

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



**EFFECTOS DE LAS LLUVIAS TORRENCIALES DE 1983
EN LAS OBRAS DE INGENIERIA CIVIL EN PIURA
SULLANA Y AREAS AGRICOLAS ALEDAÑAS**

T E S I S
Para optar el Título Profesional de
INGENIERO CIVIL

RAFAEL EDUARDO LAMA MORE

Lima - Perú
1985

PROGRAMA

RESUMEN

INTRODUCCION

1.- FENOMENO DE "EL NIÑO"

- 1.1 Condiciones normales en el Pacífico y en la Costa Peruana.
- 1.2 Descripción e interpretación del Fenómeno
- 1.3 Cronología del Fenómeno
- 1.4 Manifestaciones del Fenómeno de 1982-1983.
- 1.5 Conclusiones
- 1.6 Comentarios

ANEXO 1.1 GRAFICOS

2.- ASPECTOS DE LA ZONA DE ESTUDIO

- 2.1 Localización y Descripción
- 2.2 Aspectos Geológicos
 - 2.2.1 Geomorfología.
 - 2.2.2 Estratigrafía.
 - 2.2.3 Geología Estructural.
- 2.3 Aspectos Hidrológicos
 - 2.3.1 Avenidas de los ríos Piura y Chira
 - 2.3.2 Precipitaciones Pluviales en dos estaciones:
Piura y Sullana.
- 2.4 Comentarios.

ANEXO 2.1 LAMINAS

3.- CIUDAD DE PIURA.

- 3.1 Generalidades
 - 3.1.1 Ubicación
 - 3.1.2 Aspectos Históricos
 - 3.1.3 Población.
 - 3.1.4 Clima
- 3.2 Estructura e Infraestructura Urbana
 - 3.2.1 Estructura Urbana
 - 3.2.2 Sistema de Agua y Alcantarillado
- 3.3 Estudio del Proceso Geodinámico Producido, Descripción y Evaluación de Daños.
 - 3.3.1 Geología Local.
 - 3.3.2 Topografía Local.
 - 3.3.3 Acción de la Geodinámica Externa y Efectos en la Estructura Urbana.

- 3.3.4 Efectos en el Sistema Vial Urbano.
- 3.3.5 Efectos en las Edificaciones
- 3.3.6 Efectos en el Sistema de Agua y Alcantarillado
- 3.3.7 Zonas Vulnerables y Zonas Protegidas.
- 3.4 El Sistema de Evacuación de Aguas Pluviales.
- 3.5 Las Defensas del río Piura.
- 3.6 Conclusiones
- 3.7 Recomendaciones
- ANEXO 3.1 LAMINAS
- ANEXO 3.2 FOTOS
- 4.- CIUDAD DE SULLANA
 - 4.1 Generalidades
 - 4.1.1 Ubicación
 - 4.1.2 Aspectos Históricos
 - 4.1.3 Población
 - 4.1.4 Clima
 - 4.2 Estructura e Infraestructura Urbana.
 - 4.2.1 Estructura Urbana
 - 4.2.2 Sistema de Agua y Alcantarillado.
 - 4.3 Estudio del Proceso Geodinámico Producido, Descripción y Evaluación de Daños.
 - 4.3.1 Geología y Geomorfología Local.
 - 4.3.2 Topografía Local.
 - 4.3.3 Acción de la Geodinámica Externa y Efectos en la Estructura Urbana.
 - 4.3.4 Efectos en el Sistema Vial Urbano
 - 4.3.5 Efectos en las Edificaciones
 - 4.3.6 Efectos en el Sistema de Agua y Alcantarillado.
 - 4.3.7 Zonas Vulnerables y Zonas Protegidas.
 - 4.4 El Sistema de Evacuación de Aguas Pluviales
 - 4.5 Conclusiones
 - 4.6 Recomendaciones
 - ANEXO 4.1 LAMINAS
 - ANEXO 4.2 FOTOS
- 5. ESTUDIO DE LAS VIAS TERRESTRES
 - 5.1 El Sistema de transporte en Piura.
 - 5.2 Acción de la Geodinámica Externa, Descripción y Evaluación de Daños.
 - 5.2.1 Topografía Regional
 - 5.2.2 Daños Típicos, Descripción e interpretación.

- 5.2.3 Efectos en el tramo Piura-Catacaos
- 5.2.4 Efectos en el tramo Piura-Sullana
- 5.2.5 Efectos en el tramo Sullana-Paita
- 5.2.6 Efectos en el tramo Sullana-Tambogrande
- 5.2.7 Efectos en el tramo Sullana-Poechos

- 5.3 Conclusiones
- 5.4 Recomendaciones

- ANEXO 5.1 LAMINAS
- ANEXO 5.2 GRAFICOS
- ANEXO 5.3 FOTOS

6.- ESTUDIO DE LAS AREAS AGRICOLAS

- 6.1 Generalidades
 - 6.1.1 Areas bajo riego
 - 6.1.2 Tipos de cultivo.
 - 6.1.3 Ubicación de las Areas Agrícolas en estudio
- 6.2 Infraestructura Agrícola
 - 6.2.1 Sistema Chira-Piura
 - 6.2.2 Valle del Chira
 - 6.2.3 Valle del Medio y Bajo Piura
 - 6.2.4 Sistema de Drenaje del Bajo Piura.
 - 6.2.5 Defensas Ribereñas en los ríos Piura y Chira.
- 6.3 Acción de la Geodinámica Externa, Descripción y Evaluación de Daños.
 - 6.3.1 Comportamiento de represa de Poechos
 - 6.3.2 Efectos en la Presa Derivadora "Los Ejidos"
 - 6.3.3 Efectos en el Sistema de Canales
 - 6.3.4 Comportamiento y efectos en el Canal de Derivación Chira-Piura.
 - 6.3.5 Efectos en el Sistema de Drenes.
 - 6.3.6 Comportamiento de los ríos Piura y Chira y efectos en las defensas ribereñas.
- 6.4 Conclusiones.
- 6.5 Recomendaciones

- ANEXO 6.1 CUADROS
- ANEXO 6.2 LAMINAS
- ANEXO 6.3 GRAFICOS
- ANEXO 6.4 FOTOS

REFERENCIAS

AGRADECIMIENTO.

RESUMEN

Las fuertes lluvias e inundaciones ocurridas entre Diciembre de 1982 y Junio de 1983 en el Norte del Perú ocasionaron serios daños en la producción e infraestructura socioeconómica por un monto total de 726.8 Millones de Dólares, de los cuales 482.4 Millones son daños a la infraestructura y el resto a la producción. El Dpto. de Piura fue el más afectado correspondiéndole el 68.7% del total de daños.

Lo ocurrido ha estado íntimamente ligado al llamado Fenómeno de "El Niño" y corrobora una vez más que nuestro territorio presenta considerables áreas sensibles a fenómenos de geodinámica, presentando una alta vulnerabilidad a los desastres naturales. Este evento se ha distinguido por haber desarrollado un intenso Proceso Geodinámico Externo, caracterizado por grandes inundaciones causadas por torrenciales lluvias, dando lugar a la formación de considerables lagunas y grandes flujos superficiales de intensa acción dinámica como ríos y quebradas, que provocaron tremendos daños a las ciudades y pueblos menores, a las vías, a las áreas agrícolas, a las industrias, etc.

En general los factores que determinaron el Proceso Geodinámico Externo fueron :

- Meteorológicos.
- Hidrológicos.
- Geológicos.
- Topográficos.
- Ausencia de sistemas adecuados de protección y drenaje de las aguas.

La manera como concurren estos factores determinó el grado de afectación de las áreas urbanas. En efecto, el Proceso Geodinámico en cada ciudad tuvo características peculiares según las condiciones geológicas, topográficas y la estructura urbanística. El rasgo común fue que hubo una total ausencia de sistemas de protección y drenaje de aguas, habiendo crecido las áreas urbanas en zonas vulnerables sin ningún criterio de previsión, aún a pesar de que ya se han producido eventos similares en el pasado (1891,1925), exponiéndose de esta manera a grandes sectores urbanos a torrenteras e inundaciones.

El Proceso en la ciudad de Piura se caracterizó principalmente por la formación de grandes lagunas, debido básicamente a la topografía llana con frecuentes depresiones, sin posibilidad de drenaje, y por la acción dinámica de la Qda. Petroperú y el río Piura, especialmente éste último, ya que provocó los daños más violentos.

El Proceso en la ciudad de Sullana se caracterizó por la formación de 3 grandes quebradas dentro del espacio urbano, debido a las características geomorfológicas de la ciudad y su entorno, provocando grandes inundaciones y los daños más violentos. En Sullana las áreas Gravemente Afectadas fueron mayores que en Piura.

En ambas ciudades el mayor porcentaje de viviendas destruidas se produjeron en los Asentamientos Humanos Marginales, y se debieron básicamente a que estuvieron ubicadas en Zonas Vulnerables y/o al tipo de material susceptible y al mal estado en que se encontraban. De la infraestructura urbana el Sistema de Alcantarillado fue el más afectado.

Los daños en las vías se debieron principalmente a la acción dinámica de las quebradas, las que al no poder ser evacuadas por las alcantarillas, en los casos que hubo, produjo frecuentemente represamientos iniciales para luego ser rebasada la vía, causando posteriormente graves erosiones, destruyendo generalmente a la alcantarilla y a la estructura del pavimento en esta parte; en los casos en que no hubo alcantarilla el problema se agudizó. El humedecimiento y saturación de la estructura del pavimento y el terreno de fundación afectaron seriamente a la estabilidad de las vías, perdiendo resistencia.

Las áreas agrícolas fueron afectadas principalmente por la acción de las quebradas y los ríos. En el Valle del Bajo Piura la acción dinámica y destructiva del río Piura fue mayor que la del río Chira. En el Valle del Chira la acción dinámica de las quebradas fue mayor que en el Bajo Piura. Los canales --- principales revestidos fueron afectados por efectos de subpresión causada por las aguas filtradas, y los drenes por la colmatación causado por las corrientes superficiales que transportaron gran cantidad de sedimentos hacia los drenes.

Hay que tener en cuenta que el Proceso Geodinámico Externo que se generó está considerado dentro de los conceptos de Prevención de fenómenos geodinámicos --- como CONTROLABLE. Es preciso pues disminuir al máximo la vulnerabilidad de --- nuestra infraestructura socioeconómica, para lo cual es necesario levantar --- Programas que contemplen estudios de nuestro medio físico, así como de medi--- das de protección dentro de adecuados criterios de Prevención de Desastres Na--- turales, además debe incluirse Planes Operativos de Emergencia en cada ciudad con la finalidad de tomar acciones concretas antes y durante un período llu--- vioso y lograr una capacidad de respuesta a las lluvias. En el presente estu--- dio se exponen alternativas y soluciones a las situaciones estudiadas.

Este evento debe aprovecharse para asimilar positivamente la dinámica de nuestro medio físico y sus enseñanzas, y poder garantizar que nuestra infraestructura socioeconómica se desarrolle con la debida seguridad y evitar que nuestras generaciones futuras no sufran las consecuencias de nuestra negligencia, de esta manera podremos dar respuesta a un clamor popular que crece cada día:
¡¡ QUE NO VUELVA A SUCEDER !!.

INTRODUCCION

Durante el período comprendido entre Diciembre de 1982 y Junio de 1983, el país sufrió uno de los mayores desastres naturales ocurridos en nuestra historia, ocasionados por torrenciales lluvias en el Norte y por graves sequías en la Sierra Sur, causando graves daños materiales y numerosas víctimas. Realmente la magnitud de los daños no tiene precedentes, en Junio de 1983 se estimó que el monto total de los daños alcanzó 1.352 Billones de Soles, de los cuales el 80.6% fueron causados por las lluvias y el 19.4% por las sequías.

El 66.3% de los daños en el Norte del país debido a las intensas lluvias fueron causados a la infraestructura y el 33.7 % a la producción. El departamento de Piura fue el más afectado correspondiéndole el 68.7% de los daños en el Norte.

En el pasado se han producido situaciones similares, como lo ocurrido en los años 1891 y 1925, aunque la magnitud de los daños no es comparable debido al crecimiento de la infraestructura socioeconómica en los últimos años. Cabe mencionar que entre los años 1925 y 1982 el país ha soportado un total de 4,750 desastres naturales entre huaycos, deslizamientos, aluviones e inundaciones, causando graves daños materiales y numerosas víctimas, se ha estimado que en dicho período se perdieron un total de 46,300 vidas humanas debido a los mencionados desastres.

Lo anterior muestra claramente que una de las características de nuestro país es que su territorio presenta considerables áreas sensibles a Fenómenos de Geodinámica, presentando una alta vulnerabilidad a los desastres naturales.

El presente estudio ha sido efectuado en la U.N.I. bajo la dirección del Ing^o JULIO KUROIWA HORIUCHI, y forma parte de un Convenio con la Secretaría Ejecutiva del Comité Nacional de Defensa Civil (SE/CNDC), el cuál se refiere a las investigaciones de los Efectos de las Lluvias Torrenciales de 1983 en las obras de infraestructura urbana, transporte y agrícola en los departamentos de Piura y Tumbes, que como se sabe fueron los más afectados.

Los objetivos de este estudio se pueden resumir : estudiar e interpretar el proceso que se ha generado, específicamente en las ciudades de Piura y Sullana, en las vías y áreas agrícolas aledañas, producido por las lluvias torrenciales de 1983. Por otra parte, se busca evaluar los daños y proponer alternativas y recomendaciones con la finalidad de evitar en el futuro daños similares, con los consiguientes efectos socioeconómicos.

Se han realizado visitas sucesivas a la zona de estudio durante y después del desastre lo que permitió obtener la información de campo necesaria y como información complementaria: entrevistas con funcionarios e ingenieros de diversas entidades del lugar, mapas, planos e informes obtenidos en dichas entidades. Toda esta información ha sido procesada teniendo en cuenta los sectores más afectados.

Dado que el fenómeno de "El Niño" ha tenido una incidencia decisiva, ha sido tratado en el capítulo 1, en el resto de capítulos se estudia lo sucedido en las ciudades de Piura, Sullana, vías de transporte y áreas agrícolas. Los comentarios, las conclusiones, recomendaciones y alternativas de solución a cuestiones específicas, aparecen en los acápites finales de cada capítulo.

A pesar que, de alguna manera los capítulos están ligados entre sí y en conjunto nos permiten una visión global del evento de 1983 en la Zona de Estudio, éstos están estructurados de tal manera que guardan una relativa independencia entre sí. Al final de cada capítulo aparecen anexos que contienen los cuadros, láminas, gráficos y fotografías mencionados a lo largo del desarrollo de cada tema, esto se ha hecho con la finalidad de dar continuidad a la lectura.

1.- FENOMENO DE "EL NIÑO"

Las fuertes lluvias e inundaciones ocurridas entre Diciembre de 1982 y Junio de 1983, en el Norte del Perú ocasionaron serios daños en la infraestructura socioeconómica de esta parte del país. No hay duda que estas alteraciones en la atmósfera en el Océano Pacífico Ecuatorial forman parte del complejo fenómeno de "El Niño".

Si bien es cierto que las causas del fenómeno aún no se conocen con exactitud, los estudios hasta ahora realizados permiten definirlo en base a su comportamiento y los efectos que han producido en los años en que se han presentado. Así pues, se puede definir en forma sintética, como la presencia de aguas anormalmente más cálidas por un período mayor de 4 meses, hundimiento de la termoclina (La termoclina es el nivel del mar que separa las aguas superficiales de mayor temperatura y menor densidad de las aguas profundas y más densas); tiene su origen en el Pacífico Central Ecuatorial, debido al debilitamiento de los vientos del Este o a su reemplazo por los vientos del Oeste, dando lugar a un fenómeno muy intenso, - esto último caracterizó al fenómeno 1982 - 83, habiéndose observado además un calentamiento muy rápido y por varios meses antes al normal inicio en eventos similares. Poco tiempo después las aguas cálidas llegaron has ta Alaska y el Sur de Chile.

La presencia de estas aguas cálidas durante el fenómeno de 1982-83 - en la Costa Occidental de Sudamérica ha causado grandes alteraciones en el clima, manifestándose con lluvias anormalmente torrenciales en algunas regiones del planeta y sequías en otras (ver Fig. 1-1). Igualmente el sistema ecológico ha sufrido cambios bruscos.

En el presente capítulo se intenta exponer en forma sintética los co nocimientos que en la actualidad se tienen del fenómeno, para lo cuál se ha visto necesario describir primeramente las condiciones normales del Pa cífico Oriental, para luego observar cuáles son las alteraciones que produce el fenómeno, como ha actuado cronológicamente y por último cuáles -- fueron las manifestaciones del fenómeno en 1982-1983.

1.1 CONDICIONES NORMALES EN EL PACIFICO Y EN LA COSTA PERUANA

El estudio de la circulación general de la atmósfera consiste en la descripción de todos los sistemas de movimiento que ocurren en la atmósfera, tales como ciclones, anticiclones, y los movimientos promediados en el tiempo y longitud.

La fuente de energía para poner en movimiento a la atmósfera es la radiación solar mediante el mecanismo de absorción. Como la energía que llega a la tierra es más intensa en las regiones ecuatoriales que en las latitudes altas, hay un mayor calentamiento en las aguas ecuatoriales. Esto da origen a una diferencia de una latitud a otra. Como resultado, se generan movimientos horizontales y verticales. Los vientos horizontales de superficie prevalentes en la región ecuatorial son de Este a Oeste, mientras que en latitudes medias los vientos fluyen de Oeste a Este. Como el momento angular de la atmósfera disminuye del Ecuador hacia los polos, debido a la rotación de la tierra, existe un exceso de momento angular, al igual que de calor, en las regiones ecuatoriales y un déficit de las mismas en las regiones polares.

Para balancear esta diferencia de calor y momento angular existe en la atmósfera un mecanismo de transporte. El transporte se lleva a cabo mediante el ascenso de masas de aire (con mayor energía calorífica y momento angular) y el subsiguiente desplazamiento hacia latitudes medias, donde descienden y luego retornan hacia el Ecuador. Existe un mecanismo similar entre latitudes medias y las regiones polares. A estos movimientos meridionales se les conoce como Celdas de Hadley.

En condiciones normales, la circulación atmosférica en la región ecuatorial del Pacífico, visto en un plano a lo largo del Ecuador, está compuesta por los vientos superficiales y los vientos de altura (ver Fig. 1-2). Los vientos superficiales conocidos con el nombre de Alisios fluyen de Este a Oeste y transportan aire caliente y húmedo.

Cuando esta masa de aire asciende, se forman las nubes del tipo cumulonimbus, típico de las regiones tropicales, que da origen a --

La Cordillera es una inmensa pantalla fija que obliga, a las masas de aire caliente y llenas de humedad que vienen desde la extensa cuenca amazónica, a resolverse en lluvias orográficas al ascender a grandes alturas (ver Fig. 1-2). Queda fijada así una zona cordillerana, de área variable, donde ocurren lluvias temporales todos los años pero de intensidad variable, según el tipo de año hidrológico.

La corriente fría de Humbolt, cumple como se ha visto, un papel importante en la determinación del clima normal de la costa, debido a que por una parte disminuye las tasas de evaporación desde el Pacífico, reduciendo así proporcionalmente los posibles volúmenes de lluvia potencial y por otra parte al enfriar a las capas de aire en contacto con el espejo de agua, reduce considerablemente el poder de ascenso de esa masa de aire, cuya pequeña humedad suele condensarse a poca altura formando las nieblas costeras, que alimentan a las llamadas "Lomas" o "Pastizales efímeros".

Como se ha podido observar, en condiciones normales se definen en el Pacífico dos regiones Ecuatoriales con características contrapuestas, debido al sistema de circulación atmosférica: la región del Pacífico Oriental, de escasas lluvias y la región del Pacífico Occidental, de abundantes lluvias. Esto se produce debido a que al tener los vientos superficiales (alisios) la dirección Este-Oeste, transportan el aire caliente y húmedo. Cuando esta masa de aire asciende, se forman las nubes tipo cumulonimbus, típico de las regiones tropicales, que dan origen a precipitaciones abundantes. Esto ocurre en Indonesia (Pacífico Occidental).

1.2 DESCRIPCION E INTERPRETACION DEL FENOMENO

La designación de "El Niño" se aplica a las grandes anomalías oceánicas que ocurren de tiempo en tiempo frente a las costas de Sudamérica. El fenómeno de "El Niño" es considerado actualmente ocasional, irregular, aperiódico y de grandes repercusiones socio-económicas para el Perú. Las causas que lo originan no son conocidas, y parece que están ligadas al debilitamiento general de la circulación de los vientos alisios del hemisferio Sur.

Si bien es cierto que las causas del fenómeno aún no se conocen con exactitud, los estudios hasta ahora realizados permiten definirlo en

base a su comportamiento y los efectos que han producido en los años en que se ha presentado. Las nuevas mediciones y análisis están permitiendo ampliar y mejorar los conceptos sobre causas y efectos en el sistema -- océano y atmósfera.

Se sabe ahora que el fenómeno de "El Niño" es definido como la presencia de aguas anormalmente más cálidas en la costa occidental de Sudamérica -- por un período mayor a 4 meses consecutivos, tiene su origen en el Pacífico Central Ecuatorial.

El fenómeno está pues asociado a las condiciones anormales de la circulación atmosférica en la región ecuatorial del Pacífico. Considerándose -- como condiciones anormales cuando el esquema de circulación ecuatorial -- toma las siguientes tres posibilidades : puede intensificarse, debilitarse o cambiar de orientación.

El fenómeno está vinculado directamente a las dos últimas posibilidades, que se producen después que se ha intensificado dicho esquema de circulación, las cuales se verán a continuación :

- Cuando la circulación ecuatorial se debilita, los vientos alisios, el afloramiento ecuatorial y las corrientes ecuatoriales Norte Sur son débiles. El Pacífico Oriental está caliente, típico de las condiciones anómalas asociados con el fenómeno de "El Niño" moderado. Estas condiciones anómalas pueden durar hasta 14 meses, variando su magnitud.
- Cuando la circulación ecuatorial cambia su orientación, los vientos superficiales del Este son reemplazados por los vientos del Oeste, el afloramiento ecuatorial desaparece, las corrientes ecuatoriales Norte y Sur se debilitan considerablemente, la contracorriente ecuatorial (Ver Fig. 1-3), que fluye de Este a Oeste y se ubica en el Ecuador, se intensifica y la corriente ecuatorial subsuperficial, que fluye de Este a Oeste por debajo de la contracorriente ecuatorial, desaparece. Como resultado se tiene la acumulación de aguas cálidas, hundimiento de la termoclina y aumento del nivel del mar en la costa oriental del Pacífico. La temperatura superficial del mar llega a pasar los 4°C por encima de lo normal, puede durar de 16 a 20 meses, variando su magnitud (1982-1983). (Ver Fig.1-5).

Estas dos situaciones descritas, representan pues el cambio brusco de un primer estado de circulación anormalmente intenso a un segundo, es decir, cuando los vientos Este y Sudeste se debilitan o se reducen a cero, generando una onda conocida con el nombre de Onda Ecuatorial de Kelvin que demora aproximadamente 2 meses en llegar a la costa oriental, presentándose en la costa sudamericana dando lugar pues a la aparición de las características del fenómeno, lo que permite identificarlo (ver Fig. 1-4).

Durante la ocurrencia de aguas anormalmente más cálidas en el Pacífico Tropical asociado con el fenómeno, el efecto del mar en la atmósfera es más evidente. La Estructura térmica en la capa de inversión cambia notablemente.

Cuando existe una inversión térmica en la atmósfera, se dice que la atmósfera es estable. En una atmósfera estable los procesos de convección vertical desaparecen, permitiendo únicamente el desarrollo de una capa de nubes bajas del tipo stratus, entre la parte superior e inferior de la capa de inversión. En estas condiciones es imposible la formación de cúmulus que permitiría desencadenar en precipitaciones.

Cuando la temperatura superficial del mar pasa los 25°C., la capa de inversión se debilita completamente y la atmósfera resulta estar en una condición casi inestable, lo que da lugar al desencadenamiento de excesivas lluvias, esta situación se genera pues durante el fenómeno, que está acompañado con la invasión también de masas de aire húmedo y cálido, asociado a la Franja Atmosférica de la Convergencia Intertropical, penetrando en el ámbito de la costa norte del Perú, provocando pues fuertes lluvias, la alta humedad del aire y las tormentas densadas. (ver Fig. 1-1) .

Se puede ver que "El Niño" es un fenómeno costero, acompañado de cambios bruscos que afectan notablemente las condiciones del mar y del clima, con repercusiones enormes en la economía de la región costera del Perú y en la ecología de las aguas costeras.

Se puede decir, que el fenómeno tiene trascendencia general por no ser local y por estar ligado a fenómenos meteorológicos y oceanográficos de gran escala, como se ha podido ver anteriormente. La trascendencia nacional del fenómeno surge de sus consecuencias, finalmente económicas -

afectando seriamente la producción y la infraestructura socioeconómica, cuando es intenso, siendo los sectores : transportes y comunicaciones, hidrocarburo, agricultura, vivienda y pesquería, los potencialmente más -- vulnerables, situación que se hizo evidente en el fenómeno de 1983.

1.3 CRONOLOGIA DEL FENOMENO

La información que se dispone actualmente, acerca de la ocurrencia del fenómeno conocido como tal y que se puede encontrar en los artículos -- científicos que se dedican a éste fenómeno, datan después del año 1925, aunque hacen mención del evento de ese año, del 1891 y de años anteriores, debido a que las características son similares a la de los años de "El Niño".

Evidentemente las anomalías metereológicas y oceanográficas, conocidas como el fenómeno de "El Niño", se han venido presentando frente a las - costas del Perú desde tiempos muy remotos. Una de las primeras observa - ciones sobre el particular fueron hechas por D.V. Eguiguren (1894) en - un estudio sobre las "Lluvias en Piura" publicado en el boletín de la - Sociedad Geográfica de Lima.

En dicho estudio se da cuenta de calentamientos y de excesivas lluvias en la zona Norte del país en determinados años y calentamientos débiles en otros años. Teniendo en cuenta este estudio y otras fuentes como -- las crónicas aparecidas en el diario "La Industria" en Marzo de 1925, a continuación se muestra una cronología anterior al presente siglo, sin considerar los eventos débiles que hace mención Eguiguren :

AÑOS	CARACTERISTICAS
1791	Moderado
1804	Moderado
1814	Moderado
1828	Intenso

AÑO	CARACTERISTICAS
1845	Intenso
1864	Moderado
1871	Intenso
1877/78	Moderado
1884	Moderado
1891	Muy intenso

Como se ha señalado, es en el presente siglo donde se ha estudiado con mayor profundidad las características del Fenómeno en los distintos años en que se ha presentado. En base a las diversas fuentes con que se puede contar en la actualidad (K. Wyrcki, S. Zuta , O. Guillén , C. Cavieges, P. Lagos , W. Wooster , etc.) , se puede mostrar a continuación una cronología del Fenómeno en el presente siglo :

AÑO	CARACTERISTICAS
1925	Muy Intenso
1932	Débil
1940/41	Intenso
1951	Débil
1953	Moderado
1957/58	Intenso
1963	Débil
1965	Moderado
1969	Débil
1972/73	Intenso
1975/76	Moderado
1982/83	Muy Intenso (Catastrófico)

Según da cuenta Eguiguren (1894) el año anómalo de 1891 se caracterizó por lluvias torrenciales producidas en la zona Norte con pérdida de -- vidas y áreas de cultivo. Según Carranza la invasión de estas aguas -- fue de tal magnitud que pudo arrastrar restos de grandes lagartos de -- Tumbes, así como troncos de árboles hasta la playa de Pacasmayo - - -- (7º 25' S.) tropicalizando el litoral peruano hasta Pisco (13º 45' S.) es decir en aquella época se produjo un gran calentamiento acompañado con intensas precipitaciones pluviales en la zona Norte del país.

