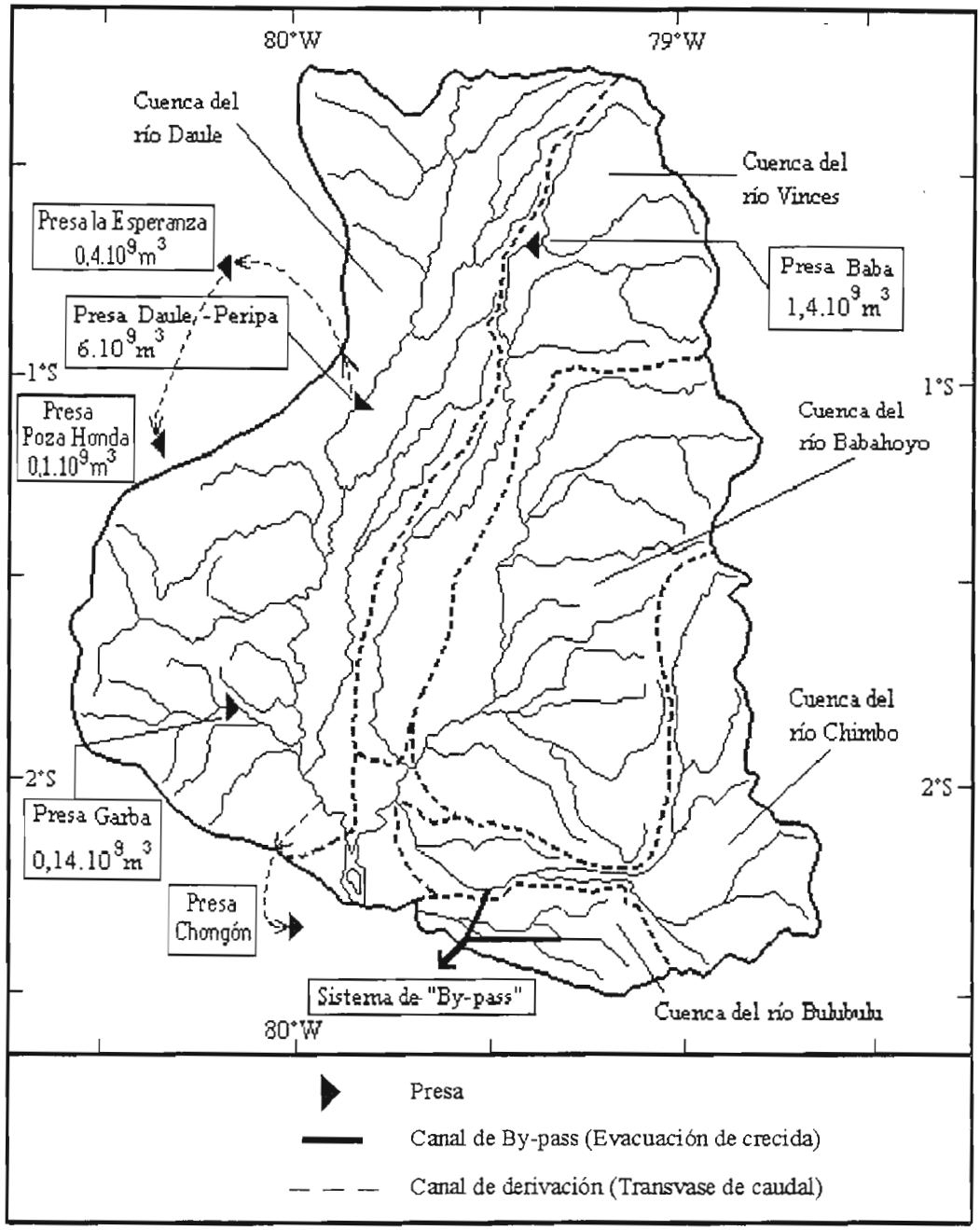

Figura 11: Ubicación de las principales obras de protección contra las inundaciones.

3.2.1 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.