Según los indicios y la poca información que se tiene del evento de -- 1891, se supone que las lluvias permanecieron en la zona Norte hasta -- el mes de Abril y en los meses posteriores posiblemente comenzó su -- retorno a la normalidad. Esta suposición estaría confirmada por el -- hecho de que el barco Albatross halló a fines de Marzo una temperatura de 27º C. - 28º C. cerca de Galápagos, siendo un promedio normal para esa zona y esa época 22º C. - 24º C.

El fenómeno de 1925 fue de gran intensidad, siendo la principal característica su duración y sobre todo la intensidad de las precipitaciones pluviales que se produjeron ese año, causando una serie de inundaciones y en general una secuela de desastres.

Este evento llamó la atención de especialistas de aquella época que lo consideraban como un fenómeno natural sin precedentes hasta la fecha.- En Europa las informaciones periodísticas sobre este fenómeno eran muy alarmantes y algunos opinaban que su origen se debía a erupciones -- submarinas, teorías que al poco tiempo dejaron de mencionarse.

Entre los investigadores que dedicaron estudios al Fenómeno de 1925 -- podemos mencionar a Schott (1931), Murphy (1926), quienes afirman que -- las lluvias torrenciales comenzaron el 20 de Enero de ese año las que fueron intensas y continuas en toda la zona Norte. Durante el mes de Febrero prosiguieron las precipitaciones las que continuaron hasta -- principios de Abril, en que lentamente fueron volviendo a la normali-- dad.

Al referirse a este Fenómeno el Capitán de Navío Germán Stiglich hace una explicación del llamado "Fenómeno Marítimo del Aguaje", que asume todas las características del ahora conocido fenómeno de "El Niño", --

señalando que este fenómeno en el Norte del Perú se llamaba "Sargaso", en todo el resto "Aguaje", por los marinos ingleses "Peruvian Barber" o "Peruvian Painter".

Cabe agregar que en 1925 por poco se arruina Trujillo donde la lluvia alcanzó 395 mm. en Marzo, comparando con el promedio de 8 años anteriores fue de 35 mm. (Murphy 1926).

El Niño de 1965 se presentó en las costas del Perú entre los meses de Marzo y Abril, caracterizado por temperaturas de 24° C. - 27° C.

Durante El Niño de 1972, se observó dos desplazamientos de agua hacia el sur transportando aguas del golfo de Panamá por el Este de los 85° W. Frente al Perú tuvo lugar entre Febrero - Marzo y fue caracterizado por la invasión de las aguas ecuatoriales hasta la latitud de 10°S, y la temperatura entre 23° C. - 25° C.

En 1975, en Febrero-Marzo según Wyrтки hubo una transgresión de aguas de la región ecuatorial hacia el Sureste, sin llegar a la costa peruana, replegándose luego en Abril-Mayo y fue considerado un aborto de "El Niño". En el Ecuador las aguas superficiales tuvieron temperaturas mayores de 27°C. En 1976 frente a las costas del Perú, en Enero-Febrero se observó un calentamiento de la temperatura de la superficie del mar al norte de los 15°S llegando a los 27°C.

"El Niño" de 1982/83 frente al Perú, en el mes de Setiembre se observó un calentamiento a lo largo de la costa con anomalías mayores de 2°C. que el promedio, el calentamiento continuó en los meses siguientes. En Enero de 1983 se observó la presencia de aguas con temperaturas de 26°C - 29°C. que se extendieron hasta la latitud de 14°S. aproximadamente. Este fenómeno es considerado al más intenso del siglo.

Recién en los últimos años se han implementado programas para el estudio del fenómeno. en el país las entidades que estudian el fenómeno son : Instituto del Mar del Perú (IMARPE), Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina -- (DHNM), Instituto Geofísico del Perú (IGP), Servicio Nacional de Meteorología e Hidrografía (SENAMHI), entidades que integran el Comité Científico de ERFEN : Estudio Regional del Fenómeno del Niño Pacífico Sur Este. Este programa de investigación oceánica es coordinada por la Comisión Permanente del Pacífico Sur.

(CPPS). Su objetivo es el conocimiento de las causas, características, y variabilidad de este fenómeno recurrente, a fin de predecir su aparición y sus consecuencias en la pesquería, agricultura y el clima. Participan Institutos de Investigación de Colombia, Ecuador, Perú y Chile. Existen otros programas a nivel internacional que tratan el fenómeno :- "Experimentos de Circulación Oceánica en el Mundo" (W.O.C.E.), "Estudios de la Variabilidad Interanual de los Océanos Tropicales y la Atmósfera Global" (T.O.G.A.)

Los últimos fenómenos han sido estudiados considerando dos factores : -
1.- Metereológico y 2.- Oceanográfico.

Tomándose mediciones para determinar ciertas propiedades representativas como son :

- 1.- Metereológicas :
 - Temperatura del aire
 - Presión atmosférica
 - Vientos
 - Precipitación.
- 2.- Oceanográficas :
 - Sanilidad
 - Temperatura del mar
 - Corrientes marítimas.

Otro factor importante en el estudio es la ubicación de la Zona de Convergencia Intertropical

1.4 MANIFESTACIONES DEL FENOMENO DE 1982 - 1983.

La ocurrencia del fenómeno de 1982 - 1983, demostró que los conocimientos sobre dicho fenómeno eran aún insuficientes, las experiencias con los anteriores fenómenos había permitido elaborar teorías sobre la predicción de dicho fenómeno. A un mes de que ocurra "El Niño", se suponía que ese año no se presentaría, dado que no se había detectado una respuesta dinámica típica para un evento intenso.

En efecto, Klaus Wyrtki, Científico del Departamento de Oceanografía de la Universidad de Hawaii, estuvo siguiendo atentamente los parámetros representativos en el Pacífico Ecuatorial desde el evento de "El Niño" de 1976, encontrando hasta Junio de 1982 que estaba en condiciones no -

alarmantes. Consideraba que la necesaria pre-condición para la ocurrencia de un fuerte o moderado evento es la existencia de una fase de aviso. Sin ésta tan importante fase de aviso nunca ocurriría: Los vientos ecuatoriales deben ser más fuertes de lo normal por lo menos 18 meses, particularmente durante dos inviernos del hemisferio sur, y un verano interpuesto. Estos vientos fuertes transportan grandes cantidades de agua caliente hacia el Pacífico Oeste, deprimiendo la termoclina, elevando el nivel del mar, produciendo afloramiento (disminución de la temperatura).

Wyrtki consideraba, que para establecer el potencial de la ocurrencia del evento podría establecerse mediante la observación de cuatro parámetros independientes: vientos ecuatoriales más fuertes que lo normal, depresión de la termoclina, elevación del nivel del mar y enfriamiento ecuatorial. Debido a estas condiciones cabalmente no satisfechas, se pronosticó que no ocurrirá en 1983 ningún evento moderado o fuerte de "El Niño".

Observaciones en el Pacífico Ecuatorial, de Agosto a Noviembre de 1982 ya indicaban que el fenómeno podía estar presentándose. El Centro Nacional de Análisis Climático de NOAA, en Washington D.C., emitió un Diagnóstico Climático Especial, que hace referencia de un calentamiento anormal en la región ecuatorial, (ver Fig.1-5). En este documento se indica que en los meses de Setiembre y Octubre de 1982, las fluctuaciones climáticas a nivel global han sido bastante anómalas. Los vientos del Este y Sudeste en el Pacífico Ecuatorial no sólo se encuentran debilitadas sino que están soplando de Oeste a Este, es decir que han cambiado su dirección en 180°, situación que nunca ha sido observada en el pasado. La temperatura superficial ya había alcanzado valores alarmantes, extendiéndose hasta cerca de la costa del Ecuador y Norte del Perú, observándose también la termoclina hundida a profundidades nunca registradas en las áreas del Pacífico Central y Oriental. De esta forma se da inicio al fenómeno que llegó a ser el más intenso del presente siglo.

A principios de 1983, el nivel del mar peruano llegó a tener una altura promedio mensual superior a los 50 cm. por encima del nivel en otros años. Esto hizo más vulnerable las edificaciones próximas a la

costa con destrozos de consideración. La presión atmosférica en el centro del Pacífico Sur y en nuestra costa disminuyó considerablemente mientras que en Indonesia aumentó.

La característica particular de éste Fenómeno ha sido la elevación brusca de la temperatura superficial en el mar en un tiempo sumamente corto. En el mes de Septiembre de 1982 se observó un calentamiento a lo largo de la costa con anomalías de 2°C. En Enero de 1983 se observó temperaturas de 26°C. - 29°C. que se extendieron hasta la latitud 14°S., significando anomalías del orden de 7°C. como promedio.

La temperatura del mar fue el indicador que más demoró en normalizarse especialmente junto a la costa peruana, debido a la lentitud del proceso de afloramiento (Surgencia de aguas sub-superficiales: aguas frías). La distribución de temperaturas en el mes de Junio 1983 (Ver Fig.1-6) muestra ausencia de afloramientos, las anomalías en este mes es de 6°C. como promedio. En el mes de Septiembre 1983 se empieza a notar el efecto del afloramiento costero, iniciándose el descenso progresivo de la temperatura superficial.

La influencia de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) activada con el aporte energético del calentamiento del océano fue notable a partir del mes de Octubre de 1982 permaneciendo en forma casi inalterable hasta el mes de Abril de 1983 en una posición al sur de la línea ecuatorial y con una bifurcación creando perturbaciones semipermanentes, que dieron lugar a la presencia de nubes activas ubicadas a lo largo de toda la costa hasta los 6°S.

Entre el 16 y 18 de Mayo de 1983, se originó un huracán a 1,600 Km. de Piura y Tumbes, que fue analizado por meteorólogos de la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina del Perú, precisaron que provenía desde el Norte y Noroeste, siguiendo una trayectoria no usual, pues estos huracanes no se desplazan hacia el Sureste y menos cruzan el hemisferio Sur, situación que originó las bravesas observadas en el mar. Esto fue consecuencia de la formación de un sector de la banda intertropical nubosa, la que en su desarrollo liberó una considerable cantidad de energía consistente en abundante lluvia, ráfagas, truenos y relámpagos. En este período fue frecuente la formación de tormentas

y bravesas del mar, debido pues a que la banda intertropical nubosa se encontraba en la costa Norte, situación que duró hasta que retornó al Hemisferio Norte ocupando su posición normal.

Durante el fenómeno de este año, que presentó una característica devastadora, se hizo evidente el debilitamiento del Anticiclón del Sur, la nueva dirección que habían tomado los vientos del Pacífico Ecuatorial, como se ha visto anteriormente, incrementaron las características térmicas del mar, motivándose que nuestra costa Norte presente una atmósfera inestable que facilitó la evaporación, originando a la vez la formación de nubes tipo cúmulus que producen intensas precipitaciones. Esta nubosidad forma parte del sistema denominado "Banda Intertropical - Nubosa" produciéndose en esta zona el encuentro de los vientos Alisios del Sureste y Noreste, dando origen a la "Zona de Convergencia Intertropical" (ZCIT). Esta situación, propició las abundantes precipitaciones pluviales, típicas de una zona tropical (Ver Fig. 1-1), que duraron hasta el mes de Junio de 1983.

Como se ha podido observar, las lluvias que se desencadenaron fueron el resultado de una situación anormal de gran escala que comprometió a la costa Occidental de América, Indonesia, la costa Oriental de Asia, el Océano Pacífico, etc., pero en la distribución de las lluvias en la costa Norte del Perú al parecer han incidido además factores de menor escala, locales, hay que citar las brisas originadas entre mar y tierra y las brisas producidas en las laderas de las montañas que, durante el día iniciaban un movimiento del mar hacia la tierra y de la parte baja hacia la parte alta de la montaña lo que posiblemente dió lugar a que las lluvias sean generalmente al anochecer.

En efecto, en Piura, las lluvias generalmente se produjeron entre las 7 de la noche y las 7 de la mañana del día siguiente lo que ha sido notable en 1983. Estas lluvias se concentraron en la parte de la ladera hacia donde soplan los vientos (Chulucanas, Morropón, etc.) relevando la importancia de las brisas cuando los Alisios se debilitan.

1.5 CONCLUSIONES

- 1.- Las lluvias anormalmente torrenciales en la costa Norte del Perú, en 1983, estuvo asociado al fenómeno de "El Niño", el cuál ha sido el más intenso del presente siglo.

- 2.- En condiciones normales, no son frecuentes las lluvias intensas en la costa occidental de Sudamérica, sinó más bien son frecuentes en Indonesia, dado que la temperatura en el Océano Pacífico Occidental es mayor que en el Océano Pacífico Oriental.
- 3.- El Fenómeno está asociado a condiciones anormales de la circulación atmosférica, en la región ecuatorial de Sudamérica y se viene presentando desde hace varios siglos.
- 4.- Es ocasional, irregular, aperiódico, y de grandes repercusiones socioeconómicas.
- 5.- No se conocen las causas que lo originan y aún no se puede predecir.
- 6.- No es de carácter local y está asociado a fenómenos meteorológicos y oceanográficos de gran escala.
- 7.- El fenómeno se caracteriza por el debilitamiento de los vientos del Este o reemplazo de estos por los del Oeste en el Pacífico Ecuatorial, desplazamiento hacia el sur de la Zona de Convergencia Intertropical, hundimiento de la termoclina, aumento de la temperatura, aumento del nivel del mar, en el Pacífico Oriental.
- 8.- El fenómeno de "El Niño" tiene trascendencia nacional, lo cual surge de sus consecuencias básicamente económicas, afectando seriamente la producción y la infraestructura socioeconómica cuando es intenso, siendo los sectores: Transportes y Comunicaciones, Hidrocarburo, Agricultura, Vivienda y Pesquería los potencialmente más vulnerables, situación que se hizo evidente en el Fenómeno de 1983.

1.6 COMENTARIOS.

- 1.- Si bien es cierto que el Fenómeno es irregular y aperiódico, considerando su cronología en el siglo pasado, los Fenómenos "intensos" y "muy intensos" se produjeron cada 21 años como promedio, siendo 26 años el intervalo máximo que separó a dos Fenómenos consecutivos, y en el presente siglo cada 17 años como promedio, en donde el intervalo máximo fue de 25 años. Este tipo de Fenómenos dada su magnitud tiene repercusiones socioeconómicas en nuestro país, en donde el evento de 1983 no tiene precedentes conocidos.

- 2.- Lo anterior muestra claramente que las condiciones en la costa de nuestro país conocidas como Normales **NO SON ESTABLES**, dichas condiciones predominan a pesar de que nuestra costa está ubicada en la Zona Tropical cuyo límite Sur es el Trópico de Capricornio - - --- (23º 28' S.), en donde el factor más importante que las determina es la circulación atmosférica en el Pacífico, situación que grafica la dependencia de dichas condiciones Normales con el régimen de circulación mencionado, de tal forma que cuando éste varía, el fenómeno de "El Niño" se hace presente, predominando en este caso la ubicación geográfica de nuestra costa con respecto a la línea ecuatorial (Zona Tropical). Desencadenándose las torrenciales lluvias cuando el Fenómeno es intenso, con las consecuencias ya mencionadas.
- 3.- Es importante ahondar en el estudio de el Fenómeno de "El Niño", - dado que si se pudiera predecir con un tiempo prudencial, se podría disminuir los efectos negativos en las ciudades, vías, agricultura, pesquería, etc., con trabajos de emergencia y con la debida anticipación, encuadrados dentro de una planificación adecuada. Además permitiría, por ejemplo, implementar programas agrícolas en las zonas inundables con un mínimo de riesgo, en los casos que se tenga la certeza de que no ocurra el fenómeno. Actualmente ya se han organizado programas de investigación a nivel internacional.
- 4.- Con los mencionados estudios del fenómeno, existe sólo la posibilidad de que se conozca y se sepa cuando va a ocurrir, lo cual es -- indudablemente importante por las razones ya expuestas, pero lo -- que sí se sabe con certeza es que inevitablemente va a producirse aunque no se sepa cuando, lo que implica que es mucho más importante organizar programas de investigación, con la finalidad de estar en condiciones de disminuir la vulnerabilidad de nuestra infraes--tructura socioeconómica a los desastres originados por el fenómeno, dentro de un marco económicamente razonable. La magnitud de los - daños producidos en 1983 justifica plenamente lo anterior.

ANEXO 1.1.- GRAFICOS

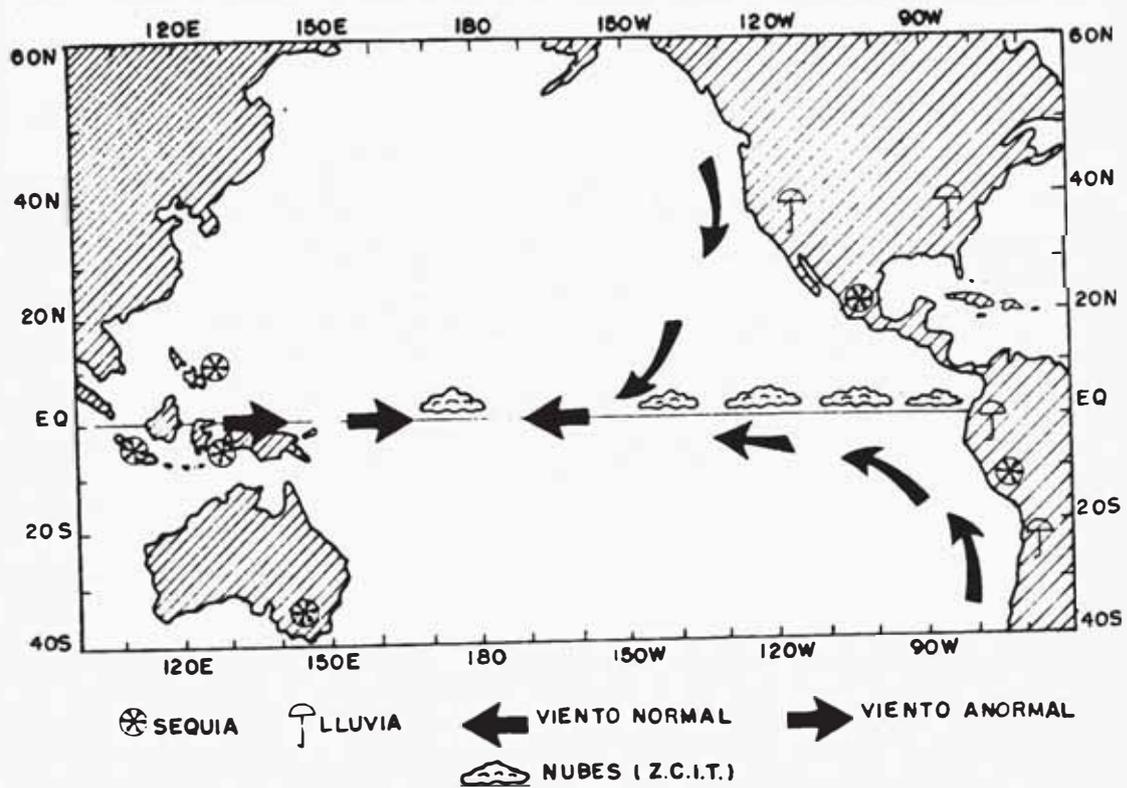


Fig.1-1 Los efectos de "El Niño" en el clima se manifiesta en la redistribución de las áreas de precipitación.

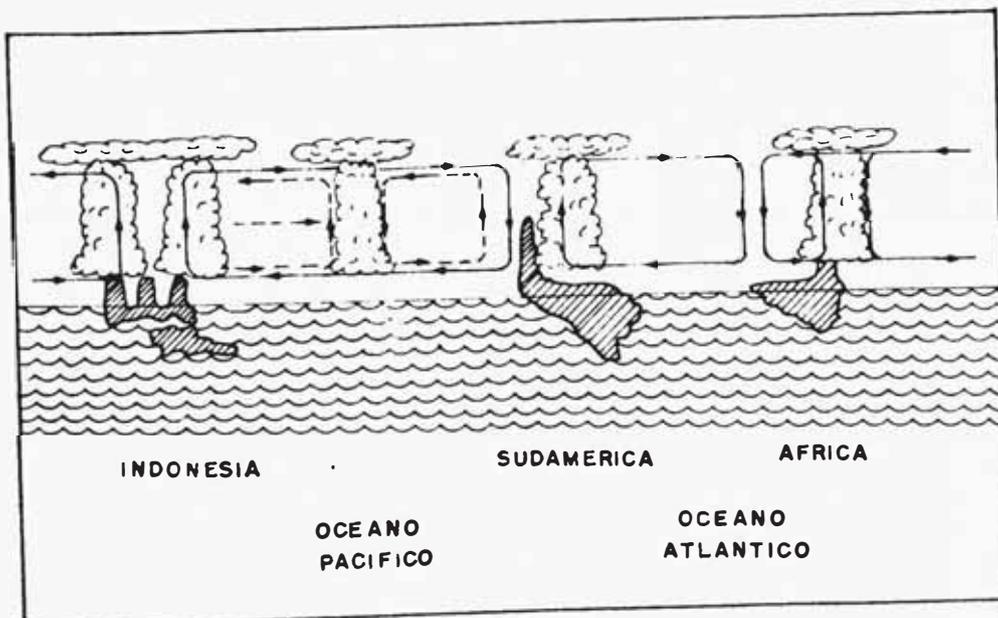


Fig 1-2 La circulación atmosférica visto en un plano a lo largo del ecuador, en condiciones normales. Se observa que las nubes tipo cumulonimbus en Indonesia y en la cuenca amazónica se forman al soplar los vientos superficiales de Este a Oeste.

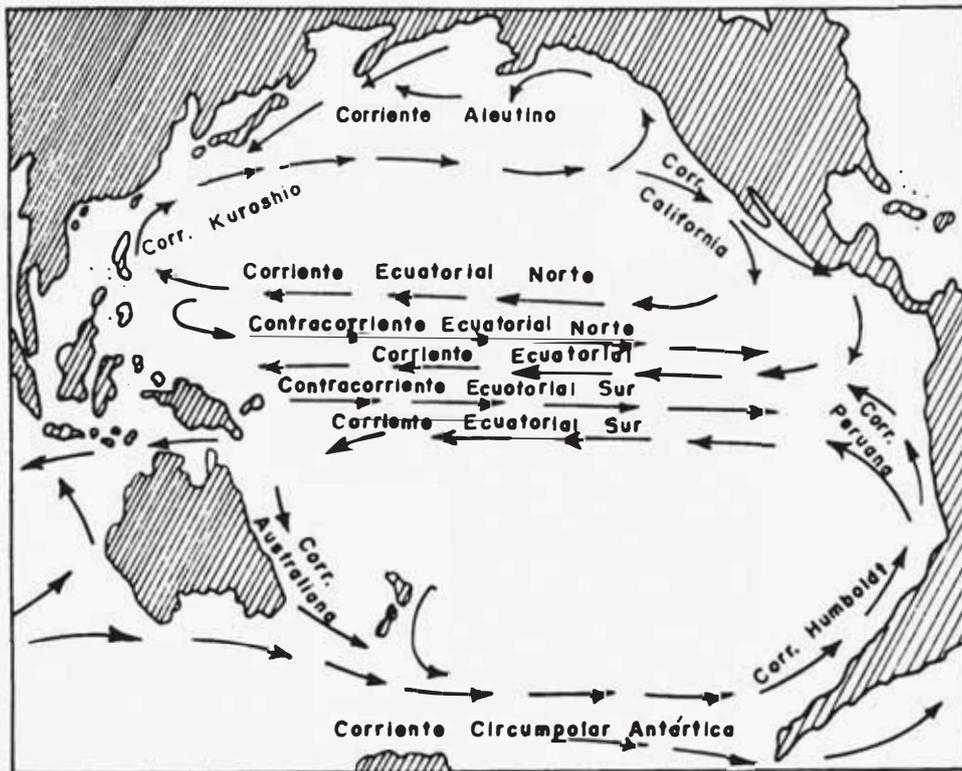


Fig. 1-3 El sistema de corrientes marinas en el Pacífico. (Adaptado del Atlas de los Océanos por Rand McNally).

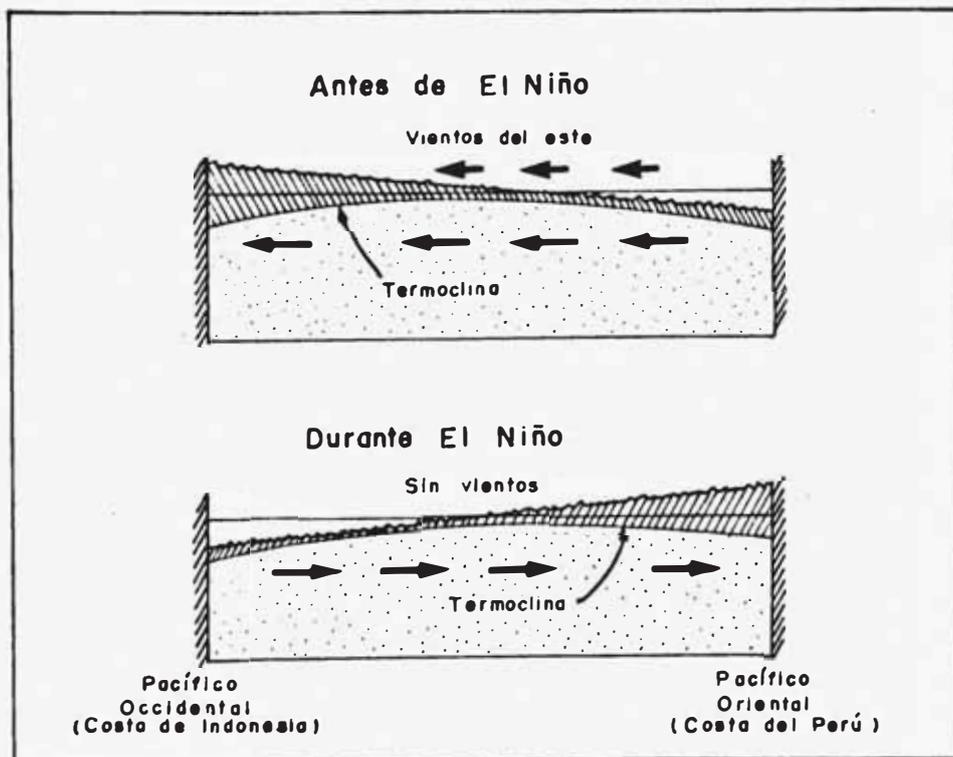


Fig. 1-4 Diagrama esquemático de la circulación oceánica en el Pacífico Tropical antes y durante "El Niño". Nótese la variación de la Termoclina.

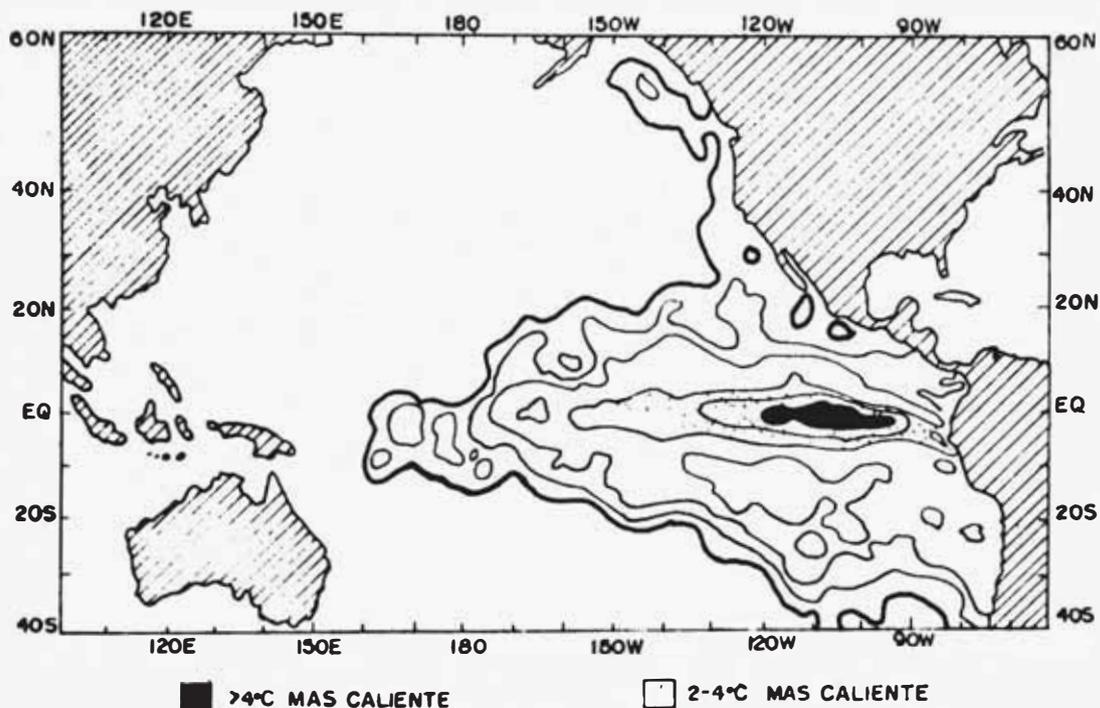


Fig. 1-5 Anomalías de la temperatura superficial del mar en el mes de Octubre de 1982 (Cortesía de NOAA).

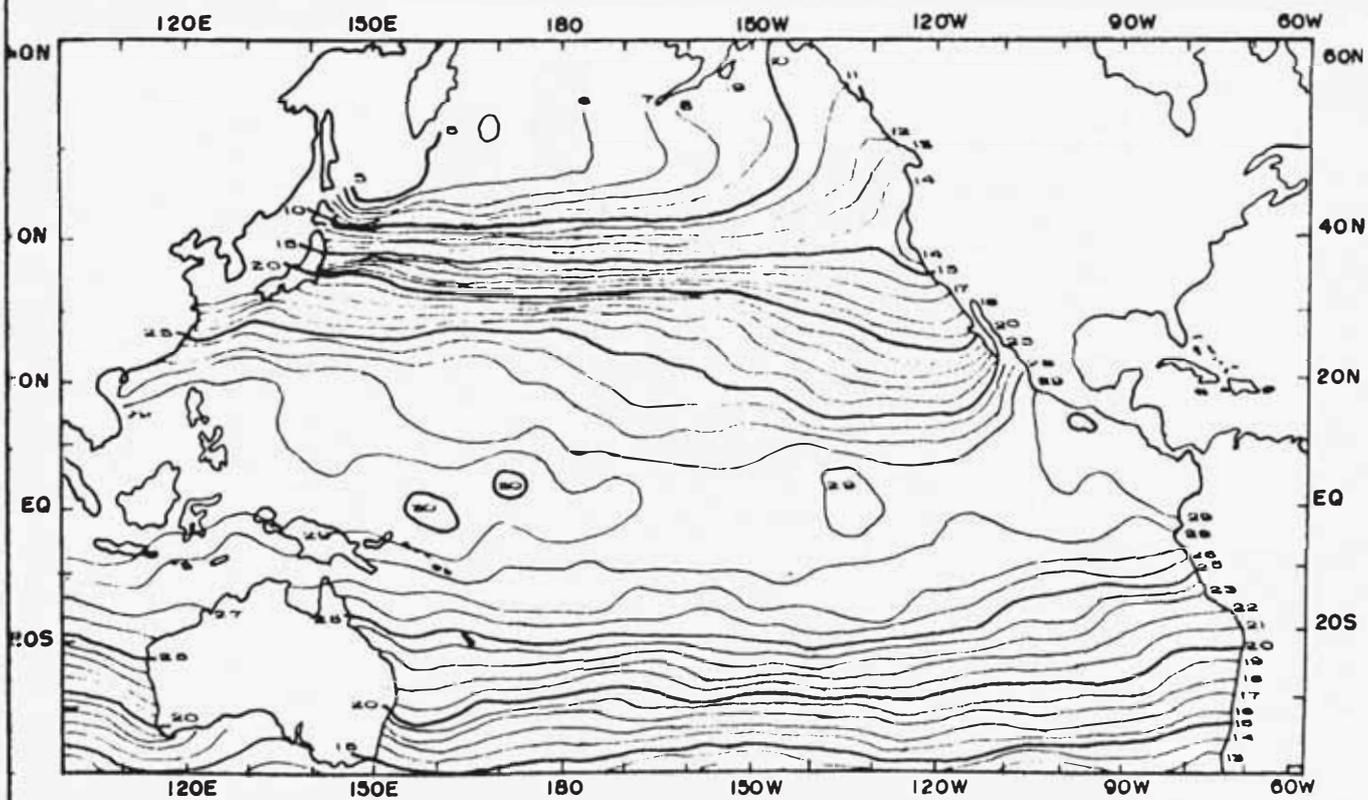


Fig 1-6 Temperatura superficial del mar en el mes de Junio de 1983 (CLIMATE ANALYSIS CENTER, CAC).

2.- ASPECTOS DE LA ZONA DE ESTUDIO

2.1 LOCALIZACION Y DESCRIPCION

La zona de estudio, se encuentra en el extremo norte del país, en el Departamento de Piura, entre los 4º 41' y 5º 53' de latitud Sur y desde los 80º 30' hasta los 81º 9' de longitud Oeste del meridiano de Greenwich.

Básicamente comprende el estudio de las ciudades de Piura y Sullana, las áreas agrícolas del valle del Chira, Medio y Bajo Piura, siendo en total 86,500 Has. las regadas actualmente en dichos valles, y las vías más importantes de la zona.

La zona está conformada por extensas pampas desérticas a semidesérticas, con una topografía plana, en parte suavemente ondulada, o con lomas constituídas por acumulaciones eólicas denominadas dunas y barca--nas.

Estas llanuras desérticas son cortadas por dos cursos importantes de drenaje, que en el caso presente está representado por los ríos Chira y Piura. El río Chira ha formado un valle, de anchura variable, cubierto de material aluvial fino, presentando una fácil divagación con numerosos meandros y está dominado por una continuidad de mesetas sobre las dos márgenes. El río Piura ha formado un valle muy llano, prácticamente sin relieve y con mínima pendiente longitudinal, con curso divagante.

Este hecho ha dado lugar a la formación por un lado de extensas superficies de terreno áridos que en gran parte son verdaderos arenales, y por otro lado de tierras apropiadas para el cultivo donde crece una vegetación típica de algarrobos y zapotales.

Hacia el sector de la ribera marina, aguas abajo de Piura, aparecen -- extensas superficies aterrazadas denominados tablazos que son de origen marino y están constituídos por bancos potentes de conchas. Estos tablazos indican dos hechos importantes : el primero, que ellos han -- constituído antiguos fondos marinos, y el segundo, que la zona ha sufrido levantamientos.

2.2 ASPECTOS GEOLOGICOS.-

2.2.1 Geomorfología.-

La zona está ubicada dentro de una gran unidad denominada Depresión Parandina que constituye una extensa llanura emplazada entre la cordillera de la costa (Cerro Illescas y Silla de Paita) y los contrafuertes de la cordillera occidental (Malingas, Chulucanas y Morropón) (Ver Lámina 2-1).

Esta extensa llanura cuya elevación va desde los 0 m.s.n.m. hasta los 300 m.s.n.m. en la parte central ha sido disectada por el río Piura dando lugar a los abanicos aluviales y las terrazas fluviales en ambos márgenes del valle, esta llanura es denominada El Tablazo, el cual se extiende por el norte hasta el Valle del Chira que limita con la cordillera de Amotape, este valle está formado por un callejón aluvial. El Tablazo está dividido en terrazas y recortada por quebradas chatas que en la parte más septentrional de la región se ramifican múltiplemente, dividiéndola hasta hacerla desaparecer.

El basamento rocoso sobre el cual se ha depositado la cobertura cuaternaria de la Depresión Parandina es de naturaleza sedimentaria, volcánica y plutónica. En el caso específico de la Ciudad de Piura, el basamento rocoso está constituido por rocas sedimentarias de la formación Zapallal cuya edad es el terciario medio (mioceno).

Las terrazas fluviales tienen una potencia desconocida, por el hallazgo de fauna fósil a profundidades de 8 mts. podría ser indicativo que el espesor de los sedimentos detríticos de origen fluvial neto estaría entre los 6 a 8 mts., en las cercanías a la Ciudad de Piura.

La litología encontrada a niveles inferiores podría corresponder a antiguos lechos marinos en una época de transgresión del mar sobre el continente ocurrido posiblemente durante el cuaternario reciente, este hecho indicaría además que durante esa época la línea de playa se desplazó hacia el Este de su posición actual.

Posteriormente se produjeron levantamientos regionales escalonados dando lugar a los denominados tablazos que se observan desde el nivel del mar hasta tierra adentro en el continente.

2.2.2 Estratigrafía.-

En la zona de estudio, afloran rocas sedimentarias y metamórficas que, en edad van desde el Paleozoico al reciente. En dicha zona existió una gran cuenca de deposición de origen marino y -- por otra parte continental, cuyos sedimentos afloran en el conti- nente al elevarse la cordillera andina. (Ver lámina 2-2).

Estos sedimentos consisten en depósitos aluviales de arenas, gra- vas, arcillas más consolidadas que yacen a lo largo de los va- - lles, terrazas y tablazos respectivamente, que tienen espesores variables.

Los depósitos sedimentarios de mayor espesor lo constituyen las areniscas, conglomerado y lutitas.

La parte continental, perteneciente al cuaternario está conformado por depósitos eólicos, aluviales, fluviales, morrenas y flu-- vioglaciales.

La parte de origen marino, corresponde al terciario medio, integrado por las formaciones de Cardalitos, Zorritos, Tumbes, Zarumilla, Pisco, Montero.

Los principales afloramientos de edad pre-cuaternaria, se encuen- tran en el área de Bayovar (Illescas) y en las estribaciones - - andinas (Chulucanas).

Los depósitos del reciente pueden ser divididos en : Llanuras -- aluviales, terrazas fluviales, conos aluviales, arenas eólicas y depósitos salinos.

Las llanuras aluviales y las terrazas fluviales se presentan - - bien definidas y desarrolladas en los valles del Chira y Piura.- El espesor de estos depósitos es variado y tiene un rango que va desde unas pocas decenas de metros hasta centenas, ellos consti- tuyen suelos aptos para cultivos con posibilidades de irrigarse con aguas del subsuelo.

Los abanicos aluviales se encuentran bien desarrollados en los contrafuertes de la cadena Amotape y al pie de las primeras es--tribaciones andinas, extendiéndose por 1 ó 2 Kms. hacia los ta--blazos. Su potencia varía desde 1 a 20 mts. y están constituí--dos principalmente por gravas y arenas.

Las arenas eólicas se ubican preferencialmente en las cercanías de la línea de playa internándose tierra adentro y adoptan for--mas de dunas, barcanas y cobertura arenosa. Su presencia se - - observa a lo largo de todo el valle de Piura y margen izquierda del Chira, habiéndosele reconocido como cobertura superficial y en el subsuelo intercaladas con limos y arcillas, lo que denota los cambios climáticos producidos.

Los depósitos salinos se han desarrollado al Sur del río Chira,- hasta los cerros Illescas, al este de esta cadena, en el desier--to de Sechura; no existen evidencias que se hayan extendido has--ta las cercanías de Piura.

2.2.3 Estructuras.-

El cuadro estructural de la zona costera del Nor-oeste peruano,- en donde se encuentra el área en estudio , comprende : El Maciso de Illescas situado a 100 kms. al sur-oeste de Piura, formado -- por rocas metamórficas paleozóicas y precambrianas; y la Depre--sión Para-andina (Desierto de Sechura-Piura), donde las rocas -- terciarias alcanzan un espesor mayor de 2.5 kms. Dentro de es--te marco regional la falla Illescas constituye uno de los princi--pales elementos tectónicos de la región ya que se encuentra divi--diendo las dos áreas estructurales: al Oeste del Maciso de Illes--cas y al Este de la cuenca de Sechura-Piura.

Se considera de importancia señalar la existencia de esta falla, a pesar de su distancia de Piura, puesto que ha jugado un papel importante en la evolución estructural de la región suponiéndose que ha sufrido reactivación durante el cuaternario. Su presen--cia y su posibilidad de reactivación ha sido tomada en cuenta pa--ra el riesgo sísmico de la ciudad de Piura.

Otro tipo de estructura que se presenta son los plegamientos del tipo anticlinal.

2.3 ASPECTOS HIDROLOGICOS. (*)

Las intensas lluvias que se precipitaron desde Enero hasta Junio de -- 1983, han sobrepasado 2,200 mm., mientras que normalmente la pluviometría es de 70 mm. en la región comprendida por la zona litoral de las cuencas de los ríos Piura y Chira.

El presente acápite, pretende explicar la magnitud extraordinaria de esas precipitaciones, así como también de las avenidas de 1983, no solamente por las excepcionales cantidades registradas, sino por la larga duración de este periodo.

2.3.1 Avenidas de los ríos Piura y Chira.-

Para establecer un nivel comparativo adecuado, se muestran los registros correspondientes al año 1983 y los promedios de años anteriores, presentándose valores mensuales desde Enero hasta Julio. Los totales indicados corresponden solamente a estos 7 meses (MMC = Millones de m³).

a. Río Piura.-

El área de influencia que le corresponde a la estación ubicada en la Ciudad de Piura es de 7,742 km², a continuación se muestran los registros en dicha estación :

Estación : Puente Sanchez Cerro (1)

1983	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	TOTAL
V MMC	869	1176	2245	3014	2300	1352	318	11,274
Q m ³ /s	324	486	838	1163	859	522	119	--
1972-82								
V MMC	51	129	295	151	65	38	28	757
Q m ³ /s	19	53	110	58	24	14	10	--

Se observa que la masa total en estos 7 meses, fue en 1983 : - 15 veces más que el promedio de los años anteriores indicados.

Cabe mencionar que en 1974 (Mayo) empieza la derivación del río-

(*) Al final del subcapítulo se señalan las fuentes de los registros mostrados.

Chira al Piura con la planta de bombeo de Montenegro: - - - -
 $Q_{max} = 10 \text{ m}^3/\text{s}$ y en 1976 (Abril) ésta deja de funcionar, con-
 tinuándose con la bocatoma de la represa de Poechos : - - - -
 $Q_{max} = 70 \text{ m}^3/\text{s}$.

A continuación se muestran los valores promedios mensuales en un lapso de 50 años, anteriores a la derivación del río Chira al Piura :

Estación : Puente Sanchez Cerro. (1)

1925-74	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Total
V MHC	10	135	296	224	86	38	20	101
Q m³/s	4	55	110	83	32	15	8	---

Se observa que la masa total en estos 7 meses, fue en 1983: -
 112 veces más que el promedio de los años anteriores indica--
 dos.

Según la información revisada, ninguna máxima avenida (caudal pico = Q_p) durante los últimos 50 años antes de 1983 han sido mayores de los $2,000 \text{ m}^3/\text{s}$. Las máximas avenidas fueron en ci
 fras redondas :

AÑO	1941	1943	1953	1965	1972
$Q_p \text{ m}^3/\text{s}$	1700	1800	1700	2000	1600

Durante los primeros meses de 1983 se presentaron las siguiente
 s avenidas máximas : (1)

1983	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio
$Q_p \text{ m}^3/\text{s}$	1670	1635	2865	2475	3200	1750	260

De esta manera se puede observar el caracter extraordinario -
 de las avenidas del río Piura en 1983.

b.-Río Chira.

El área de influencia que le corresponde a la estación ubica-
 da en la ciudad de Sullana es de $14,933 \text{ km}^2$, a continuación -
 se muestran los registros en dicha estación :

Estación : Puente Sullana. (1)

1983	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Total
V MMC	1987	2225	3070	4266	3303	2423	618	17,892
Q m ³ /s	742	920	1146	1646	1233	935	231	---
1976-82								
V MMC	86	172	336	203	128	91	64	1,080
Q m ³ /s	32	70	126	78	48	35	24	---

Se observa que la masa total en estos 7 meses, fue en 1983 :- 16.6 veces más que el promedio de los años anteriores indicados. Se ha considerado a partir de 1976, debido a que, desde ese año entró en operación el reservorio de Poechos, contándose de esta manera con caudales regulados por el reservorio, - el cual en el mes de Mayo de 1983, llegó a almacenar volúmenes muy cercanos a los 900 MMC, como consecuencia se tuvo que evacuar caudales del orden de los 2,230 m³/s al cauce del río Chira.

En el lapso de estos 7 meses de 1983, entró al reservorio una masa total de 14,937 MMC, teniendo en cuenta la masa total registrada en el Puente Sullana, se observa una diferencia de - casi 3,000 MMC, lo que grafica la gran magnitud de los aportes entre el reservorio y el Puente Sullana, provenientes de las numerosas quebradas que se formaron, de igual forma, los aportes de los afluentes, aguas abajo del Puente Sullana, fueron sumamente grandes, se estima que a los valores medidos en Sullana se agregan unos 1,000 m³/s (según informaciones de -- técnicos encargados de la zona), siendo la quebrada más importante la de Samán.

En la estación del Puente Sullana, los caudales registrados - no regulados por el reservorio, como se ha visto, son hasta - el año 1975, a continuación se muestra valores promedios mensuales registrados en dicha estación hasta dicho año en un -- lapso de 39 años:

Estación : Puente Sullana. (2)

1937-75	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Total
V MMC	204	444	948	728	335	207	153	3,019
Q m ³ /s	76	182	354	281	125	80	57	---

Se observa que la masa total en estos 7 meses, fue en 1983: -
6 veces más que el promedio de los años anteriores, en que -
no existía el reservorio.

Las máximas avenidas registradas a partir de 1972 se muestran
a continuación :

AÑO	1972	1973	1975	1977
Qp m ³ /s.	3700	1360	1410	1452

Sin embargo, durante los primeros meses de 1983, se presenta-
ron las siguientes avenidas máximas :

1983	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio
Qp m ³ /s	1364	2180	3592	3090	3674	4050	421

2.3.2 Precipitaciones pluviales en dos estaciones : Piura y Sullana.

Análogamente, para establecer un nivel comparativo adecuado, se muestran los registros correspondientes al año 1983 y los promedios de los años anteriores, presentándose valores mensuales desde Enero hasta Junio. Los totales indicados corresponden a los 6 meses. Además se muestra un análisis de persistencia con la información existente hasta 1982 de Piura.

a.- Precipitaciones pluviales en Piura.

Los valores mostrados, son registros de la estación Corpac - (1932-1971) y por otro lado por la estación Miraflores - - - (1972-1983), esta última es operada por el Proyecto Chira -- Piura' :

1983	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Total
mm.	324.5	161.7	428.3	786.2	379.4	192.4	2,272.5
1932-82							
mm.	8.6	14.3	19	10.5	0.9	0.3	53.6

1983	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	TOTAL
mm.	324.5	161.7	428.3	786.2	379.4	192.4	2,272.5
1932-82							
mm.	8.6	14.3	19	10.5	0.9	0.3	53.6

Se observa que la precipitación total en estos 6 meses, fue - en 1983: 42 veces más que el promedio de los últimos 51 años.

De la información existente, se observa que para el periodo - 1932-1982, la precipitación máxima anual es de 208 mm. (1941) y el valor máximo mensual es de 154 mm. (1972) y según los últimos 11 años, la máxima precipitación diaria es de 65.3 mm - (1972).

De la información existente, para el año 1983, el que ha sido un año excepcional, la precipitación máxima anual fue de - -- 2,282.3 mm., el valor máximo mensual de 786.2 (Abril) y el -- máximo diario de 153.5 mm. (16 de Abril).

- Análisis de persistencia :

Con la información existente a 1982 y tomando los valores - mensuales, se ha elaborado el cuadro siguiente :

NIVEL MENSUAL

Rango de (mm.) precipitación	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada	% de precipi- tación mayor
0	75	181	100
0.1 - 2.0	29	106	59
2.0 - 5.0	13	77	42
5.0 - 8.0	15	64	35
8.0 - 16.0	13	49	27
16.0 - 25.0	6	36	20
25.0 - 37.0	9	30	17
37.0 - 55.0	5	21	12
55.0 - 80.0	9	16	9
80.0 -105.0	4	7	4
105.0 -130.0	1	3	1
> 130	2	2	1

Del cuadro anterior se observa por ejemplo, que una precipitación mensual de 55 mm. tiene un porcentaje de 12% de que sea superior a ésta.

Al examinar la información del año 1983, se puede observar que los 6 meses son superiores a este cuadro, por lo que -- podríamos estar con eventos muy superiores a 100 años de -- período de retorno.

b.- Precipitaciones pluviales en Sullana.

Los registros mostrados a continuación son de la estación - Mallares : (1)

1983	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	TOTAL
mm.	321.4	220.4	503.2	611.0	463.7	233.7	2,353.4
1972-82							
mm.	7.6	16.2	28.2	6.2	1.4	0.2	59.8

Se observa que la precipitación total en estos 6 meses, fue en 1983 : 39 veces más que el promedio de los últimos 11 -- años.

Notas :

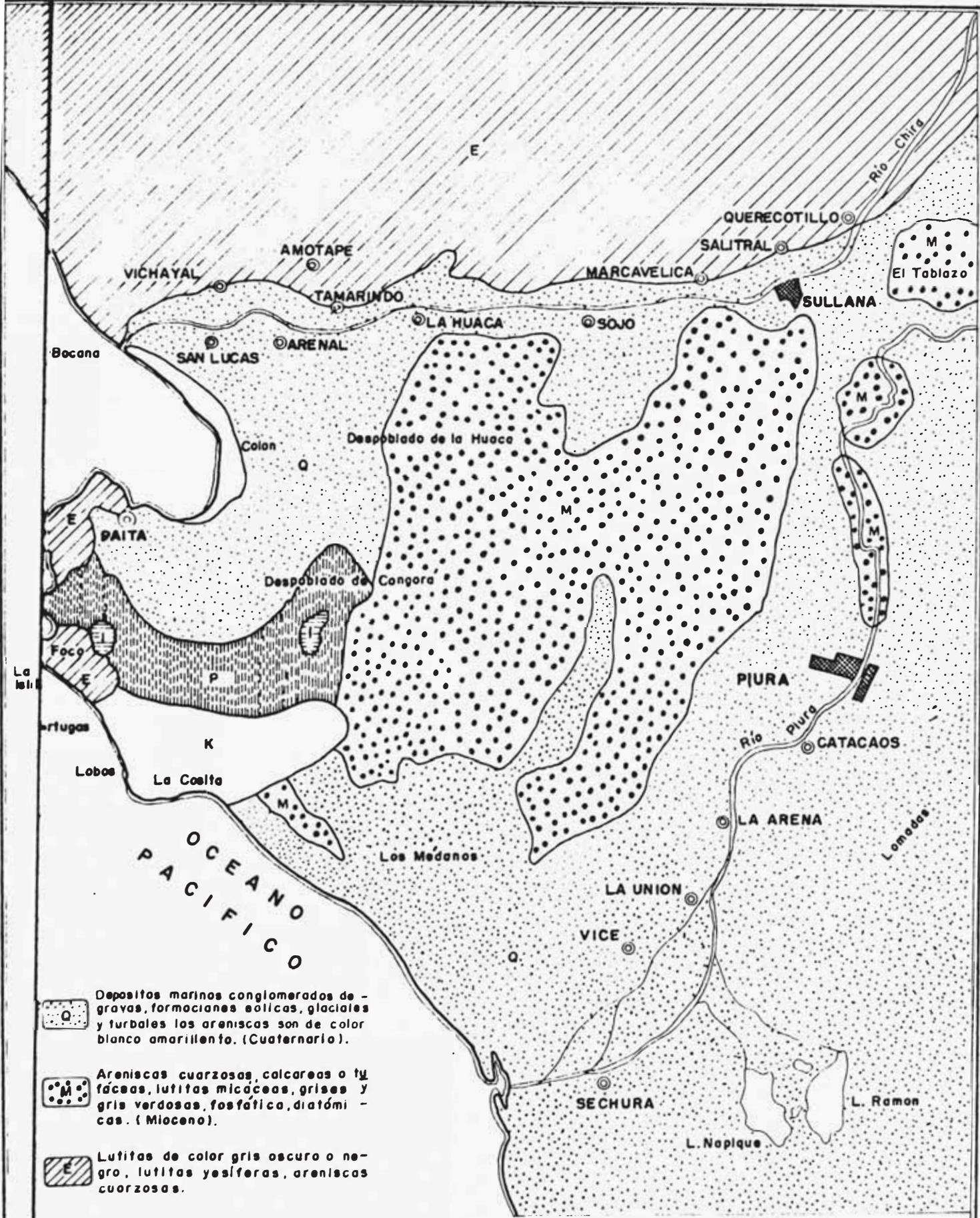
(1) Fuente : DEPECHP : Dirección Ejecutiva del Proyecto Especial Chira-Piura.

(2) Fuente : SENAMHI.

2.4 COMENTARIOS.-

1. Las características geológicas de la zona de estudio, nos indican que en épocas pasadas, fueron frecuentes las intensas y continuas precipitaciones pluviales, y en las épocas recientes, las grandes llanuras desérticas y semidesérticas, con grandes depósitos eólicos, indican que el clima actual, caracterizado por escasas precipitaciones, se ha iniciado muchos siglos atrás.
2. La información existente (registros hidrológicos), que abarca un lapso máximo de 51 años, indica que el evento de 1983 ha sido un caso excepcional, con un período de retorno muy superior a los 100 años.

ANEXO 2.1.- LAMINAS



- 
 Depositos marinos conglomerados de -
 gravas, formaciones eolicas, glaciales
 y turbales las areniscas son de color
 blanco amarillento. (Cuaternario).
- 
 Areniscas cuarzosas, calcareas o tu-
 fáceas, lutitas micáceas, grises y
 gris verdosas, fosfática, diatómi-
 cas. (Mioceno).
- 
 Lutitas de color gris oscuro o ne-
 gro, lutitas yesíferas, areniscas
 cuarzosas.
- 
 Esquistos antobédicos ortomeises,-
 cuarcitas micáceas.
- 
 Granitos, sienitos nefelínicos, pó-
 fido rojo relacionados con esquis-
 micáceas, pilitos ricos en compo-
 nentes alcalinos.
- 
 Secuencias de brechas, capas fo-
 silíferas, areniscas verdosas y ma-
 cizas. (Areniscas radiolaritas).

MAPA GEOLOGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO

LAMINA 2-2

3. CIUDAD DE PIURA

3.1 GENERALIDADES

3.1.1 Ubicación

La Ciudad de Piura, capital del Departamento del mismo nombre, se encuentra ubicada geográficamente a 5º 12' de Latitud Sur y a 88º 32' de Longitud Oeste. Su altitud corresponde a las cotas 26 m. y 42 m. sobre el nivel del mar.