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 3: Superficies de las subcuencas y volúmenes de almacenamiento (CEDEGE 1984).

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

ESTACION	PERIODO 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 4: Caudales máximos (m3/s) sin obras de regulación (CEDEGE 1994)

ESTACION	PERIODO 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 5: Caudales máximos (m3/s) con la primera etapa del plan de regulación, después de la construcción de las siete presas más importantes (CEDEGE 1994).

ESTACION	PERIODO 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

Tabla 6: Caudales máximos (m3/s) con la segunda etapa del plan de regulación, después de la construcción de las veinte presas (CEDEGE 1994).

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 solo 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".

3.2.2 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 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 evaluado 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 hidroelécrica 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 m^3/s a 1.600 m^3/s. Este caudal de crecida regularizada de 1.600 m^3/s corresponde a la crecida natural que ocurre en promedio cada dos años.

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 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.

3.2.3 El sistema de "By-pass" al sur de la cuenca del río Guayas

Al 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 km^2), Chanchán (1.400 km^2) a uno o dos kilómetros al Sur y el río Bulubulu (700 km^2), 10 kilómetros más al Sur (Fig 11). La convergencia de estas aguas a poca distancia, provocan inundaciones frecuentes en estas zonas planas, donde la pluviometría local varía entre 2.000 y 2.500 mm. anuales tiendiendo a agravar la situación.

Esta zona con una densidad de población relativamente elevada está azotada por inundaciones frecuentes, y sería muy oneroso construir en esta zona 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 Figura 12.