Situada en el Km. 1039 de la Panamericana Norte, se vincula mediante la misma vía a las ciudades de Sullana (37 Km.), Talara (120 Km.), Tumbes (301 Km.).

3.1.2 Aspectos Históricos.

- La ciudad de Piura ha estado ubicada en 4 lugares distintos desde su fundación.
- 1532: Es fundada por Francisco Pizarro con el nombre de San Miguel, en el lugar denominado Tangarará.
- 1588: Se estableció en forma definitiva en el lugar actual, en sesión de Cabildo el 15 de Agosto, con el nombre de San Miguel del Villar de Piura.

3.1.3 Población.

El censo del 12 de Julio de 1981, permitió establecer que la población de Piura, incluyendo el distrito urbano de Castilla con el cual conforman una unidad, llegaba a 207,934 habitantes, lo que representó el 45% de la población urbana de la provincia -- del mismo nombre. Con respecto al censo de 1972, la tasa anual de crecimiento fue de 4.4%, estimándose que en 1983 la población alcanzó aproximadamente 226,230 habitantes.

3.1.4 Clima.

El clima predominante es el tropical, su temperatura en los últimos 10 años ha variado entre los 13ºC - 30ºC en invierno y -- 18ºC - 36ºC en el verano. Las lluvias son esporádicas y se presentan en los meses de verano, en 51 años el promedio de precipitación ha sido 55 mm, sin considerar el año 1983.

- Los vientos predominantes van en dirección SO-NE de la ciudad.

3.2 ESTRUCTURA E INFRAESTRUCTURA URBANA.

A continuación se muestra en forma sintética: algunos aspectos de la estructura urbana y además el Sistema de Agua y Alcantarillado. Es importante mencionar que esta descripción corresponde al estado y características de la ciudad antes del desastre (1982), lo que nos permitirá entender con mayor claridad los daños ocurridos que se describirán más adelante en el acápite 3.3 .

3.2.1 Estructura urbana. (1)

a.- Descripción Global.-

El área neta urbana ocupa una superficie aproximada de - - - 2,000 Has. La densidad promedio es 110 Hab/Ha. Considerando las áreas no desarrolladas y los terrenos de las universidades, el área total es de 2,450 Has.

El proceso de urbanización ha configurado a la fecha una estructura urbana caracterizada por dos franjas alargadas, una que va hacia el Oeste (Piura) en dirección a Paita, a lo largo de 6 Km. de la Panamericana y la otra hacia el Sur (Castilla) en dirección al Valle del Bajo Piura a lo largo de 4 Km. de la vía a Catacaos.

La estructura del espacio urbano de la ciudad es diversa, -- apreciándose que en la parte antigua de la ciudad las vías -- son angostas y estrechas, y en las áreas de reciente expansión urbana las calles y espacios son amplios.

En general se aprecia una estructura básicamente configurada por construcciones de 1 y 2 pisos. En las inmediaciones de la Plaza de Armas se aprecia un núcleo de edificaciones de -- más de 10 pisos.

El paisaje inmediato exterior, es variado, teniendo características que van desde paisajes típicamente desérticos: al -- Este y Oeste, hasta áreas cultivadas y bosques: al Norte y -- Sur.

(1) Las cifras mostradas en el presente acápite han sido elaboradas en base a las referencias -- 17, 18,21 y al trabajo de campo realizado en la ciudad.

b.- Sectores Orgánicos Urbanos.

Para los efectos del presente estudio, se distinguen 3 áreas típicas (ver Lámina 3-1), definidas según el uso predominante:

- Asentamientos Humanos Regulados : (A.H.R.) Areas de uso -- residencial predominante, urbanizadas y reguladas : urbanizaciones y parte del casco central.
- Asentamientos Humanos Marginales : (A.H.M.) Areas de uso - residencial predominante, no urbanizados y espontáneos : - Pueblos Jovenes.
- Areas No Residenciales : (A.N.R.) Areas no destinadas para viviendas, reguladas : de uso comercial, recreacional, industrial, institucional, etc.

En consecuencia, se puede desglosar el área urbana de la siguiente manera : (Has.)

DISTRITO	A.H.R.	A.H.M.	A.N.R.	TOTAL
Piura.	610	710	380	1700
Castilla	270	280	200	750
Total	880	990	580	2450
	36	40	24	100

Dentro de estas áreas típicas, se encuentran los distintos - Sectores Orgánicos Urbanos, como puede apreciarse en la Lámina 3-1.

c.- Edificaciones.

Según el censo de 1981, se registraron dentro del área urbana Piura-Castilla, 34,840 viviendas y 90 edificaciones colectivas (Hospitales, hoteles, convento, asilo, etc.).

Los materiales predominantes de las viviendas son el ladrillo y el adobe, como puede verse en la Lámina 3-2. En los -

A.H.R. predomina el ladrillo y en los A.H.M. predomina el adobe. A continuación se muestra la siguiente proporción - aproximada:

Ladrillo	55 %
Adobe	25 %
Quincha	5 %
Esteras y otros	15 %

Los materiales predominantes de los techos son la calamina y concreto armado. En los A.H.R. predominan los de concreto armado y en los A.H.M. los de calamina. A continuación se presenta una proporción aproximada:

Calamina	60 %
Concreto Armado	20 %
Caña y/o esteras	10 %
Otros	10 %

En los A.H.R. predominan las edificaciones en buen estado, - en el casco central las de bueno y regular estado, en los - A.H.M. predominan las de regular y mal estado, además en -- estos asentamientos es frecuente encontrar techos de calamina, eternit y/o listones de madera con caña y esteras, - -- generalmente en mal estado, además los pisos son frecuentemente de tierra apisonada. A continuación se presenta la - siguiente proporción aproximada, teniendo en cuenta el estado de la construcción de las viviendas :

Bueno	40 %
Regular	25 %
Malo	35 %

Como se ha mencionado anteriormente, la altura de las edificaciones son en su mayoría de 1 y 2 pisos, a continuación se muestra una proporción aproximada :

1 piso	70 %
2 pisos	25 %
3 ó más pisos	5 %

d.- Sistema Vial.

Según el Plan Regulador, se pueden distinguir en Piura las siguientes vías más importantes : (Ver Lámina 3-3).

- Vías Regionales.
- Vías de Servicio Interurbano.
- Vías Principales Urbanas.

3.2.2 Sistema de Agua y Alcantarillado.

a.- Sistema de Agua.

La fuente de abastecimiento de Piura-Castilla es el agua -- subterránea, captada mediante pozos profundos, estando el -- rendimiento de los equipos de bombeo entre los 15 y 100 - - lt/seg., los cuales son accionados íntegramente con motor - eléctrico. El agua impulsada es inyectada a las redes en - la mayoría de los casos y en otros se almacena en Reservo-- rios Elevados, desde los cuales se alimenta al sistema de - redes. El tratamiento aplicado al agua subterránea es úni-- camente a base de cloro.

En total, cuenta con 13 pozos (10 en Piura y 3 en Castilla), 9 reservorios que totalizan una capacidad de 10,900 m³. -- Las redes de distribución tienen una longitud total de - -- 240,965 ml. En su mayoría son de asbesto cemento y en el - casco antiguo de fierro dúctil, que se distribuyen de la -- siguiente manera : (ml.)

Ø 4"	Ø 6"	Ø 8"	Ø 10"	Ø 12"	TOTAL
161,270	32,835	24,505	18,605	3,750	240,965.

Las redes de agua potable están instaladas en una extensión de 1,195 Ha. y 22,904 conexiones domiciliarias, sirviendo - al 68% de la población urbana total.

b.- Sistema de Alcantarillado.

No está diseñado para las aguas pluviales. Consta de los -

los siguientes elementos :

- Redes colectoras.
- Buzones.
- Cámaras de Reunión.
- Cámaras de Bombeo.
- Líneas de Impulsión.
- Lagunas de Estabilización.

Las redes están tendidas en un área de 1,090 Has. de las -- cuales solamente 512 Has. tienen conexiones domiciliarias, -- sirviendo al 47 % de la población urbana de Piura-Castilla, -- estimándose que un 10% cuenta con conexiones clandestinas y -- el resto cuenta con sistemas individuales (pozos).

La red de alcantarillado cuenta con 4 sistemas :

- Sector Sur-Este, Casco antiguo de Piura y Castilla : me -- diante 2 cámaras de reunión y bombeo (C.R.B.): "Piura" -- (Nº.5) "El Cortijo" (Nº.4), son impulsadas las aguas ser-- vidas hacia la laguna "Coscomba" (14 Has.)
- Sector Sur-Oeste, Piura: mediante 3 C.R.B.: "San Martín"-- (Nº.2), "San José" y "Consuelo de Velasco", son impulsa-- das las aguas servidas hacia las 2 lagunas de oxidación -- de San Martín (6 Has.).
- Sector Norte, Piura: mediante la C.R.B. son impulsadas -- las aguas servidas hacia un Tanque Séptico.
- Sector Sur, Castilla: mediante una C.R.B. son impulsadas -- las aguas servidas hacia un Tanque Séptico, dentro de la -- zona del P.J. El Indio, causando malestares a la pobla-- ción.

Las 7 C.R.B. (5 en Piura y 2 en Castilla) constan de un sistema de rejillas, una cámara húmeda (Cámara de Reunión) y -- una cámara seca (Cámara que aloja el equipo de bombeo) con-- tigua a la húmeda. Existen 3 líneas de impulsión principa-- les que corresponden a las C.R.B. Nº.5, Nº.4 y Nº.2.

A continuación se muestra un resumen de las redes colectoras en Piura - Castilla : (año 1982).

Concepto	Ø (Pulg)	Tubería en buen estado (mt)	Tubería en mal estado (mt)
Colectores	6	1,020	10,285
	8	145,980	4,516
	10	1,875	880
	12	2,275	100
	14	815	460
	16	720	
	18	3,950	
	21	1,215	
	22	175	
	24	2,470	
	32	1,355	
	TOTAL		161,850

Buzones 2,349 unidades.

El mal estado de las tuberías se debe entre otros factores: a la antigüedad (casco central), mala calidad de tuberías, a la acción destructiva de los suelos salinos, etc.

Para concluir, debemos agregar que, el Sistema de Alcantarillado de Piura ha tenido que contar con Cámaras de Reunión y Bombeo para impulsar las aguas servidas debido a la topografía casi plana de la ciudad, obligando a que los colectores tengan pendientes mínimas, por razones de economía.

3.3 ESTUDIO DEL PROCESO GEODINAMICO PRODUCIDO, DESCRIPCION Y EVALUACION DE DAÑOS.

Los factores más importantes que condicionaron el Proceso Geodinámico Externo -caracterizado en el caso de Piura por inundaciones debido -- principalmente a las lagunas que se formaron y a la acción del río y

la quebrada Petroperú - fueron los siguientes :

- Meteorológicos.
- Hidrológicos.
- Geológicos.
- Hidrogeológicos.
- Topográficos.
- Ausencia de sistemas adecuados de protección y de drenaje de las aguas.

En general, la manera como concurren estos factores en determinado -- evento determinan el grado de afectación en áreas de importancia - -- socioeconómica.

En resumen, durante el evento de 1983, estos factores concurren de la siguiente manera :

Por un lado, como se ha visto anteriormente (2.3), los factores meteorológicos e hidrológicos tuvieron características extraordinarias, - con un período de retorno muy superior a los 100 años, lo que originó tremendos flujos de agua; por otro lado, las características geológicas entre las cuales la no cohesividad de los suelos predominantes -- (Depósitos eólicos) facilitaron la erosión del terreno especialmente en las márgenes del río Piura; por otra parte, las condiciones hidrogeológicas, caracterizadas por una napa freática demasiado alta, afec taron considerablemente el área urbana; además las características -- topográficas del área urbana y su entorno permitieron entre otros casos, la formación de grandes lagunas (Zonas deprimidas) y la forma - - ción de quebradas; todo esto sumado a la falta de : protección contra la erosión, un adecuado sistema de evacuación de aguas pluviales, con sideración de áreas críticas en la planificación de las áreas urba - - nas, que se manifestaron en eventos pasados (1891-1925-1972) etc., -- dió como resultado a que se expusieran a torrenceras e inundaciones a grandes sectores urbanos, permitiéndose de esta manera una secuela de tremendos daños.

Los tres primeros factores mencionados han sido tratados anteriormen - te (2.2, 2.3), en el presente capítulo se verán algunos aspectos - --

geológicos locales y los otros factores condicionantes, además se describe el fenómeno geodinámico y los efectos en la estructura e infraestructura urbana de Piura-Castilla.

3.3.1 Geología Local.

Los suelos del área urbana Piura-Castilla y sus alrededores están conformados por potentes depósitos de materiales finos de origen eólico y aluvial, predominantemente arenoso y arenoso limoso.

Los depósitos arenosos y arenos limosos presentan compacidades que van de sueltas a medianamente densas, sus permeabilidades fluctúan entre semipermeables y permeables, en general presentan fácil drenaje, aunque en ciertas zonas deben localizarse capas o lentes impermeables. Son generalmente erosionables debido a su poca cohesividad.

Durante los años de escasas lluvias, se ha identificado zonas urbanas que temporal o permanentemente tienen la napa freática a una profundidad menor de 3 mt. (1); delimitándose 6 zonas urbanas de isoprofundidad, que al tener el nivel freático alto, ejercen acción directa sobre la infraestructura urbana y la cimentación de las edificaciones.

En la lámina 3-4 se muestran las zonas afectadas dentro del Casco Urbano, se incluyen zonas con napa freática superiores a 5 mt. en el Casco Central debido a la tendencia a construir edificios de gran altura, en cuyo caso la cimentación también se ven comprometidas por ésta napa freática, de alto poder destructor del concreto, por su salinidad. Evidentemente durante los períodos lluviosos esta napa freática se eleva considerablemente.

3.3.2 Topografía Local.

En general, la topografía es casi llana, con una variación - -

(1) "Estudio de Drenaje de la Ciudad de Piura". CENDRET.
Convenio Perú-Holanda 1968-1970.

máxima de un 3% especialmente en la zona extrema Norte de Piura. Se observan además zonas deprimidas topográficamente dentro del área urbana y en las zonas exteriores inmediatas, sobre todo en la parte Sur.

Las cotas fluctúan entre 26 y 42 msnm. El lecho del río se encuentra a una elevación promedio de 24 mt., en las riberas las edificaciones tienen cotas que oscilan entre 28 y 30 mts.

La pendiente general del terreno tiene en Piura una dirección Sur-Este y en Castilla Sur-Oeste, de esta manera podemos observar que la tendencia general del terreno de Piura y Castilla -- está ligado a la dirección y ubicación relativa del río. En la lámina 3-4 podemos observar las curvas de nivel en el área urbana.

3.3.3 Acción de la Geodinámica Externa y Efectos en la Estructura Urbana.

Durante las intensas precipitaciones ocurridas entre Enero y -- Junio de 1983, la acción de la Geodinámica Externa estuvo representada por la inundación de considerables áreas urbanas, debido principalmente a la existencia de zonas deprimidas topográficamente sin posibilidades de drenaje, y por otra parte por la -- erosión producida por la acción de la quebrada Petroperú y del río, en especial de este último.

a.- Niveles de afectación en las áreas urbanas.

El comportamiento del área urbana, ante el intenso período lluvioso fue prácticamente ineficiente, demostrando no estar preparado para eventos de esta naturaleza. El único -- sector que tuvo un comportamiento adecuado, es decir con -- una suficiente capacidad de evacuación de aguas pluviales -- fue el Casco Antiguo, este pequeño sector representó aproximadamente el 2.5% del área total.

A continuación se presenta esquemáticamente el comportamiento general del área urbana (ver lámina 3-5). Los valores -- presentados son aproximados y los porcentajes están con --

respecto al área neta urbana (2,000 Has.) :

Zonas Urbanas.	Has.	%
- No Afectadas. Con capacidad de evacuación de aguas pluviales.	50	2.5
- Afectadas . Con deficiente capacidad de evacuación pluvial	1,950	97.5
T O T A L	2,000	100.0

Las áreas urbanas con deficiente capacidad de evacuación -- pluvial, fueron afectadas de diferente grado y de distinta manera. A continuación se muestran los grados de afectación :

Zonas Urbanas Afectadas	Has.	%
- Gravemente afectadas.	185	9.2
- De menor grado de afectación	1,765	88.3
T O T A L	1,950	97.5

A continuación se muestran las distintas formas de afectación de las áreas urbanas :

Zonas Urbanas Gravemente Afectadas	Has.	%
- Por formación de lagunas.	125	6.2
- Por erosión de riberas	30	1.5
- Por quebradas	30	1.5
T O T A L	185	9.2

Zonas de Menor Grado de Afectación.

- Por inadecuada evacuación pluvial.	1,680	84.
- Por lagunas de menor duración.	85	4.3
T O T A L	1,765	88.3

b.- Formación de lagunas en el área urbana.

Las zonas urbanas afectadas gravemente por la formación de grandes lagunas, alcanzó una extensión aproximada de 125 Has. La característica común de estas lagunas fue que permanecieron durante casi todo el período lluvioso, a pesar de los esfuerzos que se hicieron para evacuarlas durante la emergencia, debido a que se recargaban en cada lluvia, esta situación se vió favorecida por la saturación del suelo, dada las características del nivel freático alto de la ciudad (ver 3.3.1). Es importante indicar que luego de cada lluvia intensa se formaron otras lagunas, también de considerable tamaño pero de menor duración abarcando una extensión de 85 Has. las que se verán más adelante; de tal manera que la ciudad quedaba inundada en una extensión total de 210 Has., sin considerar los aniegos menores que se formaron en casi toda la ciudad.

Esta situación se produjo debido básicamente a la clara depresión topográfica del área donde se formaron las lagunas, estando ubicadas generalmente dentro de cuencas ciegas siendo el punto final donde confluyeron las aguas de estas cuencas urbanas, sin tener ninguna posibilidad de evacuación por gravedad a través de las vías.

En Piura estas lagunas se formaron principalmente en el sector Este, como puede verse en la Lámina 3-5, la laguna más importante fue la que se formó en la zona comprendida entre la Urb. Bancaria - Urb. Magisterial - El Chical - Villa Militar y la Urb. Petroleros, alcanzando un espejo de agua de 25 Has. aproximadamente, estimándose en 100 Has. la cuenca recolectora de estas aguas pluviales, que alcanzaron una altura de 2.0 mt. sobre el nivel de piso de las viviendas, las que se tornaron inhabitables durante el período lluvioso, en la Foto 3-1 puede verse esta laguna. En Castilla se formaron principalmente en la zona Oeste, (ver Foto 3-2), afectando en total a 30 Has. aproximadamente. La laguna que se formó en las inmediaciones del mercado de Castilla fue evacuada

hacia el río, produciéndose como consecuencia una gran erosión en el Jr. Piura, la cual alcanzó una profundidad de casi 3.0 mt. afectando las tuberías del Sistema de Alcantarillado. (Ver Foto 3-3).

Durante el período lluvioso, se efectuaron trabajos de emergencia con la finalidad de evacuar estas lagunas, los que no tuvieron en general un plan técnico adecuado, observándose entre otras cosas, por ejemplo, el fracasado intento de bombear las aguas de la laguna el Chilcal hacia el Norte al otro lado de la Panamericana, (Av. Sánchez Cerro), cuando la topografía predominante es de Norte a Sur, afectando a dicha zona y sin lograr resultados adecuados; o el intento de evacuar las lagunas de la parte Norte de Piura, hacia el río en una zona crítica debido al cambio de dirección que presenta en esta parte, teniéndose que tapar esta salida ante el peligro que el río ingrese a la ciudad, etc., tras varios intentos se dió salida parcialmente a las aguas de las lagunas hacia el Sur, por medio de bombeo y drenaje por gravedad de las zanjas que se hicieron en ciertas vías (ver lámina 3-5 y foto 3-4), atenuándose de esta manera los efectos negativos de las lagunas.

Los efectos en la estructura e infraestructura urbana serán tratados más adelante.

c.- Acción dinámica del río.

Las áreas urbanas gravemente afectadas por la acción dinámica del río, alcanzaron aproximadamente 25 Has. La característica de esta dinámica fue la acción erosiva que causó el río Piura con sus enormes crecientes que se desbordaron por ambos márgenes causando efectos violentos y destructores en las viviendas e infraestructura situada en ambas riberas del río.

Esta situación se produjo debido básicamente a la reducción del ancho del cauce del río al pasar por las zonas urbanas, debido a la presencia de diques existentes en ambos márgenes, alcanzando niveles peligrosos (ver Foto 3-7) dado los

grandes caudales que se registraron en este periodo (ver -- 2.3.1), alcanzando un caudal máximo de $3,200 \text{ m}^3/\text{s}$. Las mayores restricciones del ancho se acusa en los tres puentes cuyas luces son las siguientes :

- Puente Sanchez Cerro	116 m.
- Puente Piura	112 m.
- Puente Bolognesi	131 m.

Esto explica que los primeros efectos erosivos se produje-- ron en los estribos de los puentes (ver Fotos 3-5 y 3-6) -- poniéndolos en peligro de colapso. Durante la emergencia - se realizaron trabajos que atenuaron la acción erosiva, - - evitando que colapsaran, el puente Bolognesi fue protegido mediante tablestacas metálicas que fueron hincadas a los -- costados del estribo de la margen izquierda, dado que la -- acción de el río fue mayor en esta margen debido a la curva tura que experimenta la dirección del cauce al pasar espe-- cialmente por esta parte, los otros puentes fueron protegi-- dos con sacos de arena.

La acción erosiva fue facilitada por la calidad del suelo - tanto del lecho como de las márgenes, al ser poco cohesivo, compuesto por finos areno limosos (ver 3.3.1) fácilmente -- erosionables. A pesar de la pendiente muy suave del río -- (0.001) y a los obstáculos que configuran los puentes, los - grandes caudales transportados pudieron pasar debido a la - degradación del fondo que ha llegado a profundidades de - - socavamiento de 3.5 m. dando así mayor sección de escurri-- miento que evitó el desborde y mayor destrucción de sus - - márgenes.

En los tramos 3, 5, 6 y 7 (Ver lámina 3-6) se observaron -- mayores destrucciones, debido a que las construcciones esta-- ban más cerca al río (ver Fotos 3-8, 3-9, 3-10), socavando en primer lugar la base de los diques de tierra, motivando su deslizamiento y derrumbe al perder su plano de apoyo, -- para luego socavar las construcciones en las márgenes. En el tramo 8 los diques también fueron socavados y al ser - -

cortados por regantes se dió acceso al agua causando inundaciones en los alrededores de la ciudad.

d.- Acción dinámica de las quebradas.

En los extremos Este y Oeste del área urbana Piura-Castilla se formaron dos quebradas que incursionaron violentamente - en áreas urbano-marginales, causando graves destrozos a su paso, afectando aproximadamente a un total de 30 Has.

Por una parte la quebrada "Petroperú", en el extremo Oeste de la ciudad dentro del distrito de Piura, afectó gravemente a una extensión aproximada de 20 Has. La dinámica de -- esta quebrada se caracterizó por la inundación de dichas -- áreas y por la erosión de las vías urbanas que le sirvieron de cauce a lo largo de su recorrido, llegando la erosión a una profundidad de 1.50 mts., afectando a las construcciones que estaban en sus márgenes.

La dirección de la quebrada "Petroperú" fue de Norte a Sur, siendo obstruido el paso de las aguas por la Carretera - -- Panamericana, represándose en una primera instancia, afectando las instalaciones de Petroperú que quedó como una - - isla, para luego socavar el terraplén de la vía, haciéndola colapsar, irrumpiendo posteriormente sobre las áreas urbanas aguas abajo, afectando a los Pueblos Jovenes "San Martín" y "Nueva Esperanza", efectuando un recorrido de 2 km.- aproximadamente dentro de dichas áreas (ver lámina 3-12), para luego dirigirse hacia las afueras en dirección Sur-Este, formando una gran laguna que afectó a la Carretera que va a La Legua.

Por otra parte, la quebrada "Alto de los Gallos", en el extremo Este de la ciudad dentro del distrito de Castilla, -- afectó gravemente a una extensión aproximada de 10 Has. La dinámica de la quebrada dentro del área urbana fue similar, causando además el rebose del canal Los Ejidos - Catacaos, afectando a los Pueblos Jóvenes "Los Almendros" y "José - - Quiñones".

e.- Lagunas de menor duración en el área urbana.

Las áreas afectadas por estas lagunas, alcanzaron aproximadamente 85 Has. La característica común de estas lagunas fue que tuvieron menos duración que las mencionadas en el acápite "b", siendo por lo tanto su incidencia menos intensa, razón por la cual han sido clasificadas dentro de las de menor grado de afectación, si los daños ocasionados fueron considerables, esto se debió básicamente a que se formaron principalmente en P.J., en donde las viviendas están generalmente en precarias condiciones.

Estas lagunas se formaron principalmente en Castilla en la parte Sur (Ver lámina 3-5), las lagunas más importantes fueron las que se ubicaron en los P.J. Campo Polo, El Indio, Chiclayito, y en Piura en el P.J. Pachitea.

De esta manera, la ciudad de Piura después de cada lluvia intensa, se cubría de una gran cantidad de lagunas, sumando las lagunas estancadas (acápite "b") totalizaban como se ha visto 210 Has. aproximadamente, lo que representa el 10% del área neta urbana, esto sin considerar los pequeños aniegos que se formaban en casi toda la ciudad, como se verá en el siguiente acápite.

f.- Inadecuada evacuación pluvial en áreas urbanas.

Las áreas urbanas afectadas en menor grado por esta razón, alcanzaron aproximadamente una extensión de 1,680 Has. representando el 84% del área neta urbana (ver lámina 3-5).

Evidentemente, las áreas afectadas mencionadas en los acápites b, d y e, se caracterizaron por tener también una deficiente capacidad de evacuar las aguas pluviales, siendo el rasgo común el comprometer a considerables volúmenes de agua, afectando en mayor grado a dichas áreas.

En este caso la característica común fue el comprometer volúmenes reducidos de agua, es decir pequeños aniegos que se formaron en casi toda la ciudad, debido al mal diseño de las

vías (ver Foto 3-11), al no tener pendientes adecuadas para evacuar rápida y eficientemente las aguas pluviales.

g.- Areas con capacidad de evacuación pluvial.

El único sector con un sistema eficiente de evacuación de - aguas pluviales lo constituyó el Casco Antiguo, con una extensión aproximada de 50 Has. (Ver Lámina 3-5), las calles muestran pendientes adecuadas drenando hacia el río, la evacuación era rápida y eficiente, facilitada por ser de con--creto el pavimento de estas vías.

3.3.4 Efectos en el Sistema Vial Urbano.

En el párrafo anterior, se ha podido observar los factores que intervinieron en la afectación de las diferentes áreas urbanas.

Los daños ocasionados al Sistema Vial evidentemente estuvieron relacionados con dichos factores, razón por la cual podemos --tipificar los daños (Ver lámina 3-7) de la siguiente manera :

- Daños causados por lagunas.-

Los daños fueron mayores debido básicamente a la sobresaturación de las vías, dado los grandes estancamientos de agua, estos daños fueron favorecidos por el paso de vehículos - - (Ver fotos 3-1 y 3-11). De esta manera, en las vías asfaltadas fue deteriorada gran parte de la carpeta asfáltica y en muchos sectores fue afectada la estructura del pavimen--to, al producirse pequeños asentamientos, deformaciones y - huecos debido a la humedad y al paso de vehículos; de igual forma en las vías afirmadas fue deteriorado el afirmado en muchos sectores.

- Daños causados por el río.-

Los daños se debieron, por una parte a la acción erosiva, - la que en el tramo 6 (ver Lámina 3-6) destruyó y arrasó el Malecón Eguiguren haciéndolo desaparecer; por otro lado debido al desbordamiento, al lograr filtrarse por las compuertas de las Calles Lambayeque y Ayacucho en los tramos 5 y 7 respectivamente, inundando y deteriorando la carpeta asfál-

tica y en algunos sectores la estructura del pavimento de la calle Lima, inundando también el parque Pizarro, en la margen izquierda en los tramos 3 y 4 afectó a la avenida -- Tacna, en forma similar.

- Daños causados por la quebrada.-

Los efectos producidos por la quebrada Petroperú fueron -- drásticos, debido a que erosionaron las vías que le sirvieron de cauce, llegando como ya se ha visto a una profundidad de 1.5 m., se observó además que la socavación fue mayor en los cambios de dirección. La erosión afectó de esta manera a un tramo de 500 m. afirmado y al resto que se encontraba sin afirmar : 1,500 m. aproximadamente.

- Daños causados por inadecuada evacuación pluvial.-

Debido a las intensas lluvias y a su continuidad durante el largo periodo lluvioso, las vías al transportar los flujos pluviales locales terminaron por resultar afectadas en su gran mayoría, debido a que como se señaló anteriormente -- (ver 3.3.3 f.) estas no contaban con pendientes adecuadas para evacuar eficientemente las aguas pluviales, formándose continuos aniegos (ver Foto 3-11).

De esta manera en determinadas vías asfaltadas fue deteriorada gran parte de la carpeta asfáltica y en ciertos sectores fue afectada la estructura del pavimento formándose numerosos huecos, estos daños fueron favorecidos también por el paso de los vehículos; de igual forma en las vías afirmadas fue deteriorado el afirmado en muchos sectores.

3.3.5 Efectos en las Edificaciones.

Los daños en las edificaciones, estuvieron también relacionados con el comportamiento de las distintas áreas urbanas. En general, se considera que dos fueron los factores fundamentales -- que incidieron en la magnitud de los daños:

- Por estar ubicadas en zonas vulnerables .-

Este fue el factor determinante en los daños a las edifica-

ciones ubicadas en las zonas urbanas denominadas : Gravemente Afectadas (Zonas Vulnerables).

- Por el tipo de material y el mal estado de las edificaciones.-

Este fue el factor determinante en las zonas menos vulnerables. Evidentemente favoreció los daños en las Zonas Vulnerables.

a.- Ubicación en Zonas Vulnerables.

En estas zonas se observa una mayor concentración de edificaciones dañadas. En este caso podemos tipificar los daños de la siguiente manera :

- Daños causados por erosión :

Este tipo de daños se caracterizó por ser más violento y drástico, habiendo colapsado inclusive edificaciones de material noble y en buen estado.

La erosión causada por la acción dinámica del río produjo los daños más severos, los factores que gobernaron esta dinámica se señalaron en el punto 3.3.3 c. Al desbordarse el río por ambas márgenes, erosionó en primer lugar las defensas para luego socavar el terreno de cimentación de las viviendas (ver Fotos 3-8 y 3-9), haciéndolas posteriormente colapsar, siendo arrasadas en algunos casos por la violencia de las aguas (ver Foto 3-10).

Las viviendas que colapsaron estuvieron ubicadas en los tramos 3, 5 y 7 (Ver Lámina 3-6), debido a que estuvieron ubicadas más cerca al río (Ver Fotos 3-7 y 3-12), en el tramo 6 las viviendas presentan sendas grietas, que indican asentamientos en la cimentación, debido a que el terreno quedó comprometido en esta zona al ser erosionado el Malecón Eguiguren.

Solamente en el tramo 5, entre el cuartel Reyna Farge -

y el Puente Sanchez Cerro, colapsaron 79 viviendas. El tramo 7 reviste de importancia debido a que detenta monumentos históricos y un edificio público moderno, de concreto armado, si bien no colapsaron es importante -- indicar el peligro que afrontan, al tener un mayor riesgo ante cualquier circunstancia parecida.

La erosión causada por la acción dinámica de la quebrada Petroperú, produjo también daños severos pero en menor cantidad, colapsando inclusive viviendas de material noble. Dentro del espacio urbano, las calles sirvieron de cauce las que fueron erosionadas en primer lugar, para luego socavar el terreno de cimentación de las viviendas destruyéndolas total o parcialmente y en otros casos la cimentación quedó comprometida. En los cambios de dirección se observaron mayores daños debido a que en estos sectores la acción erosiva se intensifico.

- Daños causados por inundación .-

Este tipo de daño se caracterizó por no ser violento y se debió básicamente al humedecimiento continuo del terreno de cimentación y de las paredes saturándolos, provocado principalmente por las lagunas que se formaron, inclusive por las de menor duración (Ver lámina 3-5).

Las edificaciones de material noble presentaron generalmente pequeñas grietas en las paredes, ubicadas casi siempre cerca a los vanos, lo que indica pequeños asentamientos. Las viviendas de quincha, adobe y esteras presentaron daños más severos, siendo más susceptibles las dos últimas como se verá en el siguiente acápite -- (b), destruyéndose de esta manera una gran cantidad de viviendas en forma total o parcial.

La inundación originada por el desbordamiento del río y la quebrada Petroperú, ocasionaron daños similares debido al humedecimiento, pero en menor intensidad.

b.- El tipo de material y el mal estado de las edificaciones.-

Si bien es cierto que estos factores no fueron determinantes en los daños producidos en las zonas vulnerables - pero sí los favorecieron, la destrucción total o parcial - de muchas viviendas ubicadas en las zonas consideradas menos vulnerables solamente se puede explicar con la incidencia de dichos factores, que predominaron en los barrios -- marginales (A.H.M.), razón por la cual la mayor cantidad - de viviendas afectadas pertenecen a dichos asentamientos.

De esta manera, el tipo de material de las edificaciones - incidió notablemente en la magnitud de los daños. En numerosas viviendas de adobe, los aniegos que se formaron aunque duraban muy poco terminaron por afectar la vivienda -- debido al continuo humedecimiento del terreno y las paredes (Ver Foto 3-13), colapsando en muchos casos; además en ciertos casos se pudo observar que las paredes no pudieron resistir la acción directa de las gotas de lluvia debido a la gran intensidad y persistencia (Ver Foto 3-15), terminando por destruirse, prácticamente se disolvieron. Los - daños en las viviendas de esteras son explicables por estado precario y débil de sus materiales.

El comportamiento observado de mejor a peor fue el siguiente : Ladrillo, quincha, adobe y estera, estos dos últimos fueron los más susceptibles, siendo por lo tanto las viviendas con estos materiales muy vulnerables, además numericamente representan el 40% del total existentes, como se ha podido ver en el acápite 3.2.1 c.

Por otro lado, el mal estado de las edificaciones propició la destrucción total o parcial de muchas de ellas, siendo suficiente para ello la persistencia de las lluvias y los aniegos temporales, presentándose inclusive casos de colapso dentro del Casco Antiguo considerado la zona menos vulnerable (Ver Foto 3-13). En general las viviendas en mal estado representaron antes de las lluvias aproximadamente el 35% (Ver 3.2.1 c.) lo que explica el gran número de viviendas afectadas.

Uno de los factores fundamentales que incidieron en la magnitud de los daños fue el mal estado en que se encontraban los techos, los que al no evacuar adecuadamente las aguas pluviales permitieron su ingreso al interior de la vivienda, lo que aumentó el humedecimiento de las paredes, por otro lado al no contar muchos de ellos con volados en el exterior, no protegieron adecuadamente las paredes de la acción directa de las lluvias (Ver Foto 3-14).

Es importante mencionar a manera de referencia, lo que se observa en muchos pueblos de la Selva peruana, aunque representa una realidad diferente a la Costa Norte, pero nos parece ilustrativo : La mayoría de las viviendas son de barro y muchas veces en mal estado, sin embargo casi nunca colapsan con las intensas lluvias propias de la región, debido básicamente a que los techos evacúan eficientemente las aguas hacia las vías protegiendo las paredes del humedecimiento, a su vez estas vías transportan generalmente las aguas hacia las afueras en forma inmediata.

Por otro lado en las edificaciones de ladrillo, los techos aligerados al no evacuar eficientemente las aguas permitieron la formación de pequeños empozamientos, lo que originó frecuentes filtraciones, especialmente a través de las cajas de luz instaladas, deteriorando los pisos siendo los de material vinílico y parquet los más susceptibles; tal es el caso del Hospital Regional de Piura que tuvo aproximadamente 10,000 m² de área techada afectada por filtraciones, deteriorando los pisos, además en dicha edificación se observó numerosas grietas, algunas de ellas muy graves, lo que indicó que se produjeron asentamientos.

En el Casco Central las edificaciones con sótano tuvieron problemas con la napa freática

c.- Daños estimados .-

A continuación se muestra un resumen de las viviendas afec--

tadas (1) :

Distrito	Destrucción Total	Destrucción Parcial	TOTAL
Piura	2,440	6,850	9,290
Castilla	4,620	2,160	6,780
T O T A L	7,060	9,010	16,070
	20	26	46

Los porcentajes señalados en este cuadro se han tomado con respecto al total de viviendas registradas en Piura - Castilla en el Censo de 1981.

De las Viviendas afectadas en el distrito de Piura, el 93% - de las total o parcialmente destruidas le correspondieron a los Asentamientos Humanos Marginales. En estos asentamientos la proporción de dichas viviendas teniendo en cuenta el material de construcción se distribuyó de la siguiente manera (2) :

- Ladrillo	19 %
- Adobe	28 %
- Quincha	1 %
- Esteras y otros	52 %

A manera de referencia, a continuación se muestran las cifras de los dos A.H.M. más afectados y del Cercado :

Nombre	Dest. Total	Dest. Parcial
A.H.M. Nueva Esperanza	600	635
A.H.M. San Martín	281	1,070
Cercado Piura	42	171

En el distrito de Castilla, del total de viviendas destruidas parcial o totalmente, el 58 % le correspondió a los - -

(1) FUENTE : I.N.P. Oficina Departamental de Piura. 1983.

(2) FUENTE : Consejo Provincial de Piura. Comisión de Población y Salud. 1983.

A.H.M., esta distribución de daños completamente diferente - a lo sucedido en Piura, se debió básicamente al tipo de material susceptible y al mal estado predominante de las viviendas especialmente del cercado de Castilla. En Piura a pesar que las mayores lagunas se formaron en las urbanizaciones, - no se registró en éstas ningún caso de viviendas que haya -- colapsado.

Además de las viviendas, fueron deterioradas en diverso grado e inundadas otras edificaciones, entre las más importantes tenemos :

N O M B R E	AFECTACION
- Iglesia "Cristo Rey"	Total
- Iglesia "El Carmen"	Parcial
- Iglesia "San Francisco"	Parcial
- Catedral	Parcial
- Consejo Provincial de Piura	Inundación sótano
- Asilo de Ancianos	Parcial
- I.N.C.	Parcial
- Registro Electoral del Perú	Parcial
- I.P.S.S.	Inundación sótano
- Teatro "Manuel Vegas Castillo"	Parcial
- Estadio "Miguel Grau"	Parcial, inundación
- Coliseo "Miguel G. Seminario y J."	Parcial, inundación
- Piscina Olímpica Municipal	Parcial
- Hospital Regional de Piura	Parcial
- Dirección Departamental de Educación	Parcial
- Numerosos Centros Educativos, en unos caída parcial de techos, en otros caída total de aulas, Servicios Higiénicos destruídos, desagües malogrados en la mayoría, paredes húmedas y agrietadas, cercos perimétricos malogrados, etc.	

3.3.6 Efectos en el Sistema de Agua y Alcantarillado

- a.- Durante el período lluvioso, en general el Sistema de Agua - no mostró mayores daños, presentándose algunas dificultades y daños menores que incidieron básicamente en los trabajos -

de operación del Sistema :

- En la mayoría de las casetas de bombeo (construcciones de material noble y techo aligerado, para proteger y -- operar el equipo de bombeo de los pozos) se produjo filtraciones en el aligerado que sumado a las aguas que -- ingresaban a través del piso desde el exterior, terminaron por afectar a los tableros de control eléctrico que se encontraban generalmente a casi 0.20 mt. del piso; - en otros casos (Pozo Buenos Aires) las casetas se encontraban en zonas inundables siendo dificultoso el acceso hacia ellas; en el Pozo San Martín se observó un equipo de transformación de alta tensión (10,000 volt.) a ni--vel del piso, observándose que esta Sala del Tranaformador es fácilmente inundable, fue protegido durante las lluvias por montículos de arena, siendo un peligro - -- potencial en estas circunstancias.
- Los graves problemas que tuvo el Sistema de Alcantari--llado, como se verá más adelante, obligaron a racionar las horas de bombeo en los pozos de agua potable, limi--tándose el abastecimiento a sólo 5 horas diarias duran--te la emergencia, con la finalidad de evitar sobreca--rgar los sistemas de alcantarillado .
- Los trabajos de rehabilitación al Sistema de Alcantari--llado por parte de los Contratistas han ocasionado rotu--ras en las tuberías de agua potable.

b.- Sistema de Alcantarillado.-

Los mayores daños se produjeron en el Sistema de Alcantari--llado, ocasionando por un lado considerables pérdidas econó--micas y por otro lado profundos malestares en la población debido a los efectos nocivos a la salud, producido por las aguas servidas que tuvieron que discurrir superficialmente debido a la destrucción de los colectores (Ver Foto 3-17) .

Evidentemente, los daños al Sistema (Ver Lámina 3-8) tam--bién estuvieron relacionados con el comportamiento de las -

distintas áreas urbanas durante las lluvias. Podemos por lo tanto tipificar los daños de la siguiente manera:

- Daños causados por la colmatación y sobrecarga hidráulica.

Casi la totalidad de los daños en el Sistema, especialmente en los colectores, se originaron por esta causa.

Este tipo de daños se debió básicamente a que las aguas pluviales entraron a los colectores a través de los buzones transportando por un lado, un gran caudal : - - trabajando de esta manera los colectores a tubo lleno y y a una presión relativamente grande (considerando que no están diseñados para este tipo de sobrecarga) y por otro una gran cantidad de sedimentos, especialmente arenas y todo tipo de objetos quedando por esta razón colmatadas (obstruídas) en una gran longitud y destruídas otro tanto (Ver Foto 3-16).

El ingreso de las aguas a los colectores se produjo en la mayoría de los casos debido a que los pobladores des taparon los buzones con la intención de evacuar las - - aguas pluviales, para lo cual el sistema no está diseñado.

La colmatación y la sobrecarga se produjo en diversos - grados y de distinta forma según el diferente comportamiento de las áreas urbanas.

En efecto, en las áreas donde se formaron lagunas, la - sobrecarga fue relativamente grande debido al gran volumen de agua concentrada en estas zonas, ingresando me--nor cantidad de sedimentos, especialmente en las zonas pavimentadas, debido a que la dinámica de las aguas fue menor (aguas estancadas). El ingreso de arenas y otro tipo de objetos fue mayor en las vías donde fluían las aguas pluviales, debido a la dinámica de estos flujos - acarreando en su recorrido a dichos sólidos, especial--mente en las zonas no pavimentadas. Por otra parte las

aguas del río Piura al desbordarse en sus márgenes ingresaron a las redes de alcantarillado instalados en la zona, invirtiendo el flujo en dichas redes, colmatándolos y sobrecargándolos, causando de esta manera la destrucción de los colectores del lugar.

Es importante indicar algunos factores adicionales que facilitaron la destrucción del alcantarillado:

- . Mal estado de los colectores: como se ha visto - - anteriormente (3.2.2 b.) antes de las lluvias se registraron en total 16,241 mt. de tuberías en mal estado, debido entre otras causas a las siguientes:
 - Antigüedad: existiendo tuberías con más de 20 -- años de servicio, en muchos casos se ha observado que la parte superior era prácticamente una - cáscara, debido al ataque constante de los gases sulfídricos y clorhídricos producidos por la descomposición de la materia orgánica (Ver Foto - - 3-16), en otros casos la tubería estaba completamente deshecha, prácticamente no existía, convirtiéndose los colectores en pequeños túneles de - tierra.
 - Mala calidad de la tubería: posiblemente debido al agua salobre de Piura, usada para su fabricación.
 - Acción destructiva del agua salitrosa del subsuelo.
- . Napa freática alta: produciendo esfuerzos adicionales sobre los colectores.
- . Calidad del suelo: la resistencia del suelo de Piura bajó aún más debido a la saturación, asumiendo el comportamiento de arenas sumergidas.
- Daños causados por asentamientos.

Este tipo de daños se produjo principalmente en las partes bajas de la ciudad, debido básicamente al nivel de-

masiado alto de la napa freática y a la formación de lagunas, provocando el saturamiento del suelo, asumiendo de esta manera un comportamiento típico de arenas sumergidas. Además las lagunas impidieron la libre evacuación de las aguas servidas, como consecuencia se originaron obstrucciones con grandes hundimientos en la Av. Grau, colector de alivio del casco urbano antiguo de Piura, Av. Circunvalación, Av. Málaga, etc. y las líneas secundarias de los Pueblos Jovenes y centro de la ciudad.

Los asentamientos de las tuberías y especialmente hundimientos de los buzones (Cerca del Palacio de Justicia) - dió lugar a la ruptura de los colectores, esta situación se vió favorecida por el paso de vehículos.

- Daños causados por inundación.-

Este tipo de daños se refiere básicamente a los producidos a las Cámaras de Reunión y Bombeo, en donde la cámara seca (aloja los equipos) y la cámara húmeda (reune las aguas servidas) se encuentran hasta una profundidad promedio de -9.0 mt. debajo del nivel del piso. Las aguas pluviales ingresaron a estas instalaciones, la cámara "El Cortijo" (Castilla) fue la más afectada en este sentido, debido a que estuvo ubicada dentro de una gran laguna, quedando las cámaras (húmeda y seca) completamente sumergidas, llegando el agua hasta 1.60 mt. sobre el nivel del piso, afectando de esta manera al equipo de bombeo. Es importante agregar que estos equipos también fueron afectados por el ingreso de arenas y todo tipo de objetos provenientes de los colectores, almacenándose de esta manera una gran cantidad de estos sólidos en la cámara húmeda, los que fueron extraídos periódicamente.

- Daños causados por erosión.-

Este tipo de daños se produjo al descargarse la laguna que se formó en el Mercado de Castilla a través de la -

calle Piura en dirección al río, produciéndose una fuerte erosión que llegó casi a 3.0 mt. de profundidad, destruyendo los colectores ubicados en esta zona (Ver Lámina 3-6 y Foto 3-3).

Por otra parte la erosión producida en el lecho del río Piura que llegó a 3.50 mt. aproximadamente, destruyó -- dos líneas de impulsión de 24" y 12" que cruzaban el -- río, desde Castilla hacia la Cámara de Reunión y Bombeo de Piura.

- Daños causados por trabajos de desatoro y desarenamiento.-

Este tipo de daños se produjo debido a los trabajos que se realizaron con los equipos Hidro Jet enviados a la zona durante la emergencia, siendo utilizados también -- posteriormente, durante los cuales muchos colectores no soportaron la presión de estos equipos, debido generalmente al mal estado de las tuberías, y otras veces debido a la sobrepresión aplicada, especialmente en los primeros trabajos realizados.

c.- Daños estimados.-

Como se ha podido apreciar, los daños básicamente se produjeron en el Sistema de Alcantarillado.

El sistema de colectores fue destruido en una gran longitud, y obstruido en otro tanto. En Piura, considerando la longitud total instalada (Ver 3.2.2) la longitud que quedó inutilizada significó el 14% y en Castilla el 42%, observándose en este sentido que este último fue el más afectado. La -- Cámara de Bombeo más afectada fue la llamada "El Cortijo" -- que queda en Castilla.

Se estima que el número de buzones que quedaron inutilizados alcanzaron una cifra aproximada de 100 unidades.

A continuación se muestra las tuberías que quedaron inutili

zadas (1) :

Ø	PIURA	CASTILLA	TOTAL
8"	10,389	10,292	20,681
10"	3,010	3,852	6,862
12"	935	.-	935
14"	704	1,737	2,441
16"	464	196	660
18"	501	898	1,399
22"	876	.-	876
TOTAL	16,879	16,975	33,854

No se consideran las líneas de impulsión que fueron destruidas por el río.

3.3.7 Zonas Vulnerables y Zonas Protegidas.-

Considerando el comportamiento de las diferentes áreas urbanas y los efectos en la infraestructura y estructura de la Ciudad - que se produjeron en el evento de 1983, podemos distinguir las siguientes zonas (Ver Lámina 3-9) :

- Zonas Vulnerables. 270 Has.
- Zonas Menos Vulnerables 1,680 Has.
- Zonas Protegidas 50 Has.

3.4 EL SISTEMA DE EVACUACION DE AGUAS PLUVIALES.- (2)

Debido a que la ciudad de Piura fue seriamente afectada por no existir un Sistema Integral de evacuación de aguas pluviales, se está - - construyendo en la ciudad, como parte de las obras de reconstrucción y rehabilitación, una serie de colectores que en conjunto integran un Sistema que según se espera, permitirá el acondicionamiento físico- - urbano de Piura-Castilla tendiente a evacuar las aguas pluviales.

(1) Fuente : SENAPA - Lima. Oficina de diseño 1984.

(2) "Estudio para la evacuación de aguas pluviales para la ciudad de Piura". Colegio de Arquitectos del Perú Filial regional Norte Piura - Tumbes. Noviembre 1983.

Los estudios de dicho Sistema tuvieron caracter Normativo, que sirvieron de base para la elaboración de Proyectos Específicos (Colectores) de evacuación de aguas pluviales a la vez de Proyectos de Infraestructura Urbana.

La solución a la evacuación de aguas pluviales teniendo en cuenta el factor socio-económico se planteó bajo los siguientes aspectos :

- Conservar en lo posible las mismas rasantes.
- La evacuación prioritariamente debe ser superficial y en casos -- excepcionales en entubados.
- Conservar en lo posible cuencas naturales, así como no comprometer los caudales de una cuenca a otra.
- Dar utilidad en lo posible a las obras existentes como drenes ejecutados en la emergencia.

En la ubicación y diseño de los colectores se ha tenido en cuenta previamente la definición de las Cuencas independientes que se formaron durante las lluvias, dentro del espacio urbano Piura-Castilla (Ver Lámina 3-10). Las cuencas determinaron la ejecución de los colectores, los cuales fueron concebidos además sobre la base de consideraciones hidrológicas, hidráulicas, topográficas y de vialidad.

Entre las consideraciones más importantes que contemplan los aspectos Normativos del Sistema podemos mencionar :

- Las aguas pluviales que serán evacuadas corresponderán a una precipitación diaria de diseño de 50 mm. que representa el 85% de probabilidad para un periodo de 10 años.
- No se incluye el casco antiguo de la ciudad ya que tiene una adecuada evacuación de aguas pluviales.
- Como excepción puede permitirse la interconexión de cuencas en el caso del área del Chilcal hacia la cuenca de la Av. Gullman.
- Teniendo en cuenta la magnitud de la infraestructura urbana existente, tienen prioridad para efectuar los proyectos definitivos y la ejecución de las Obras de instalación de los sistemas de evacuación las siguientes cuencas : Sullana (B), El Chilcal (D), Petroperú (I) y en Castilla, la cuenca del Centro de Castilla (E), P.J. Talarita (G),

Aeropuerto (I), P.J. Campo Polo (J) y la Urb. San Bernardo Chiclayito (K).

- Analizadas las condiciones topográficas, se deduce que las turbulencias en las intersecciones de las vías que sirven de canal principal de evacuación, serán despreciables.
- Cuando el recorrido lo permita y la escorrentía sea a tajo abierto, deberá utilizarse la vía como canal (colector) y ésta será de concreto; de optarse esta solución en algunos tramos, las rasantes deberán bajarse más o menos 60 cm. En estos casos deberán optarse gradearías en los bordes.
- En caso que se adopte provisionalmente colectores a tajo abierto sin revestimiento, las pendientes no excederán el 1% a fin de evitar la erosión.
- Las salidas de las cuencas de los flujos en la zona Oeste de Piura pueden discurrir hacia el parque de reforestación "El Tallán" así como por la vía expresa proyectada por el Plan Regulador.
- Deben rellenarse las calzadas erosionadas para garantizar una eficiente evacuación.
- El mantenimiento, limpieza de los cauces, canales y conductos pluviales deben ejecutarse antes de cada periodo lluvioso, en el mes de -- Diciembre a más tardar.
- Los Organismos Públicos y Privados implementadores de la intervención urbana, tomarán necesariamente como condicionantes en el diseño de sus estudios y/o proyectos las normas contempladas.

Se ha determinado inicialmente como parte integrante del Sistema un total de 9 colectores principales y varios colectores secundarios, (Ver Lámina 3-10). Los colectores principales se mencionan a continuación:

- 1.- C. Sullana.- Tiene una longitud de 3.6 Km., su caudal de salida es de $3.02 \text{ m}^3/\text{seg.}$, será vía canal de concreto armado.
- 2.- C. Gullman.- Tiene una longitud de 1.07 Km., su caudal de salida de $1.81 \text{ m}^3/\text{seg.}$, de canalización subterránea.
- 3.- C. Hipólito Unanue.- No está desarrollado.
- 4.- C. Marcavelica.- Tiene una longitud de 1.72 Km., su caudal de salida es de $1.85 \text{ m}^3/\text{seg.}$ será vía canal.

- 5.- C. Amotape.- Tiene una longitud de 1.03 Km. Via canal.
- 6.- C. Chulucanas.- Tiene una longitud de 0.52 Km., su caudal de salida es de $1.79 \text{ m}^3/\text{seg}$.
- 7.- C.J.C. Mariátegui.- Tiene una longitud de 0.80 Km., su caudal de salida es de $1.4 \text{ m}^3/\text{seg}$.
- 8.- C.M. Pumacahua.- No está desarrollado.
- 9.- C. Panamericana.- No está desarrollado.

3.5 LAS DEFENSAS DEL RIO PIURA.-

Como se ha visto anteriormente, las características geomorfológicas (Lecho arenoso), topográficas (Baja Pendiente) y geométricas (Estrechamiento del cauce a la altura de los puentes) facilitaron la acción erosiva y de socavamiento de fondo, así como de los diques de defensa construidos por el Proyecto Chira-Piura, dado que éstos no tenían protección en los taludes y su composición básicamente era arenosa.

Como consecuencia, una de las obras más importantes que se está llevando a cabo en la Ciudad de Piura la constituye el Encauzamiento y Defensa del río Piura, para garantizar en lo posible una eficiente protección de la ciudad en ambos márgenes y lograr de esta manera disminuir la vulnerabilidad que mostró la ciudad a las crecientes del río (Ver Foto 3-18).

El encauzamiento comprende una longitud total de 1,730 mt., entre la parte norte del cuartel Reyna Farge y el Puente Bolognesi. La sección hidráulica más desfavorable se ha ubicado aguas arriba del Puente Sanchez Cerro (Ver Lámina 3-11), se ha calculado para un caudal de $3,221 \text{ m}^3/\text{seg}$., haciendo uso de la fórmula de Maning para canales trapezoidales.

Se ha previsto una sección uniforme para los diques de defensa, como se puede observar en la lámina 3-11. La sección está constituida por :

- Un terraplén de material impermeable compactado y de altura variable de 7.0 a 7.5 mt. Los taludes interior y exterior son de 2 H: 1 V. Se cimentará sobre una capa de arena compactada. El espaldón interior se apoyará en los tramos de corte, sobre el terreno natural.