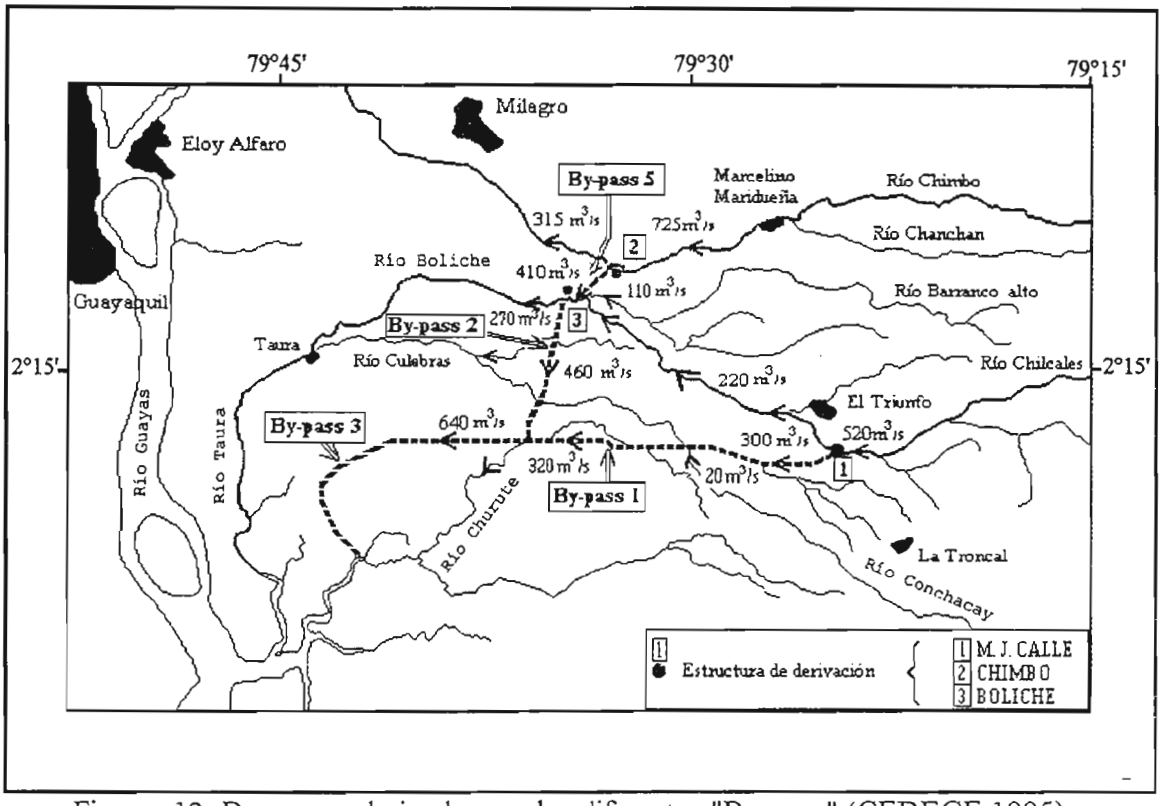

Figura 12: Descargas derivadas por los diferentes "By-pass" (CEDEGE 1995).

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.

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 m^3/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 encausarán 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 Triunfo, Milagro, etc.

3.3 PROTECCION 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 por contruirse 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 Figura 11, actualmente otras presas están siendo proyectadas, entre ellas la presa Baba con un volumen de $1{,}4.10^9$ m^3, situada en la cuenca alta del río Quevedo y la presa Garba con un volumen inferior a $0{,}14.10^9$ 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 desprovista 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.

4. CONCLUSION GENERAL

La zona costera ecuatoriana y principalmente la cuenca baja del río Guayas están frecuentemente sometidas a inundaciones que pueden ser de 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, insufuciencia del alcantarillado, etc. El mayor riesgo, como consecuencia de las inundaciones, se produce en las actividades productivas que se desarollan en los valles aluviales o planicies inundables, especialmente en cultivos como el banano, arroz, caña de azucar, 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, digues, rellenos de ríos, dragados, 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 que permitirá estimar en términos de probabilidad las cantidades de lluvia en los meses venideros, lo que permitirá además mejorar el manejo de las obras de regulación o control y aumentar la protección proporcionada por éstas.

5. REFERENCIAS CITADAS

BJERKNES J.H. 1969. Atmospheric teleconections from the equatorial Pacific. *Monthly Weather Review*. 97. 163-172.

BRUNET-MORET Y. 1979. Homogénéisation des précipitations. *Cah. ORSTOM, Sér. Hydrol.*, 16, 3-4, 147-170.

CEDEGE. 1984. Informe de labores de marzo de 1982 a julio de 1984. *CEDEGE*. 54 p.

CEDEGE. 1995. Resumen de las características técnicas de las obras de control de inundaciones de la cuenca baja del río Guayas. *CEDEGE*. 110 p.

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. *J. of Climate*, 3, 893-904.

LE GOULVEN P. y ALEMAN M. 1991. Logiciel CLIMAN (Climatic Monthly Analysis) de traitement des données contenues dans la banque hydroclimatique BHIME. *ORSTOM. Communication personnelle*, 14 p.

NOUVELOT J.F. y POURRUT P. 1984. El Niño. Phénomene océanique et atmosphérique. Importance en 1982-1983 et impact sur le littoral équatorien. *Cah. ORSTOM, Sér. Hydrol.* 21, 1, 39-65.

NOUVELOT J.F. y POURRUT P. 1994. Anomalies et phénomènes climatiques extrêmes. *In, L'eau en Equateur. Principaux acquis en hydroclimatologie*. P. Pourrut. ORSTOM Editions, 87-98.

QUINN W. H., NEAL V.T. y ANTUNEZ de MAYOLO S.E. 1987. El Niño occurences over the past four and half centuries. *J. Geophys. Res.* 92, 14449 - 14461.

RASMUSSON E.M. y WALLACE J.M. 1983. Meteorological aspects of the El Niño / Southern Oscillation. *Science*, 222, 1195 - 1202.

ROSSEL F., SEMIOND H. y 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*, 56 p.

WYRTKI K. 1975. El Niño: the dynamic response of the equatorial Pacific ocean to atmospheric forcing. *J. Phys. Oceanogr.* 5, 572-584.

Dirección para correspondencia:
Proyecto INSEQ -INAMHI
Iñaquito 700 y Corea
Telfs.: (593-2) 433 935
(593-2) 433 936
Fax: (593-2) 433 934
Quito - Ecuador