- Una capa de grava graduada (filtro) de 0.50 mt. de espesor colocada sobre el material impermeable. En el pie del talud se ha previsto un talón de 1.0 de alto x 0.50 mt. de ancho.
- Una losa de concreto armado de 0.10 mt. de espesor apoyada sobre el filtro descrito en el acápite anterior.
- Tablestacado, con pilotes de concreto armado de 0.25 x 0.50 mt. de sección transversal y de 5.0 mt. de longitud, hincados unos a continuación de otros, como elementos de protección contra la socavación del pie del talud. Se ha previsto hincarlos sobresalientes a 1.0 - mt. del terreno natural.

Además se ha tomado en cuenta consideraciones urbanísticas dentro de una concepción arquitectónica paisajista aprovechando los espacios urbanos que el encauzamiento ha dejado libre y que permite la solución prioritaria de circulación vial, peatonal y de áreas verdes como complemento, según las características propias de cada tramo.

3.6 CONCLUSIONES.-

- 1.- Durante las torrenciales lluvias ocurridas en el evento de 1983, se dió lugar a un intenso Proceso Geodinámico Externo en la ciudad de Piura, ocasionando graves daños a la estructura e infraestructura urbana, los cuales fueron de tal magnitud que no se tiene conocimiento de que algo semejante haya ocurrido en Piura en el pasado, a pesar de haberse presentado eventos similares.
- 2.- Los factores que condicionaron el Proceso Geodinámico Externo - en la ciudad de Piura fueron los siguientes :
 - Meteorológicos
 - Hidrológicos
 - Geológicos
 - Hidrogeológicos
 - Topográficos
 - Ausencia de sistemas adecuados de protección y drenaje de las aguas.
- 3.- Lo sucedido durante el evento de 1983 refleja que ha existido - una absoluta falta de consideración de la dinámica del medio físico en la PLANIFICACION de la ciudad, a pesar de que en even--

do de esta manera el humedecimiento de las paredes. En este caso también jugó un rol importante en los daños la deficiente capacidad de evacuación de las vías, contribuyendo al humedecimiento de los muros especialmente los de adobe.

- 10.- Como consecuencia, la mayor cantidad de daños en las edificaciones se produjeron en los Asentamientos Humanos Marginales, correspondiéndoles el 93% del total de viviendas que quedaron parcial o totalmente destruidas en el distrito urbano de Piura.
- 11.- Los daños en el Sistema de Agua y Alcantarillado se produjeron básicamente en los colectores y se debió principalmente a la colmatación y sobrecarga hidráulica, situación que fue favorecida por el mal estado en que se encontraban dichos colectores y la presencia de la napa freática alta.

3.7 RECOMENDACIONES

- 1.- Debe evitarse en lo posible, soluciones aisladas y de plazo inmediato, lo importante es preparar a la estructura e infraestructura urbana, reduciendo su vulnerabilidad en caso de que ocurran eventos similares en el futuro, estos requerimientos deben estar encuadrados dentro de un Programa General para Piura, debiéndose incluir además un Plan Operativo de Emergencia.
- 2.- El Programa General mencionado debe contemplar los estudios necesarios para garantizar un efectivo control y protección de la Geodinámica Externa en las áreas existentes especialmente en las Zonas Vulnerables contempladas en el presente estudio, y poder de esta manera prevenir los desastres naturales ocasionados por lluvias intensas, incluyéndose las obras necesarias dentro de un orden adecuado de prioridades de ejecución. Evidentemente que la solución no reside en diseñar estructuras para soportar la intensidad de un evento como el de 1983, dado que serían sobredimensionadas y por lo tanto anti-económicas, teniendo en cuenta que los registros de precipitación durante el evento han tenido un tiempo de retorno superior a los 100 años. Lo importante es que se logre un máximo de seguridad y funcionalidad dentro de criterios económicos razonables.

- 3.- El Plan Operativo de Emergencia (P.O.E.) mencionado debe llevarse a cabo antes y durante un periodo lluvioso intenso, debiendo establecer un conjunto de acciones concretas en concordancia con los estudios incluidos en el Programa General y poder tener de esta manera una adecuada capacidad de respuesta ante las lluvias intensas, garantizándose un máximo de eficiencia de las obras de control y protección. El P.O.E. debe contar con una dirección centralizada, a fin de evitar interferencia de funciones por parte de la Municipalidad, la Prefectura, CORPIURA, el Comité de Emergencia, etc., como sucediera en 1983.
- 4.- Las nuevas áreas urbanas deben PLANIFICARSE considerando la dinámica del medio físico en concordancia con el Programa General, para lo cual es necesario considerar los siguientes aspectos :
- . Una adecuada calificación de los asentamientos humanos.
 - . Zonificación y Uso General del suelo.
 - . Delimitación de las Zonas de Protección y Seguridad.
 - . Preparación de las Normas Técnicas para el diseño y ejecución de Obras de infraestructura aplicables a cada Zona Problema -- considerando criterios de Prevención de Desastres Naturales.
- 5.- La vulnerabilidad de la ciudad ante eventos similares disminuirá considerablemente con el Sistema de Evacuación de Aguas Pluviales, el cual necesita de una ampliación y de un estudio de mayor profundidad para garantizar una mayor eficiencia, debiéndose considerar los siguientes aspectos :
- . Aumentar el número de colectores secundarios para garantizar una mayor eficiencia de los colectores principales ya definidos, y adecuar las pendientes de todas las vías tributarias para que evacúen fácilmente hacia los colectores principales y secundarios.
 - . Se debe garantizar que las aguas de otras áreas no ingresen a las zonas donde se forman las lagunas y lograr disminuir su caudal de evacuación.
 - . Se debe garantizar que los colectores principales del distrito de Piura, que conducen las aguas hacia el Sur, desemboquen efectivamente en el parque de reforestación "El Tallán", evitan

dose que las aguas conducidas afecten a los Asentamientos Marginales ubicados en la parte Sur.

- . Si bien es cierto que por regla general, en la evacuación de las aguas es recomendable seguir la Topografía del Terreno, en el caso de la canalización de la quebrada "Petroperú" se puede hacer una excepción, considerando las condiciones topográficas de las vías inmediatas a la quebrada, se observa que es posible disminuir el número de curvas y la longitud del cauce dentro del área urbana. En la lámina 3-12 se presentan las alternativas de canalización, dichos planteamientos tienen en cuenta que las zonas donde se producen las mayores erosiones y daños son los cambios de dirección (curvas).
 - . Merece un estudio especial la entrega hacia el río de los colectores Av. Sullana y Av. Panamericana, dado las características particulares y los efectos dañinos potenciales de cada una de las entregas.
 - . Para evacuar las aguas de las lagunas debe evitarse soluciones por bombeo en éstas áreas, dado que se tendría que construir toda una infraestructura (Cámara de Reunión, Caseta de Bombeo, etc.) que solamente se utilizarán en estos eventos, que como se sabe son esporádicos.
 - . La evacuación de dichas zonas (Lagunas) debe hacerse a través de tuberías paralelas a los colectores del Sistema de Alcantarillado existentes, para dirigirse por gravedad hacia las Cámaras de Reunión y Bombeo de dicho Sistema, debiendo contar con protecciones adecuadas para evitar el arenamiento.
 - . En todo caso, la evacuación de las aguas pluviales en eventos similares puede lograrse con el aporte adicional de operaciones de emergencia, los cuales deben estar debidamente programados en el Plan Operativo de Emergencia de tal forma que sea coherente con la capacidad y limitaciones del Sistema de Evacuación y lograr de esta manera una mayor eficiencia.
- 6.- Debe llevarse un estricto control y Supervisión a los Proyectos Específicos (Colectores Principales), para garantizar que se cumplan las normas del estudio integral del Sistema de Evacuación -

de Aguas Pluviales y además debe establecerse un orden de prioridades en la ejecución de las obras del Sistema a fin de evitar mayores costos y duplicidad de acciones, debiéndose coordinar -- adecuadamente con las otras obras como las de infraestructura -- urbana.

- 7.- Es necesario ampliar el estudio del Encauzamiento y Defensa del río en el tramo aguas arriba del cuartel Reyna Farge, dado que - en esta parte el cauce del río experimenta una curva pronunciada, en donde la erosión que se produce en el lado exterior de la curva puede comprometer la seguridad de las defensas que se proyectan en esta margen. El sistema de protección debe contemplar :
 - . Una adecuada funcionabilidad para responder satisfactoriamente a la avenida de diseño.
 - . Debe contar por lo tanto con estructuras que permitan el encauzamiento (Diques) y la defensa de ambas márgenes (Pilotes o -- Tablestacas y recubrimiento de Taludes).
- 8.- Los techos de las edificaciones deben ser capaces de evacuar las aguas pluviales, mediante pendientes razonables, evitándose de - esta manera el humedecimiento de las paredes, las mismas que deben contar con una adecuada protección contra la humedad en la - parte inferior (Sobrecimientos, zócalos, etc.)
- 9.- Se recomienda usar el adobe estabilizado en las viviendas de bajo costo, dado que este material presentó un comportamiento aceptable durante el periodo lluvioso.
- 10.- Es necesario ampliar y adaptar el Sistema de Alcantarillado para enfrentar de esta manera situaciones de emergencia futura, logrando disminuir su vulnerabilidad, para lo cual es conveniente considerar los siguientes aspectos :
 - . Otorgar el máximo de hermeticidad a los colectores principales y secundarios de aguas servidas, para evitar la inundación y - colmatación de los mismos durante las lluvias.
 - . Proteger en lo posible a las tuberías del ataque de las sales del agua subterránea.

- . Debe llevarse a cabo un estricto control del agua usada para la fabricación de las tuberías, dado que el agua subterránea de algunos pozos que se usa para la red de agua potable tiene excesos de sales.
 - . En las obras de rehabilitación y futuras ampliaciones, los buzones deben cimentarse adecuadamente, especialmente en las zonas donde el terreno tuvo un comportamiento crítico durante el último evento y las tuberías deben instalarse bajo un estricto control, especialmente en la compactación del suelo, para evitar de esta manera se produzcan asentamientos que comprometan la estabilidad del Sistema.
 - . Es necesario cambiar las pendientes de las tuberías en determinados tramos y adecuarlos para una mejor funcionabilidad, dado que presentan pendientes menores a las mínimas requeridas, dándose casos de contrapendientes.
 - . En la ubicación y diseño de nuevas Cámaras de Reunión y Bombeo (C.R.B.) debe tenerse en cuenta la dinámica del medio para evitar la inundación de las estructuras durante y después de las tormentas.
 - . Es necesario revisar la ubicación y diseño de las Cámaras de Reunión y Bombeo existentes y ver la posibilidad de una nueva ubicación o en todo caso proteger las estructuras, como es el caso de la C.R.B. "El Cortijo" que se encuentra en una zona -- inundable (Laguna), la cual debe protegerse mediante un cerco perimétrico impermeable, que pueda resistir al empuje lateral del agua de la laguna.
 - . Los trabajos de rehabilitación y ampliación del Sistema de Alcantarillado deben de coordinarse con los del Sistema de Evacuación de Aguas Pluviales.
- 11.- Es necesario efectuar un adecuado mantenimiento y limpieza antes de cada periodo lluvioso, especialmente en los Sistemas de Evacuación de Aguas Pluviales y Alcantarillado.
- 12.- Deben actualizarse los estudios de drenaje de la ciudad de Piura que se realizó en 1970, con este estudio básico se podrá elaborar un proyecto para el drenaje de las aguas subterráneas, especialmente en las áreas más críticas de la ciudad.

4.- CIUDAD DE SULLANA

4.1 GENERALIDADES

4.1.1 Ubicación

La Ciudad de Sullana, capital de la provincia del mismo nombre, se encuentra en el departamento de Piura, al Norte de la capital departamental. Geográficamente se encuentra ubicada a 4º 53' de Latitud Sur y a 80º 41' de Longitud Oeste. Su altitud corresponde a las cotas 51 m. y 82 m. sobre el nivel del mar.

4.1.2 Aspectos Históricos

- La ciudad de Sullana estuvo ubicada en dos lugares distintos desde su creación.
- 1532: Es fundada por Francisco Pizarro con el nombre La Punta, en el lugar denominado Jíbito.
- 1588: Se estableció en forma definitiva en el lugar actual.
- 1827: Adquiere la categoría de Villa bajo el nombre de Sullana, por decreto de Mariscal Santa Cruz.

4.1.3 Población

El censo del 12 de Julio de 1981, permitió establecer que la población de Sullana, incluyendo el distrito de Bellavista con el cual conforman una unidad urbana, llegaba a la cantidad de 112,770 habitantes, lo que representó el 76% de la población urbana de la provincia del mismo nombre. Se estima que en 1983 se llegó a 125,000 habitantes.

4.1.4 Clima

El clima predominante es el tropical, la temperatura máxima oscila entre los 38ºC. en el verano y 15ºC. en el invierno. Las temperaturas máximas ocurren generalmente entre Diciembre y Abril y las mínimas entre Junio y Agosto. Las lluvias son esporádicas y se presentan en los meses de verano, en los últimos 11 años sin considerar el año 1983, el promedio de precipitación anual fue de 60 mm.

Los vientos predominantes son de Sur-Oeste y Nor-Este, arreciando especialmente en las tardes.

4.2 ESTRUCTURA E INFRAESTRUCTURA URBANA

A continuación se muestra en forma sintética algunos aspectos de la estructura urbana y además el Sistema de Agua y Alcantarillado. Es importante mencionar que esta descripción corresponde al estado y características de la ciudad antes del desastre, lo que nos permitirá entender con mayor claridad los daños ocurridos que se describirán más adelante en el acápite : 4.3 .

4.2.1 Estructura Urbana (1)

a. Descripción Global.

El área urbana ocupa una superficie aproximada de 900 Has., - la densidad promedio es de 125 Hab/Ha.

El proceso de urbanización ha configurado hasta la fecha una estructura limitada al Norte por el río Chira, al Oeste por el desierto cerca a la carretera Panamericana, al Sur por la Carretera a Tambogrande, y al Este por el desierto y una parte por el "Boquerón" que se formó a raíz de las últimas lluvias de 1983.

La estructura del espacio urbano de la ciudad es diversa, - apreciándose que en la parte antigua de la ciudad las vías -- son angostas y estrechas y en las áreas de reciente expansión las calles y espacios son amplios.

En general se aprecia una estructura básicamente configurada por construcciones de 1 y 2 pisos. En el casco central la -- construcción más alta es de 5 pisos.

El paisaje inmediato exterior, presenta dos zonas definidas:- El Valle del Chira, que presenta una hermosa vista desde la - Ciudad dado que ésta ocupa altas terrazas en la margen iz- -- quierda, y el desierto, que rodea a la ciudad alternando con áreas verdes que forman parte de las tierras de ampliación -- agrícola del Proyecto Chira-Piura.

(1) Las cifras mostradas en el presente acápite han sido elaboradas en base a las referencias - 18,41 y al trabajo de campo realizado en la ciudad.

b. Sectores Orgánicos Urbanos.

Para los efectos del presente estudio, se distinguen 3 áreas-típicas, definidas según el uso predominante :

- Asentamientos Humanos Regulados (A.H.R) : Areas de uso residencial predominante, urbanizadas y reguladas: Incluye el casco central de Sullana, de Bellavista y Buenos Aires.
- Asentamientos Humanos Marginales (A.H.M): Areas de uso residencial predominante, no urbanizado y espontáneos : Pueblos Jóvenes.
- Areas no Residenciales (A.N.R): Areas no destinadas para viviendas, de otro uso: comercial, recreacional, industrial, institucional, etc.

Dentro de estas áreas típicas, se encuentran los distintos Sectores Orgánicos Urbanos, como puede apreciarse en la Lámina 4.1.

c. Edificaciones.

Según el censo de 1981, se registraron dentro del área urbana Sullana-Bellavista 20,030 viviendas y 28 edificaciones colectivas (Hospital, Hoteles, etc.).

Los materiales predominantes de las viviendas son la quincha y el adobe. En los A.H.R. predomina la quincha y el ladrillo y en los A.H.M. predomina el adobe. A continuación se muestra una proporción aproximada según los materiales de construcción de las viviendas :

- Ladrillo	35 %
- Adobe.	40 %
- Quincha	20 %
- Esteras y otros	5 %.

El material predominante de los techos es la calamina. A continuación se muestra una proporción aproximada:

- Calamina	70 %
- Concreto armado	10 %
- Caña y/o esteras	10 %
- Otros	10 %

En los A.H.R. predominan las edificaciones en buen y regular estado. En los A.H.M. predominan las de regular y mal estado, al igual que en la capital departamental, en estos asentamientos es frecuente encontrar techos de calamina, eternit y/o listones de madera con cañas y esteras, generalmente en mal estado. A continuación se presenta una proporción aproximada, teniendo en cuenta el estado de la construcción de las edificaciones :

- Bueno	20 %
- Regular	35 %
- Malo	40 %

Como se ha mencionado anteriormente, la altura de las edificaciones son en su mayoría de 1 y 2 pisos, a continuación se muestra una proporción aproximada :

1 Piso	75 %
2 Pisos	20 %
3 ó más pisos	5 %

d. Sistema Vial.

Podemos distinguir en Sullana las siguientes vías más importantes (Ver Lámina 4.2):

- Vías Regionales.
- Vías Principales Urbanas.
- Vías Secundarias Importantes.

4.2.2 Sistema de Agua y Alcantarillado

a. Sistema de Agua.

El abastecimiento de agua de Sullana-Bellavista, está compuesto por dos sistemas:

- Antiguo : Captación del río Chira por bombeo.
- Nuevo : Captación del canal Chira-Piura por gravedad.

Desde las fuentes de abastecimiento es llevada el agua cruda hacia la Planta de Tratamiento, la cual cuenta con un reservorio de agua tratada de $4,000 \text{ m}^3$ que luego es impulsada hacia el reservorio de cabecera (Loma de Mambré). En total existen 3 reservorios que totalizan una capacidad de $4,000 \text{ m}^3$.

El sistema de distribución de agua potable actual ha sido ejecutado en dos etapas, totalizando 127,720 mt. :

- Etapa I: constituída por las instalaciones de 1953 y ampliaciones hasta 1977, los materiales son de asbesto cemento y fierro fundido; totalizan 53,380 mt., -- con diámetros entre 4" - 16".
- Etapa II: constituída por las instalaciones realizadas entre 1977-1980, los materiales son de asbesto cemento.- Totalizan 74,340 mt., con diámetros que oscilan entre 3" - 24".

b. Sistema de Alcantarillado.

La red colectora está constituída por dos sistemas:

- Antiguo: conformado por instalaciones de tuberías tipo - - Hume, con diámetros variables entre 6" - 35", totalizando una longitud de 36,000 mt. son conducidas al río Chira por gravedad, aguas abajo de la captación de agua cruda.
- Nuevo: conformado por tuberías de asbesto cemento, con diámetros variables entre 8" - 38", totalizando una longitud de 67,450 mt. Existe una Cámara de Bombeo diseñada para impulsar aguas servidas hacia las dos lagunas de oxidación, - tanto la Cámara como la línea de impulsión y las lagunas de oxidación son nuevos aún sin funcionar, la línea de impulsión tiene un diámetro de 800 mm.

Se encuentran instalados en total 9,280 conexiones domiciliarias tanto del Sistema Antiguo como el Nuevo.

4.3 ESTUDIO DEL PROCESO GEODINAMICO PRODUCIDO, DESCRIPCION Y EVALUACION DE DAÑOS.

Los factores más importantes que condicionaron el Fenómeno Geodinámico Externo - Caracterizado en el caso de Sullana por inundaciones y erosiones debido principalmente a las grandes quebradas que se activaron- fueron los siguientes :

- Metereológicos.
- Hidrológicos.
- Geológicos
- Topográficos
- Ausencia de sistemas adecuados de protección y drenaje de las aguas.

En resumen, durante el evento de 1983, estos factores concurren de la siguiente manera :

Por un lado, como se ha visto anteriormente (2.3), los factores meteorológicos e hidrológicos tuvieron características extraordinarias, -- con un periodo de retorno muy superior a los 100 años, lo que originó tremendos flujos de agua; por otro lado las características geológicas entre las cuales la no cohesividad de los suelos predominantes (Depósitos eólicos), facilitaron la erosión del terreno especialmente en los cauces de las quebradas; además las características del área urbana y su entorno permitieron la formación de grandes quebradas y lagunas; todo esto sumado a la falta de: protección contra la erosión, un adecuado sistema de evacuación de aguas pluviales, consideración de áreas -- críticas en la planificación de las áreas urbanas que se manifestaron en eventos pasados (1891,1925), etc., dió como resultado que se expusieran a torrenteras e inundaciones a grandes sectores urbanos, permitiendo de esta manera una secuela de tremendos daños.

Los tres primeros factores han sido tratados en los acápites 2.2 y - - 2.3, en el presente capítulo se verán algunos aspectos geológicos locales, topográficos y se describirá además el Fenómeno Geodinámico y sus efectos en la estructura e infraestructura urbana de Sullana-Bellavista.

4.3.1 Geología y Geomorfología Local.

a. Geomorfología.

El área urbana Sullana-Bellavista y el área rural que constituye su entorno, en términos generales es ondulado y sin mayor relieve, está modelado sobre un conglomerado y recubierto por arena eólica. Superficies y suaves hondonadas alternan con lomadas y prominencias de formas y contornos alargados -- y/o redondeados. El paisaje en forma regional tiene un aspecto de extensa planicie cortada por el Valle del Chira.

El modelado del área que ocupa la ciudad y sus alrededores, -- que corresponde a la cuenca de la quebrada "Cieneguillo" y -- sus afluentes "Cola de Alacrán" y "Bellavista", fue elaborado en épocas geológicas pasadas y con diferente clima al actual. Los lechos secos de escorrentía están ubicados en suaves hondonadas, que atraviezan la ciudad hasta llegar al río Chira -- en la parte Norte de la Ciudad.

Así pues, la erosión de aguas concentradas en periodos climáticos del pasado en que las precipitaciones fueron más intensas y continuas, le dió forma a la actual morfología de la zona, excavando sus cauces principales y secundarios en la primigenia terraza consolidada, constituidos por conglomerados de resistencia variable, los mismos que están intercalados por grandes lentes y estratos de areniscas con diferente grado de consolidación y arcillas muy finas.

Al producirse el cambio climático que subsiste hasta nuestros días, con algunos años excepcionales (1891, 1925, 1983) que se inició según algunos autores hace unos 8,000 a 10,000 años, se dió lugar la aridez creciente no sólo en el Norte del Litoral sino a lo largo de toda la costa. De esta manera comenzó a predominar el viento como agente erosivo, dando lugar a la formación de grandes depósitos eólicos, que caracterizan la zona hoy en día, recubriendo en forma total los lechos fluviales, quedando las rocas visibles en algunas zonas y en la ribera de la margen izquierda del río Chira -- (Ver Foto 4-1).

b. Geología.

El área urbana de Sullana-Bellavista y sus alrededores está recubierto, como ya se ha señalado, por arena eólica, este depósito descansa sobre un conglomerado que se ha denominado "Sullana", es de origen aluvial y pertenece al cuaternario, corresponde posiblemente a la edad pleistocénica, este conglomerado se puede observar en la base de la pendiente de la ribera izquierda del río Chira.

El conglomerado está conformado por cantos rodados de diámetro variable que llega a tener 7 cm., cementados dentro de una matriz areno-arcillosa. La coloración es variable y va de amarillo, marrón, rojizo a gris. Está intercalado por lentes y estratos de areniscas con diferente grado de consolidación.

Los depósitos eólicos que cubren casi toda el área están con

formados por arenas de grano fino a medio, de color que va desde el beige claro al gris. Es un material suelto muy - -deleznable, que en algunos sitios está débilmente fijada por una escasa vegetación de hierbas y arbustos. Las mayores acumulaciones se producen en las partes altas de la ciudad.

En las márgenes del río Chira, se encuentran depósitos aluviales representados por terrazas y por playas de arena gruesa y grava fina, explotándose como materiales de construcción.

En la ciudad no existe pozos de explotación de agua subterránea, en consecuencia no hay conocimiento de las condiciones geo-hidrológicas del lugar. Sin embargo dada las características de la zona se estima que el nivel freático debe encontrarse a una profundidad apreciable.

4.3.2 Topografía Local.

El cercado de Sullana tiene una topografía tal que se le ha comparado frecuentemente con una hamaca, tiene 2 elevaciones una al Nor-Este (Loma de Mambré) y otra al Sur-Oeste (Hospital) - -siendo la cota máxima 82 mt., entre estos sectores se produce una clara depresión con una cota mínima de 61 mt., es en el cercado donde se observan las mayores pendientes que alcanzan un máximo de 15% en la parte Norte.

Las zonas más bajas se encuentran ubicadas fuera del casco central, destacándose una franja deprimida que la cruza, que fue por donde irrumpió la quebrada Cieneguillo, a la que se le une otra franja al Sur-Oeste de la ciudad, que fue el lecho de la quebrada Cola de Alacrán, el punto más bajo se encuentra en la parte Norte, en la desembocadura de la quebrada Cieneguillo y tiene 51 msnm.

Al Sur, en los barrios marginales el terreno es casi llano, en donde la topografía desciende de Sur a Norte, observándose ciertas zonas deprimidas sin posibilidades de drenaje, tal es el caso del Barrio Obrero.

En la lámina 4-3 podemos observar las curvas de nivel en el área urbana.

4.3.3 Acción de la Geodinámica Externa y efectos de la Estructura Urbana.

Durante las intensas precipitaciones ocurridas entre Enero y Junio de 1983, la acción de la Geodinámica Externa estuvo representada por la inundación de considerables áreas urbanas, debido principalmente a la activación de las quebradas Cieneguillo, Cola de Alacrán y Bellavista produciendo considerables erosiones, y por la existencia de zonas deprimidas sin posibilidades de drenaje formándose grandes lagunas en dichas áreas urbanas, como se verá más adelante.

a. Niveles de Afectación en las áreas urbanas.

El comportamiento del área urbana ante el intenso periodo -- lluvioso fue prácticamente ineficiente, demostrando no estar preparada para estos eventos. El único sector que tuvo un -- comportamiento adecuado, es decir con una suficiente capacidad de evacuación de las aguas pluviales fue el casco anti-- guo, este pequeño sector representó aproximadamente el 4.4 % del área total.

A continuación se presenta esquemáticamente el comportamiento general del área urbana (Ver Lámina 4-4). Los valores presentados son aproximados y los porcentajes están con respecto - al área total urbana (900 Has.) :

ZONAS URBANAS	Has.	
- No afectadas: Con capacidad de evacuación pluvial.	40	4.4
- Afectadas: Con deficiente capacidad de evacuación pluvial.	860	95.6
T O T A L	900	100.0

Las áreas urbanas con deficiente capacidad de evacuación pluvial, fueron afectadas de diferente grado y de distinta manera. A continuación se muestran los grados de afectación:

ZONAS URBANAS AFECTADAS	Has.	%
- Gravemente afectadas	445	49.4
- De menor grado de afectación	415	46.2
T O T A L :	860	95.6

A continuación se muestran las distintas formas de afectación de las áreas urbanas :

ZONAS URBANAS GRAVEMENTE AFECTADAS	Has.	
- Por quebradas	390	43.3
- Por lagunas	35	3.9
- Por erosión de riberas	20	2.2
T O T A L	445	49.4
ZONAS DE MENOR GRADO DE AFECTACION	Has.	
- Por inadecuada evacuación	335	37.4
- Por erosión debido al mal diseño vial.	80	8.8
T O T A L	415	46.2

b. Acción dinámica de las quebradas.

Las Zonas Urbanas Gravemente afectadas que tuvieron relación directa con la acción de las quebradas fueron aproximadamente 390 Has., que representó el 43.3% del área total urbana. Se incluye además de las quebradas principales que irrumpieron - en la ciudad, las pequeñas quebradas que se formaron dentro - del área urbana colectando aguas pluviales locales, las que - también tuvieron efectos severos.

La acción de las quebradas tuvo los siguientes efectos importantes :

- La inundación de considerables áreas (390 Has.) debido al - desbordamiento que se produjo, la mayor extensión afectada se localizó en los asentamientos marginales, en donde el ni vel de daños se vió favorecido por las precarias condicio-- nes materiales de las viviendas.
- La erosión del cauce, siendo los efectos en la estructura - urbana e infraestructura muy severos, llegando a tener una profundidad de 3 mt. (Ver lámina 4-5 y 4-6).

Al activarse las quebradas Cieneguillo y sus afluentes Cola - de Alacrán y Bellavista, se transportaron importantes volúme- nes de agua, proveniente la mayor cantidad del área rural, de

la cuenca, las que debieron discurrir directamente sin ningún obstáculo a través de la ciudad hacia el río.

Sin embargo, la evacuación de las quebradas hacia la ciudad - no fue directa, debido a los terraplenes de las carreteras a Tambogrande y a Piura (Panamericana) que obstruyeron el paso de las aguas de las quebradas Cieneguillo y Cola de Alacrán - respectivamente originando considerables represamientos.

Se considera que el proceso de inundación siguió las siguientes tres fases :

- Fase I : Hasta Febrero de 1983, en el cual el agua llega a las inmediaciones de los bordes urbanos del Sector Nor-Este y Este, llegando a entrar casi 400 mt.
- Fase II : Hasta Abril de 1983, en la cual se forman grandes represamientos ocasionados por los terraplenes de las vías antes mencionadas.
- Fase III: Abril a Junio, se inicia en los primeros días de Abril con el colapso de las vías que originaron los represamientos, irrumpiendo violentamente las aguas acumuladas sobre las áreas urbanas aguas -- abajo. Durante esta fase las aguas ingresaron -- sin ningún obstáculo.

Como consecuencia, la ciudad quedó dividida, transformándose las quebradas en barreras naturales que impedían la comunicación entre los sectores urbanos, especialmente durante las -- crecidas.

La quebrada Cieneguillo recorrió aproximadamente 3.7 Km. dentro del área urbana a partir de la carretera a Tambogrande. - Afectó a las instalaciones del Club Hípico y parte del área - del Parque Industrial, al ser represadas las aguas por dicha vía, la que al romperse dió lugar a que las aguas irrumpieran violentamente sobre los PP.JJ. Barrio Obrero, J.C. Mariátegui, Urb. FONAVI, Buenos Aires, el límite Sullana-Bellavista, hasta llegar al río (Ver Foto 4-1). Se calcula que esta quebrada alcanzó caudales comprendidos entre $200 \text{ m}^3/\text{s.}$ y $250 \text{ m}^3/\text{s.}$, lo que grafica la gran acción dinámica de las aguas (Ver Foto 4-2).

La quebrada Cola de Alacrán, recorrió aproximadamente 1.0 km. a partir de la Panamericana hasta la altura de la Urb.FONAVI, que es el punto donde se une con la quebrada principal Cieneguillo (Ver Foto 4-3). Afectó gravemente al barrio Santa Rosa al ser represada por la Panamericana, llegando las aguas a 2.0 mt. sobre el nivel de piso de las viviendas inmediatas. - Al romperse la vía las aguas entraron violentamente a los - - PP.JJ. Sanchez Cerro y 4 de Noviembre hasta llegar a la Urb.- FONAVI.

La quebrada Bellavista antes de ingresar a la ciudad se dividió en dos brazos, un brazo fue desviado en dirección al río por un dique que fue construido por los pobladores, formándose el llamado "Boquerón" debido a la gran erosión que se produjo, llegando el nivel de erosión a 15 mt. de profundidad y -- 100 mt. de ancho. (Ver Foto 4-4). El otro brazo entró a la - ciudad recorriendo aproximadamente 1.6 Km. hasta llegar a la quebrada Cieneguillo a la altura del Mercado de Bellavista -- (Ver Foto 4-5). Ocasionó la desaparición del P.J. Jorge Basadre - afectando además a los PP.JJ. Esteban Pavletich y El -- Porvenir en el distrito de Bellavista.

Las pequeñas quebradas que se formaron dentro del área urbana colectando aguas pluviales locales, se ubicaron al Norte del P.J. Santa Teresita y al Norte de Bellavista, la acción de -- estos cursos de agua fue considerable, llegando a erosionar - la vía hasta una profundidad de 3 mt. como es el caso de la - calle Amazonas (Bellavista).

c. Formación de lagunas en el área urbana.

Las zonas urbanas afectadas gravemente por la formación de -- grandes lagunas alcanzó una extensión aproximada de 35 Has.,- habiéndose formado en zonas topográficamente deprimidas, sin ninguna posibilidad de evacuación de las aguas pluviales. Co- mo se ha podido observar en la Lámina 4-4, las lagunas más im- portantes que se formaron en la ciudad fueron :

- La laguna formada en el Barrio Obrero, fue la más grande y los daños en las viviendas fueron también mayores. La parte más baja es la esquina Tomás Arellano y Andrés Garrido.- Además de las aguas pluviales locales ingresaron también - aguas de la quebrada Cieneguillo.

- La laguna formada en el casco central, en la parte más baja. Fue de menor tamaño y produjo daños menores que la anterior laguna. (Ver Foto 4-15).
- La laguna formada en el P.J. Sanchez Cerro, denominada por los pobladores como "Laguna del Pato".

Cabe agregar que en otras zonas también se formaron lagunas - pero de menor tamaño, como las del P.J. Sanchez Cerro y P.J.-4 de Noviembre.

d. Dinámica de las Riberas Altas.

Las áreas que estuvieron ubicadas en la parte superior de las riberas altas de la margen izquierda del río Chira fueron - - afectadas en una extensión aproximada de 20 Has., de las cuales cerca de 8 Has. se encontraron en una situación comprometida, al haberse formado graves cárcavas.

Entre la Loma de Mambré y el puente nuevo, la ribera está retirada de la playa, observándose en la base el conglomerado - con una altura de 10 a 12 mt., recubierto por depósitos eólicos de 10 a 15 mt. de altura con una pendiente bastante pronunciada, observándose además en algunas partes capas de basura de 1 a 2 mt. encima de la arena. En este tramo se formaron un total de 8 cárcavas importantes, siendo las mayores :

- La que se formó en las inmediaciones del Camal de Sullana, - llegando a tener un ancho de 54 mt. en la parte baja, una - profundidad de 13 mt. y una longitud de 120 mt. hasta el -- malecón (Ver Foto 4-6).
- Las que se formaron a ambos lados del puente nuevo llegando la mayor de ellas a tener un ancho de 50 mt. en la base, -- una profundidad de 23 mt. y una longitud hasta el río de -- 240 mt. (Ver Fotos 4-7 y 4-8).

e. Inadecuada evacuación pluvial.

Las áreas afectadas en menor grado por esta razón alcanzaron aproximadamente una extensión de 335 Has., representando el - 37 % del área total.

Evidentemente las áreas afectadas por las quebradas y las la-

gunas también tuvieron dificultades en la evacuación de las aguas pluviales, siendo el rasgo común el comprometer a considerables volúmenes de agua afectando en mayor grado a dichas áreas.

En este caso a característica común de las áreas en mención fue el comprometer reducidos volúmenes de agua, es decir pequeños aniegos que se formaron en gran parte de la ciudad, - debido al mal diseño de las vías, las que no tuvieron pendientes adecuadas para evacuar rápida y eficientemente las aguas pluviales.

f. Erosiones debido al mal diseño vial.

Las áreas afectadas por esta razón, alcanzaron aproximadamente 80 Has. representando el 8.8 % del área total.

Estas pequeñas erosiones a las vías se produjeron en las zonas con pendiente hacia la quebrada Cieneguillo en la parte central de la ciudad y en las inmediaciones de las quebradas menores que se formaron en la parte Norte de Santa Teresita (Ver Lámina 4-4). Esta situación se produjo debido al mal diseño vial urbano y a contrapendientes de ciertas vías.

g. Areas con capacidad de evacuación pluvial.

Como se ha visto, el único sector con capacidad para evacuar las aguas pluviales está dentro del casco central, con una extensión aproximada de 40 Has. Las calles muestran pendientes drenando hacia la quebrada Cieneguillo, siendo la evacuación rápida y eficiente.

4.3.4 Efectos en el Sistema Vial Urbano.

En el acápite anterior, se ha podido observar el comportamiento de las distintas áreas urbanas, los daños ocasionados al sistema vial evidentemente estuvieron relacionados con dicho comportamiento, (Ver Lámina 4-7), razón por la cual podemos tipificar los daños de la siguiente manera:

- Daños causados por quebradas.

Los efectos producidos fueron muy drásticos, las quebradas principales y las quebradas menores erosionaron las vías arrastrando al pavimento y la subrasante (Ver Foto 4-9). Las vías

afirmadas fueron afectadas en mayor grado por la erosión. Se observó que la socavación fue mayor en los cambios de dirección de las quebradas (Ver Fotos 4-5 y 4-10). En algunas la erosión alcanzó una profundidad de 3.0 mt.

- Daños causados por lagunas.

Los efectos fueron severos. En las calles asfaltadas fue deteriorado un gran porcentaje de las carpetas asfálticas, afectando además a la estructura del pavimento en ciertos sectores, al producirse pequeños asentamientos y deformaciones debido a la humedad. Estos daños fueron favorecidos por el paso de los vehículos (Ver Foto 4-15). En la laguna del Barrio Obrero debido a que las vías no están pavimentadas los daños fueron menores.

- Daños causados por pequeñas erosiones.

Estos daños se produjeron en las áreas señaladas por el párrafo 4.3.3 f. afectando a la carpeta asfáltica en gran parte y deteriorando la estructura del pavimento en ciertos sectores, formándose numerosos huecos.

- Daños causados por inadecuada evacuación pluvial.

Debido a las intensas lluvias y a su continuidad durante el largo periodo lluvioso, las vías al transportar los flujos pluviales locales terminaron por resultar afectadas en su gran mayoría, debido a que, como se señaló anteriormente (Ver 4.3.2 e.), éstas no contaban con pendientes adecuadas para evacuar eficientemente las aguas pluviales, formándose continuos aniegos.

De esta manera en determinadas vías asfaltadas fue deteriorada gran parte de la carpeta asfáltica y en ciertos sectores fue afectada la estructura del pavimento formándose numerosos huecos, estos daños fueron favorecidos también por el paso de los vehículos; de igual forma en las vías afirmadas fue deteriorado el afirmado en muchos sectores.

4.3.5 Efectos en las edificaciones.

En general (análogamente a 3.3.5), se considera que dos fueron los factores fundamentales que incidieron en la magnitud de los

daños :

- Por estar ubicadas en zonas vulnerables.
- Por el tipo de material susceptible y el mal estado de las -- edificaciones.

a. Ubicación en Zonas Vulnerables.

En estas zonas se observa una mayor concentración de edificaciones dañadas, podemos tipificar los daños de la siguiente manera :

- Daños causados por erosión .

Este tipo de daños se caracterizó por ser más violento y - drástrico, habiendo colapsado inclusive edificaciones de - material noble y en buen estado.

La erosión causada por las quebradas produjo los daños más severos, especialmente en las edificaciones que se encon-- traron dentro de su cauce principal y en sus márgenes (Ver Fotos 4-11 y 4-12). Dentro del espacio urbano las calles sirvieron de cauce, las que fueron erosionadas en primer - lugar, avanzando progresivamente a ambos lados, hasta socavar el terreno de cimentación de las edificaciones destruyéndolas total o parcialmente, las edificaciones que estuvieron frontalmente soportando el impacto violento, es decir las que estuvieron dentro de su cauce y en los cambios de dirección sufrieron los daños más violentos, presentándo se con mayor frecuencia el colapso en estos casos (Ver Fotos 4-13, 4-14 y 4-15).

De esta manera podemos considerar como factores adiciona-- les que contribuyeron a magnificar los daños producidos -- por las quebradas, los siguientes :

- . Por estar sobre suelos no consolidados, lo que favoreció la erosión lateral (Ver Foto 4-16).
- . Por los cambios de dirección, que intensificaron la ac-- ción erosiva especialmente en la curva exterior, socavando preferentemente las cimentaciones que se encontraban en dicha margen. Adicional al impacto severo de las - - aguas antes señalado se produjo el impacto de objetos -- contundentes que fueron arrastrados por las aguas como -

lo que sucedió con el puente Bailey que fue instalado durante la emergencia, el cual fue arrastrado impactando - en algunas viviendas.

- . Por último, debido al represamiento inicial originado -- por los terraplenes de las carreteras, lo que dió lugar a la irrupción violenta de las aguas a la ciudad.

Por otra parte la erosión producida en las laderas inestables de la margen izquierda del río, afectó seriamente a las edificaciones ubicadas en la parte superior de dichas laderas.

La inestabilidad de estas laderas se debió básicamente a la falta de cohesión de las arenas eólicas razón por la cual fue suficiente que discurran las aguas pluviales locales para que se formaran cárcavas de gran tamaño.

El proceso generado en estas áreas fue típico : Al erosionarse las laderas, la cimentación de las edificaciones que se encontraban en los bordes de estas cárcavas quedaron -- sin apoyo, produciéndose el colapso de algunas viviendas y quedando la cimentación comprometida en muchas otras. (Ver Fotos 4-6 y 4-8).

- Daños causados por inundación.

La inundación originada por las quebradas produjo daños -- considerables, las que al desbordarse debido al gran caudal que transportaron, afectaron considerablemente a las edificaciones que estuvieron dentro de estas áreas, provocando el humedecimiento de las paredes, debilitándolas y -- causando en muchos casos el colapso. Las paredes de adobe fueron las más susceptibles.

Por otro lado, las lagunas que se formaron en la ciudad -- afectaron de igual forma a las edificaciones, caracterizándose por mantener el volumen de agua estancada, agravando aún más las condiciones de humedecimiento de las paredes - (Ver Foto 4-17).

- b. El tipo de material susceptible y el mal estado de las edificaciones.

Con respecto a estos factores, lo dicho en el acápite - - -

3.3.5 b. también es aplicable a Sullana, con la diferencia - que en Sullana las edificaciones de adobe y quincha representaron el 60 % y además las que se encuentran en mal estado - representaron el 40%, en otras palabras las viviendas en Sullana estuvieron en peores condiciones que en Piura antes -- del desastre.

De la misma manera que en Piura, uno de los factores fundamentales que incidieron en la magnitud de los daños fue el - mal estado de los techos, los que al no evacuar adecuadamente las aguas pluviales permitieron el ingreso al interior de las viviendas, situación que aumentó el humedecimiento de -- las paredes, y por otro lado al no contar muchos de ellos -- con volados en el exterior, no protegieron las paredes de la acción directa de las lluvias (Ver Foto 4-18).

Por otro lado, en las edificaciones de ladrillo, los techos aligerados al no evacuar eficientemente las aguas permitieron la formación de pequeños empozamientos, lo que originó - frecuentes filtraciones, especialmente a través de las cajas de luz instaladas.

c. Daños estimados.

A continuación se muestra por sectores urbanos, un estimado de las viviendas que quedaron completamente inutilizadas (1):

Sullana.

. Casco Central	200
. Buenos Aires	300
. Quebrada	200
. P.J. Santa Teresita	200
. P.J. Jorge Basadre	350
. P.J. 9 de Octubre	600
. P.J. Juan Velasco A.	200
. P.J. Barrio Obrero	1,000
. P.J. 4 de Noviembre	100
. P.J. Sanchez Cerro	1,000
. P.J. J.C. Mariátegui	200

- Bellavista.		
. Casco Central.	600	
. P.J. E. Pavletich	500	
. P.J. Tupac Amaru	300	
. P.J. El Porvenir	700	
	T O T A L	6,450

Como puede observarse del cuadro anterior la cantidad total - de viviendas que quedaron totalmente inutilizadas fueron - -- aproximadamente 6,450, que representó el 33% del total de viviendas registradas en el censo de 1981. El 79% del total -- de viviendas inutilizadas le correspondió a los pueblos jóvenes. Cabe señalar el caso del P.J. Jorge Basadre que fue totalmente arrasado por la quebrada Bellavista, no quedando una sola vivienda en pie.

Además de las viviendas antes mencionadas, fueron también dañadas las edificaciones siguientes :

EDIFICACION	AFECCION
- 3 campos deportivos.	
. Estadio Municipal.	Parcial 50 %
. Nuevo Complejo Deportivo.	Parcial 70 %
. Estadio Club Alianza Atlético.	Total.
- 2 Mercados	
. Mercado Modelo y anexo	Total.
. Mercado de Bellavista	Parcial 70 %
- 3 Centros Educativos.	
. Ubicados en la quebrada.	Parcial 70 %
- 2 Camales.	
. De Sullana (En peligro)	Parcial 30 %
. De Bellavista.	Parcial 20 %
- Cementerio	Parcial 20 %
- 3 Parques.	
. Parque España	Parcial 50 %
. Ramón Castilla	Total
. Huamán de los Heros.	Parcial 60 %.
- 92 pequeños establecimientos comerciales destruidos.	

4.3.6 Efectos en el Sistema de Agua y Alcantarillado

Los daños al Sistema en Sullana fueron diferentes a los de Piura. En Sullana los daños se produjeron básicamente debido a la acción erosiva de las quebradas, siendo los daños violentos, mientras -- que en Piura los daños se debieron principalmente a la colmata- - ción y a la sobrecarga hidráulica, en los colectores. En ambos - casos las aguas servidas terminaron por discurrir superficialmen- te debido a la rotura de los colectores, causando profundos males tares en la población.

a. Daños Típicos.

Tanto el Sistema de Agua como el de Alcantarillado sufrieron - graves daños. Es evidente que estos daños estuvieron relacio- nados con el comportamiento de las áreas urbanas. Los podemos tipificar de esta manera :

- Daños causados por erosión .

Fueron los más severos, se caracterizó por la destrucción -- violenta, en la mayoría de los casos, de una parte considera- ble de las instalaciones del Sistema debido básicamente a -- que la acción erosiva, la que se profundizó hasta el nivel - en que estaban estas instalaciones a lo largo de las vías -- afectadas, siendo en muchos casos arrasados por las aguas, - especialmente en el cauce de las quebradas principales.

De esta manera, la acción erosiva tanto de las quebradas - - principales como las menores que se formaron dentro de la -- ciudad, produjeron el mayor porcentaje de los daños y los -- más drásticos (Ver Foto 4-5).

Es importante destacar que los colectores principales están ubicados en las franjas deprimidas de la ciudad, debido a -- que en el diseño se contempló la economía que esto significa- ba en cuanto a movimiento de tierras, logrando instalar di- - chos colectores a una mínima profundidad, de esta manera las quebradas encontraron en su recorrido a dichos colectores, - los cuales al ser destruídos por la acción erosiva permitie- ron que las aguas servidas que llegaban desde los colectores secundarios discurrieran a lo largo del cauce de la quebra- - da, causando grandes malestares en la población (Ver Foto 4-10).

Por otro lado la acción erosiva de las riberas altas de la margen izquierda del río produjo como ya se ha visto grandes cárcavas. Los daños principales debido a esta causa se produjeron especialmente en la cárcava que se formó en el camal de Sullana, destruyéndose las tuberías de agua en esta parte (Ver Foto 4-6).

- Daños causados por colmatación.

De manera similar a lo sucedido en Piura, entraron a los colectores una gran cantidad de sedimentos acompañando a las aguas pluviales que ingresaron a través de los buzones, quedando principalmente por esta razón una gran longitud de colectores obstruidos en el Sistema.

Las quebradas al transportar grandes volúmenes de agua, debido a su acción erosiva acarrearón una gran cantidad de arena y otros objetos, que fueron extraídos de su lecho, originándose la obstrucción de los colectores principales - en especial, en las áreas inundadas por el desbordamiento - de las quebradas la colmatación afectó principalmente a los colectores secundarios.

La colmatación en las zonas bajas donde se formaron las lagunas se produjo de manera similar a lo sucedido en Piura.- De igual forma, las vías donde se formaban pequeños flujos (En casi toda el área urbana) contribuyeron también a la colmatación de los colectores, especialmente en las zonas no pavimentadas.

b. Daños Estimados (1).

Agua Potable.

Los daños que se produjeron a este sistema son los siguientes :

- . Deflexión de la línea de conducción : 150 mt.
- . Destrucción de 250 conexiones domiciliarias.
- . Destrucción de las tuberías en un total de 2,480 mt., que se distribuyen así :

DESCRIPCION	CALIDAD	Ø	LONG.
- Línea de impul. nueva	A.C.	24"	40
- Línea de impul. antigua	F.F.	16"	70
- Línea de conduc. de Bellavista	A.C.	24"	200
- Línea de conduc. a Sullana	A.C.	24"	100
- Sistema de distribución	A.C.	24"	200
	"	16"	60
	"	14"	250
	"	12"	60
	"	8"	170
	"	6"	180
	"	4"	1,100
	T O T A L :		2,480

Se observa que la mayor longitud de colectores destruidos - se produjo en los de diámetro 4".

- Sistema de Alcantarillado.

. Obstrucción de colectores principales :

- Nuevo : 4,000 mt.

- Antiguo : 2,000 mt.

En la calle La Quebrada y transversal Canchaque.

. Obstrucción de colectores secundarios :

- Nuevo : 12,000 mt.

- Antiguo : 4,000 mt.

En el sector de Sullana, Bellavista y Pueblos Jóvenes.

. Destrucción de 2,000 mt. de colectores.

. Destrucción de 100 mt. de la nueva línea de impulsión de 800 mm. que va hacia las lagunas de oxidación.

. Destrucción de 80 cuerpos de buzones.

. Destrucción de 250 conexiones domiciliarias.

En la lámina 4-8 se puede observar la ubicación de los daños a las tuberías de agua y alcantarillado.

c. Deficiencia y dificultades en la operación y mantenimiento -- del Sistema Sullana.

Evidentemente, la destrucción y obstrucción de parte de las instalaciones del Sistema causaron problemas en la operación y mantenimiento durante y después del período lluvioso, especialmente debido a los daños en las líneas de impulsión y conducción de agua y en los colectores principales.

Existieron durante el período lluvioso ciertos factores, además de los mencionados anteriormente, que generaron problemas en la operación y mantenimiento. Se ha considerado importante mencionar estos factores, los que deben ser contemplados en la elaboración de un Plan de Emergencia que contemple la posibilidad de que el evento se vuelva a producir en el futuro, dichos factores se muestran a continuación :

- En la captación y transmisión de agua :
 - . Interrupción de la nueva captación de agua cruda al romperse el canal de derivación Chira-Piura.
 - . Estado inoperativo de los equipos de bombeo de la captación antigua, en la margen izquierda del río Chira.
 - . Capacidad insuficiente de los equipos de bombeo de captación antigua, así como la línea de impulsión, situación que no permitió cubrir una mayor área de servicio (Producción : 100 lps., Demanda : 360 lps.).
 - . Carencia de un grupo de generación de 300 Kw., para operar solamente la captación antigua, ya que los otros grupos instalados en la Casa de Fuerza eran de mayor potencia : 560 Kw. c/u y los requerimientos de energía eran de 270 Kw.
 - . Carencia de combustible en cantidad adecuada para operar la generación propia de energía.
 - . Cortes intempestivos del fluido eléctrico, lo que impedía una continua captación.
 - . Rotura de la línea de alta tensión que alimenta de energía eléctrica a la captación antigua, producido por corto circuitos debido al humedecimiento.
 - . Quema permanente de fusibles en los tableros antiguos de arranque, debido a los cortocircuitos originados por el ingreso de agua.

- . Retiro provisional del río Chira en la captación, imposibilitando que las bombas succionen agua cruda.
- En el Tratamiento :
 - . Por efecto de la destrucción de las vías de transporte, fue prácticamente imposible el abastecimiento de materia prima para el tratamiento.
 - . Capacidad insuficiente de los dosificadores de reactivo - (Antiguos) para tratar los picos elevados de turbiedad.
- En la Conducción :
 - . Carencia de Stock de materiales apropiados para solucionar problemas de rotura de tuberías de agua.
- En la Administración :
 - . Falta de orientación al personal interno y externo, para afrontar situaciones de emergencia en los servicios de -- agua potable.
 - . Falta de personal suficiente para afrontar diversos trabajos de emergencia.

4.3.7 Zonas Vulnerables y Zonas Protegidas.

Considerando el comportamiento de las diferentes áreas urbanas y los efectos en la estructura e infraestructura urbana durante el evento de 1983, podemos distinguir las siguientes zonas (Ver Lámina 4-9) :

- Zonas Vulnerables	445 Has.
- Zonas Menos Vulnerables	415 Has.
- Zonas Protegidas	40 Has.

4.4 EL SISTEMA DE EVACUACION DE AGUAS PLUVIALES (1).

Debido a que la ciudad de Sullana fue seriamente afectada al activarse las quebradas Cieneguillo y sus afluentes Cola de Alacrán y Bellavista, se está construyendo en la ciudad como parte de las obras de reconstrucción y rehabilitación un Sistema de Encauzamiento de las quebradas denominado Canal-Vía (Ver Lámina 4-10), para la eventualidad en que se produzca nuevamente un evento similar en el futuro y se pueda evacuar rápida y eficientemente las aguas de las quebradas y las aguas pluviales locales. Dicha obra es una de las más importantes que se está llevando a cabo en el Departamento de Piura.

(1) "Estudio de evacuación de aguas pluviales de Sullana y Bellavista". Cesar Lama Consultores Asociados S.R.L. y Kuroiwa-Kogan Arqs. + Ings. Asoc. S.R.L. 1984. Sullana.

El encauzamiento de las quebradas (Canal-Vía) forma parte del Sistema de Evacuación de Aguas Pluviales de Sullana, el cual consta de los siguientes elementos :

- Red Colectora Principal : Se encuentra incluido en el Programa de -- Ejecución de Obras de la Municipalidad y comprende :
 - . Canal-Vía Cieneguillo Central.
 - . Canal-Vía Cola de Alacrán.
 - . Desvío y encauzamiento de la quebrada Bellavista.
- Red Colectora Secundaria: No está incluida en el Programa de Ejecu-- ción de Obras de la Municipalidad y comprende :
 - . Red Hidrográfica Urbana.
 - . Dren Barrio Obrero.
 - . Solución Jr. Callao.
- Zona de Tratamiento Especial. No está incluido en el Programa de Eje-- ción de Obras de la Municipalidad y comprende :
 - . Zona de Ribera Alta de la margen izquierda del río Chira.
 - . Areas de influencia inmediata al canal.
 - . Remodelación de áreas públicas y parques a lo largo del Canal-Vía.

El Canal-Vía Cola de Alacrán descarga en el Canal-Vía Cieneguillo Central y éste a su vez en el río Chira en la parte Norte de la Ciudad, - en el mismo punto donde desembocó la quebrada Cineguillo (Ver Foto 4-1). Esta solución se ha concebido sobre la base de consideraciones hidráulicas, hidrológicas, topográficas, geológicas, de suelos, estructura-- les, vialidad, diseño urbano y costo de construcción.

Las aguas que serán evacuadas al río corresponden a una precipitación diaria de diseño de 158 mm. para un periodo de retorno de 50 años, cabe destacar que en el periodo Enero-Junio de 1983 la máxima precipita-- ción diaria registrada en la estación de Mallares (Sullana) fue de - - 148.1 mm., lo que hace suponer que el periodo de retorno de diseño es mucho mayor de 50 años, esto indica que se ha usado un valor bastante alto en el diseño en comparación con el Sistema de Evacuación de Piura donde se usó una precipitación de diseño de 50 mm. Considerando las - cuencas externas que drenan hacia la ciudad de Sullana y de las cuen-- cas urbanas internas y la precipitación de diseño, se ha obtenido un - caudal de $108 \text{ m}^3/\text{s}.$, el cual ha sido incrementado en un 15% como previ-- sión de seguridad, en consecuencia el caudal de descarga de diseño fue de $124 \text{ m}^3/\text{s}.$

Teniendo en cuenta la eventualidad de los altos regímenes de lluvia, - la solución del Canal-Vía que se ha adoptado cumple dos funciones : --

por un lado como canal en época de lluvia y por otro lado como vía urbana durante el resto de tiempo. Se ha contemplado además dos puentes -- vehiculares para evitar el aislamiento de grandes sectores de la ciudad en épocas de lluvia. Uno de los puentes se ha ubicado en el cruce de la Av. Central Bs. As. y garantiza el acceso al centro urbano a todo el sector Sur de la ciudad, y el otro puente en el sector del cementerio, garantizando la estabilidad de transporte entre el Casco Urbano Central, la Zona Industrial Norte y la parte Norte de Bellavista. Así mismo se ha tomado en cuenta el diseño de dos puentes peatonales.

La sección del Canal-Vía es de forma trapezoidal, de 7.50 mt. de ancho en la base para el caso de la quebrada Cola de Alacrán y 15.0 mt. de base para el caso de la quebrada Cieneguillo, y la altura constante a todo lo largo de 1.50 mt. Será recubierto con una losa de concreto armado de 0.15 mt. de espesor, con varillas de 3/8" cada 0.30 mt. en ambos sentidos, garantizando un comportamiento favorable en los casos en que se produzca erosión en los bordes o asentamientos debajo de la losa, -- evitando la rotura.

Los radios de curvatura y la pendiente del peralte serán de un mínimo - de 80 mt. y 3.5% respectivamente, para soportar los flujos de agua, y - la velocidad directriz de 20 KPH en el caso del flujo vial.

En cuanto al sistema colector urbano de aguas pluviales, el criterio -- urbanístico de "Integración vial" supone que las vías que tienen acceso al canal cumplen con la función de entregar agua en las épocas de llu-- via y permite el cruce de vehículos en el caso del sistema vial. Se ha considerado el uso de badenes como solución de integración vial urbana.

El eje del trazo del Canal-Vía se presenta considerando dos grandes ramales colectores :

- El colector Canal-Vía Cieneguillo Central.
- El colector Canal-Vía Cola de Alacrán.

El Canal-Vía Cieneguillo Central se inicia en el desvío a Tambogrande - siendo este punto el Km. 0.0 y sigue el curso de la quebrada (en direc-- ción Sur-Norte) culminando en la entrega al río Chira en el Km.3+734. - A lo largo del eje se distinguen dos partes claramente diferenciadas :- a la primera se le ha llamado "Par-Vial" y a la segunda "Canal-Vial".-- "El Par-Vial" define los bordes de la quebrada con dos vías: en la margen derecha una vía vehicular de doble sentido, y en la margen izquierda una vía peatonal tipo malecón. Los criterios de sustento de dicha - solución son asegurar la margen derecha y mediante un dique lo suficien

temente estable la protección del Barrio Obrero hacia donde penetra un brazo de la quebrada y en la margen izquierda lograr una demarcación física del fondo inundable de la quebrada, evitando con la vía peatonal tipo malecón la formación de asentamientos en zonas inundables. La vía vehicular se inicia en el desvío a Tambogrande y culmina en una entrega directa en la progresiva 0+920 Km. tiene una longitud de 1+050 Km., se ha diseñado recortada sobre el conglomerado del borde de la quebrada, con un talud 1H/1V. La sección total es de 20.40 mt. y tiene dos vías, de carriles en sentido opuesto. La vía malecón tiene una longitud de 950 mt., la sección total es de 3.50 mt. y tiene un talud de 1H/1V.

El tramo Canal-Vía Cieneguillo Central se inicia en la progresiva 0 + 825 y termina en la desembocadura, en la progresiva 3 + 734. Sus características ya han sido indicadas.

El colector Canal-Vía Cola de Alacrán se inicia en la intersección con la carretera Panamericana y sigue la dirección Oeste-Este hasta la progresiva 0 + 980, desemboca en el Canal-Vía Cieneguillo en las inmediaciones de la urbanización FONAVI. Está construido con concreto armado de las mismas características. La sección es también trapezoidal con sobre-bordes de seguridad de 0.50 mt. y dos veredas de 1.0 mt. cada uno a ambas márgenes del Canal-Vía. La pendiente del canal es uniforme: 2 por mil. El desnivel de la parte más elevada del canal está por encima del terreno natural entre las progresivas 0+200 y 0+520; ello supone que las aguas de lluvia locales provenientes de este tramo no serán evacuadas directamente, siendo necesario que estas aguas sean evacuadas por dos calles paralelas a ambas márgenes del canal-vía, con suficiente capacidad.

4.5 CONCLUSIONES.

1. Durante las intensas lluvias ocurridas en el evento de 1983 se dió lugar a un intenso Proceso Geodinámico Externo en la ciudad de Sullana, ocasionando graves daños a la estructura e infraestructura urbana, los cuales fueron de tal magnitud que no se tiene conocimiento de que algo semejante haya ocurrido en el pasado, a pesar de haberse presentado eventos similares.
2. Los factores que condicionaron el Proceso Geodinámico Externo en la ciudad de Sullana fueron los siguientes :

- Meteorológicos
 - Hidrológicos.
 - Geológicos.
 - Topográficos.
 - Ausencia de sistemas adecuados de protección y drenaje de las aguas.
3. Lo sucedido durante el evento de 1983 refleja que ha existido una - absoluta falta de consideración de la dinámica del medio físico en la PLANIFICACION de la ciudad, a pesar que en eventos anteriores -- (1891, 1925, 1972) dicha dinámica se activó aunque no con la misma intensidad ni con la misma magnitud de daños a la estructura e in--fraestructura urbana, dado que ésta ha crecido considerablemente en los últimos años dentro de la mayor improvisación, habiéndose ocupado áreas inundables sin garantizar las condiciones mínimas de segu--ridad, exponiéndose de esta manera a grandes sectores urbanos a to--rreteras e inundaciones.
 4. El comportamiento del área urbana de la ciudad de Sullana durante - el intenso periodo lluvioso fue prácticamente ineficiente, contando solamente con un 4.4% de su área con una suficiente capacidad de --evacuación de aguas pluviales, demostrando de esta manera no estar preparada para eventos de esta naturaleza.
 5. El problema más grave de las zonas afectadas (Zonas Vulnerables) -- fue la acción dinámica de las quebradas que atravesaron la ciudad - (Cieneguillo, Cola de Alacrán y Bellavista) caracterizada por gran--des inundaciones y exageradas erosiones que causaron los daños más violentos dentro del espacio urbano comprometiendo al 43% del área urbana total. Considerables fueron también los daños causados por cárcavas que se formaron en las laderas de la margen izquierda del río Chira y las grandes lagunas que se formaron en la ciudad. Incluyendo la acción de las quebradas, las zonas más afectadas represen--taron el 49% del área urbana total, observándose de esta manera que el Proceso en Sullana fue mucho más intenso que en Piura.
 6. Las condiciones Geomorfológicas del área ocupada por la ciudad Su--llana-Bellavista y su entorno determinaron la formación de las gran--des quebradas que atravesaron la ciudad y corresponde a la cuenca - Cieneguillo ubicada en la margen izquierda del río Chira, la cual - fue elaborada en épocas geológicas pasadas y con un clima diferente al actual. Se considera al evento de 1983 como uno de los más in--tensos que se recuerda por los grandes volúmenes de agua que trans--

portaron las quebradas al activarse nuevamente.

7. Entre los factores adicionales, que contribuyeron a magnificar los daños originados por las quebradas, tenemos los siguientes :
 - . Debido al represamiento inicial originado por los terraplenes de las carreteras, lo que dió lugar a la irrupción de las aguas a la ciudad, descargando uno de los máximos caudales observados durante el evento, que se estima alcanzaron $200 - 250 \text{ m}^3/\text{s}$.
 - . Debido a los cambios de dirección, que intensificaron la acción erosiva, especialmente en las curvas exteriores.
 - . Por estar sobre suelos no consolidados, lo que favoreció la erosión lateral.
 - . La aridez predominante del entorno de la ciudad determinó una escasa cobertura vegetal cuyo rol protector de los suelos al producirse las intensas lluvias fue casi nulo.
8. La inestabilidad de las laderas de la margen izquierda del río Chira se debió básicamente a la falta de cohesión de las arenas eólicas, razón por la cual fue suficiente que discurrieran las aguas pluviales locales para que se formaran cárcavas de gran tamaño, afectando a las construcciones que se encontraban en la parte superior de dichas laderas.
9. Las grandes lagunas que se formaron en la ciudad se debieron básicamente a la clara depresión topográfica de dichas áreas y a la incapacidad de las vías para evacuar las aguas pluviales. Existieron otras zonas donde también se formaron lagunas pero de menor tamaño como las que se ubicaron en los PP.JJ. 4 de Noviembre y Sanchez Cerro.
10. Los daños en las edificaciones se produjeron debido por un lado a que estuvieron ubicadas en Zonas Vulnerables y por otro lado al tipo de material susceptible y al mal estado en que se encontraban, observándose que las Zonas Vulnerables fueron en Sullana más extensas que en Piura y además las viviendas en mal estado antes del desastre tuvieron una proporción mayor que la capital departamental.
11. Específicamente, al igual que en Piura, una de las causas fundamentales de los daños en las viviendas fue el mal estado en que se encontraban los techos, que debieron evacuar las aguas pluviales rápidamente hacia las vías evitando de esta manera el humedecimiento de las paredes. La deficiente evacuación de las vías también jugó un rol importante en la magnitud de los daños, dado que esta situación contribuyó al humedecimiento de los muros especialmente los de adobe.

12. Como consecuencia, la mayor cantidad de daños en las edificaciones - se produjeron en los Asentamientos Humanos Marginales, correspondiéndoles el 79% del total de viviendas que quedaron totalmente inutilizadas en Sullana-Bellavista.
13. Los daños en el Sistema de Agua y Alcantarillado se produjeron básicamente a la acción erosiva de las quebradas, que destrozaron las -- instalaciones que se encontraron en su cauce.

4.6 RECOMENDACIONES.

1. Debe evitarse en lo posible, soluciones aisladas y de plazo inmediato, lo importante es preparar a la estructura e infraestructura urbana, reduciendo su vulnerabilidad en caso de que ocurran eventos - similares en el futuro, estos requerimientos deben estar encuadrados dentro de un Programa General para Sullana, debiéndose incluir además un Plan Operativo de Emergencia.
2. El Programa General mencionado debe contemplar los estudios necesarios para garantizar un efectivo control y protección de la Geodinámica Externa en las áreas existentes, especialmente en las Zonas -- Vulnerables contempladas en el presente estudio, y poder de esta manera prevenir los desastres naturales ocasionados por las lluvias - intensas, incluyéndose las obras dentro de un orden adecuado de - - prioridades de ejecución. Evidentemente que la solución no reside en diseñar estructuras para soportar la intensidad de un evento como el de 1983, dado que serían sobredimensionadas y antieconómicas. Lo importante es que se logre un máximo de seguridad y funcionalidad dentro de criterios económicos razonables. Es importante que - se coordine con el Programa General de Piura para aunar esfuerzos.
3. El Plan Operativo de Emergencia (P.O.E.) mencionado debe llevarse a cabo antes y durante un periodo lluvioso intenso, debiendo establecer un conjunto de acciones concretas en concordancia con los estudios incluidos en el Programa General y poder tener de esta manera una adecuada capacidad de respuesta ante las lluvias intensas, garantizándose un máximo de eficiencia de las obras de control y protección. El P.O.E. debe contar con una dirección centralizada a -- fin de evitar interferencia de funciones por parte de la Municipalidad, la Sub-Prefectura, CORPIURA, el Comité de Emergencia, etc., como sucedió en 1983.
4. Es preciso PLANIFICAR las áreas urbanas existentes y las futuras -- considerando la dinámica del medio físico, en concordancia con el -

Programa General. En cuanto a las áreas ya existentes, la PLANIFICACION debe considerar una adecuada remodelación urbana en determinadas zonas, como es el caso por ejemplo de Bellavista, en que la disposición urbanística de las manzanas ha estado en sentido perpendicular al flujo de las aguas pluviales. La remodelación urbana debe llevarse a cabo en las siguientes zonas :

- . Areas urbanas afectadas por la inadecuada evacuación de las -- aguas pluviales.
- . Areas urbanas con fines de adecuada integración de la ciudad con el Canal-Vía en construcción.
- . Areas urbanas devastadas por las quebradas Cieneguillo, Cola de Alacrán y Bellavista, colindantes con la construcción del Canal-Vía.

5. En cuanto a las futuras áreas urbanas, la PLANIFICACION debe considerar los siguientes aspectos :

- . Una adecuada calificación de los asentamientos humanos.
- . Delimitación de las Zonas de Protección y Seguridad.
- . Zonificación y Uso General del suelo.
- . Preparación de las Normas Técnicas para el diseño y ejecución de obras de infraestructura aplicables a cada Zona Problema, considerando criterios de Prevención de Desastres Naturales.

6. Es importante tener en cuenta que la PLANIFICACION FISICA, supone la implementación de los factores socioeconómicos, aprovechando -- para el desarrollo de la comunidad los siguientes aspectos :

- . La Geología y la Geomorfología, tomando en consideración la esco rrentía superficial y el transporte de materiales.
- . La capacidad sismo-dinámica del suelo.
- . Las condiciones climáticas como: lluvias, viento, humedad y temperatura.

7. Es necesario una cobertura vegetal en el sector extraurbano inme-- diato a la ciudad en un radio de 3 Km., especialmente en los fon-- dos de las quebradas, a fin de retener los materiales que arras-- tran las quebradas cuando se activan.

8. La vulnerabilidad de la ciudad ante eventos similares disminuirá -- considerablemente con el Sistema de Evacuación de Aguas Pluviales, el cual necesita de un estudio de mayor profundidad para garanti-- zar un máximo de eficiencia, debiéndose considerar los siguientes aspectos :

- . Analizar y estudiar en mayor detalle los colectores secundarios,

teniendo en cuenta especialmente los aspectos hidrológicos y topográficos, y adecuar las pendientes de todas las vías tributarias para que evacúen fácilmente hacia los colectores secundarios y al Canal-Vía.

- . Se debe garantizar que las aguas de otras áreas no ingresen a las zonas donde se forman las lagunas y lograr disminuir su caudal de evacuación.
 - . La evacuación de las lagunas merecen un estudio especial debiendo se evitar soluciones por bombeo. La vía Jr. Callao y el dren Barrio Obrero, señalados en la propuesta del Sistema de Evacuación, son los más adecuados para evacuar las lagunas, los cuales deben drenar hacia el canal.
 - . En todo caso, la evacuación de las aguas pluviales en eventos similares puede lograrse con el aporte adicional de las operaciones de emergencia, los cuales deben estar programados en el P.O.E., - de tal forma que sea coherente con la capacidad y limitaciones -- del Sistema de Evacuación y lograr de esta manera un máximo de -- eficiencia.
9. Debe llevarse un estricto Control y Supervisión de los Proyectos -- específicos (Canal-Vía, dique de encauzamiento de la quebrada Bella vista), para garantizar que se cumplan las especificaciones y normas y además debe establecerse un orden de prioridades en la ejecución de las obras del Sistema de Evacuación, a fin de evitar mayores costos y duplicidad de acciones, debiéndose coordinar adecuadamente con las otras obras, como las de infraestructura urbana.
10. Es importante implementar un Programa de Defensa y Recuperación de las riberas altas de la margen izquierda del río Chira, en donde se contemple aplicar acciones diferenciadas según las características específicas de cada tramo afectado. A continuación se muestran las siguientes alternativas :
- . Construir defensas y estabilizar los taludes.
 - . Terracear la ladera donde se formaron las cárcavas.
 - . Expropiar las viviendas afectadas y convertir la zona en un malecón alto.
 - . Proteger las laderas con cobertura vegetal.
11. Los techos de las edificaciones deben ser capaces de evacuar las -- aguas pluviales mediante pendientes razonables, evitándose de esta

manera el humedecimiento de las paredes, las mismas que deben contar con una adecuada protección contra la humedad en la parte inferior (Sobrecimientos, zócalos, etc.).

12. Se recomienda usar el adobe estabilizado en las viviendas de bajo costo, dado que este material presentó un comportamiento aceptable durante el periodo lluvioso.
13. Es necesario ampliar y adaptar el Sistema de Agua y Alcantarillado para enfrentar de esta manera situaciones de emergencia futuras, logrando disminuir su vulnerabilidad, para lo cual es conveniente considerar los siguientes aspectos :
 - . Otorgar el máximo de hermeticidad a los colectores principales y secundarios de aguas servidas, para evitar la inundación y colmatación de los mismos durante las lluvias.
 - . Adecuar el Sistema de Alcantarillado al Canal-Vía.
 - . Los trabajos de rehabilitación y ampliación del Sistema deben coordinarse con los del Sistema de Evacuación de Aguas Pluviales.
14. Es necesario un adecuado mantenimiento y limpieza antes de cada periodo lluvioso, especialmente en los Sistemas de Evacuación de Aguas Pluviales y Alcantarillado.

5.- ESTUDIO DE LAS VIAS DE TRANSPORTE

Dentro de la infraestructura socio-económica afectada en el Norte del País, éste sector fue el que presentó mayores daños físicos, alcanzando un monto estimado de 200 millones de dólares americanos en pérdidas. Solamente en el departamento de Piura fueron afectados: 1,290 km. de carreteras, 11 puentes, 2 aeropuertos.

Aparte de las cuantiosas pérdidas económicas debido a los daños físicos en las vías, hay que agregar las graves repercusiones en el flujo de transporte de la producción e insumos, debido al completo aislamiento por vía terrestre del resto del país y la incomunicación interna entre ciudades y pueblos del departamento, aislamiento que agudizó aún más la situación de los pobladores, dada la imposibilidad por vía terrestre de recibir ayuda suficiente del resto del país durante los largos meses de emergencia.

Para el presente estudio, se ha escogido como muestra 5 tramos asfaltados, que han sido estudiados con mayor detenimiento, lo que nos ha permitido tipificar los daños, como se verá más adelante, además se hace una descripción y evaluación de los daños en dichas vías.

5.1.- EL SISTEMA DE TRANSPORTE EN PIURA

La dinámica económica del departamento de Piura explica el hecho de que tenga una de las redes más densas del país, teniendo un elevado flujo interno de transporte, destacando el eje Piura-Sullana por ser el más dinámico, el cual enlaza a los Valles Piura y Chira.

Siendo Piura, según el censo de 1981, el segundo departamento más poblado después de Lima, constituye el único caso en que la población de la capital no tiene una diferencia exagerada con otras poblaciones, existiendo centros poblados relativamente parejos: Piura, Sullana, Talara y Paita, los que están debidamente vinculados mediante carreteras asfaltadas, estableciéndose un intenso intercambio comercial, en donde los Valles del Chira y Piura son abastecedores de las ciudades-puerto Talara y Paita y estos a su vez vinculan a las ciudades del interior con el transporte marítimo.

La Red Vial del departamento (Ver Lámina 5-1) se vincula con el resto del país a través de la carretera Panamericana: al Sur por intermedio de dos ramales asfaltados se enlaza con Chiclayo, al Norte igualmente con dos ramales, un ramal asfaltado que conecta con Tumbes (Frontera con Ecuador) y un ramal afirmado de estratégica importancia con La Tina (Frontera con Ecuador), Al Este se vincula directamente a la Localidad de San Ignacio conectándose de esta manera con Jaén, en el Dpto. de Cajamarca.

La Red Vial del departamento se clasifica en tres categorías: la Red Nacional (27.5%), la Red Departamental (12.7%) y la Red Vecinal - - (59.8%), siendo el total de la Red de 3,337 km. En general las vías que conforman esta Red según el estado en que se encuentran se clasifican en: asfaltadas (25%), afirmadas (13.5%), sin afirmar (18.5%) y trocha (43%).

A continuación se muestra un resumen clasificado de la Red Vial del departamento en Kms. (1):

RESUMEN CLASIFICADO	ASFALT.	AFIRMA.	SIN AFIRM.TROCHA	TOTAL	
RED NACIONAL	460	207	89	161	917
RED DEPARTAM.	169	174	46	37	426
RED VECINAL	204	70	487	1233	1994
TOTAL	833	451	622	1431	3337

5.2.- ACCION DE LA GEODINAMICA EXTERNA, DESCRIPCION Y EVALUACION DE DAÑOS.

La Geodinámica Externa que actuó sobre la Red Vial del departamento estuvo caracterizada por inundaciones, huaycos y deslizamientos menores y condicionada además por una serie de factores, entre los más importantes podemos mencionar:

- Metereológicos
- Hidrológicos
- Geológicos
- Topográficos
- Modificación de laderas por procesos naturales y por cortes efectuados por obra del hombre (cortes a media ladera en vías, etc.).

(1) FUENTE: M.T.C. Dirección Departamental de Caminos 1983

- Modificación del sistema natural de drenaje con la construcción de las vías (terraplenes) que cortan dicha red de corrientes - pequeñas y grandes.
- Ausencia de sistemas adecuados de protección y drenaje de las - aguas.

Como se ha visto anteriormente en la lámina 5-1, la Red Vial está distribuida en todo el territorio del departamento, dentro de la llamada Depresión Parandina (Ver 2.2.1.) y en la Cordillera Occidental (Ayabaca, Morropón, Huancabamba). Los aspectos Meteorológicos, hidrológicos y geológicos de la región han sido tratados - en el Cap. 2.

Por razones obvias, el presente estudio se limita a describir los daños típicos sin tener el alcance de los capítulos anteriores, - es decir de definir áreas Vulnerables y áreas Protegidas y su respectivo comportamiento con respecto a niveles de afectación, dado que la Red Vial compromete a una superficie muy vasta que abarca, como se ha señalado, todo el departamento. Sin embargo se menciona en términos generales el comportamiento de ciertas zonas con - rasgos topográficos similares, que definen características particulares dentro de los daños típicos que serán señalados.

5.2.1.- Topografía Regional.

La topografía de la región en estudio tiene características que oscilan entre: casi llana, ondulada y accidentada. Para los efectos del presente estudio, hemos dividido la región en tres sectores (Ver lámina 5-2) que se señalan a continuación:

- Sector Oeste: Tiene cotas que oscilan entre 0 y 1,000 m.s.n.m., dentro de este sector está ubicada la Cordillera de la Costa (Cerro de Illescas, Silla de Paita.) y la Cordillera de Amotape. Predominando los terrenos ondulados y casi - llanos.
- Sector Central: Tiene cotas que oscilan entre los 50 y 400 m.s.n.m., representa la gran llanura denomi-

nada Depresión Parandina. Predominan los terrenos casi llanos, aunque en los extremos Este y Oeste se observan terrenos ondulados.

- Sector Este : Tiene cotas que oscilan entre los 400 y 3,000 m.s.n.m., dentro de este sector está ubicada la Cordillera Occidental (Ayabaca, Huancabamba, Morropón). Predominan los terrenos accidentados.

Las zonas más bajas están representadas por los Valles de Chira y Piura, que descienden hasta llegar al Océano.

5.2.2.- Daños Típicos. Descripción e Interpretación.

En general podemos decir que durante el período lluvioso se formaron por un lado considerables lagunas y por otro lado grandes flujos tanto en los ríos como en las quebradas, en estos últimos los caudales superaron ampliamente la capacidad de las alcantarillas, transformándose éstas en un obstáculo en el escurrimiento de las aguas, además se activaron "nuevas" quebradas las que encontraron a las vías sin ningún tipo de protección (alcantarillas), originando de esta manera tremendos daños en la red vial, los que se describirán a continuación.

En base al estudio con mayor detenimiento que se ha realizado en los 5 tramos, a observaciones rápidas efectuadas en otros tramos y a las entrevistas a funcionarios de la zona, los daños en las vías los podemos tipificar de la siguiente manera:

- Daños causados por erosión . (Tipo 1).

Este tipo de daños se caracterizó por ser violento, originando generalmente el colapso de la estructura del pavimento en determinados tramos, cortando de esta manera el flujo vial.

La acción erosiva originada por las quebradas fue el más frecuente de los daños en las vías afectadas, presentándose en los tres sectores anteriormente indicado (Ver 5.2.1.) y además dicha acción tuvo rasgos característicos según la

topografía del terreno por el que atravesaban las vías: casi llano, ondulado y accidentado.

En los terrenos casi llanos, los cauces fueron bastante anchos y no muy bien definidos (Ver Foto 5-1), siendo represados inicialmente por el terraplén de las vías, al no poder drenar eficientemente las alcantarillas, en los casos en que no hubo (alcantarilla) el represamiento fue mayor, terminando las aguas por rebasar el terraplén, erosionándolo y provocando el colapso tanto de la estructura del pavimento como de la alcantarilla, erosionando inclusive el terreno de fundación en donde la erosión llegó a tener profundidades superiores a los 3 mts. y anchos superiores a 300 mt. (Ver Fotos 5-2, 5-3 y 5-4).

El flujo de grandes volúmenes de agua que transportaron las quebradas resultó sorprendente si consideramos que se produjo en zonas donde el suelo está constituido por depósitos éolicos, permeables, con un coeficiente de escurrimiento bastante bajo (Vía Piura-Sullana, Sullana-Paita, etc.), este tipo de suelos es predominante en el sector Central y Oeste (Ver lámina 5-2), esto sólo es explicable por la presencia de un estrato inferior y cercano lo suficientemente impermeable.

En los terrenos ondulados y accidentados los cauces fueron bien definidos por la acción erosiva en el terreno, el proceso de colapso de las vías fue similar a lo anterior (represamiento, rebose, erosión y colapso, como puede verse en la Fig 5-1) caracterizándose por ser más profunda, superando en muchos casos los 4 mts. y por ser de menor ancho.

Uno de los problemas característicos en estas vías (ubicadas en terrenos ondulados y accidentados) fue la mala ubicación de las alcantarillas, observándose en algunos casos que las quebradas pasaron al costado de dichas alcantarillas debido generalmente a que la dirección de la quebrada era oblicua a la vía, como lo sucedido en la vía Sullana-Tambogrande (Ver fotos 5-5 y Fig. 5-2); en otros casos la corriente discurrió paralela a la vía erosionando el terraplén y las estructuras de con-

creto que protegían el talud del terraplén como lo sucedido en el tramo Sullana-Poechos (Ver Fotos 5-6, 5-7 y Fig. 5-3). En otros casos las alcantarillas de metal se encontraban completamente oxidadas (Ver Foto 5-8).

En ciertas quebradas menores la erosión se produjo a los costados de la alcantarilla sin que ésta colapsara, esta situación se explica debido a la mala compactación del terraplén que es frecuente en la vecindad de las alcantarillas, es sabido que estas zonas son susceptibles al proceso conocido - por tubificación (1), que es un proceso que comienza con el arrastre de partículas en el interior de la masa por efecto de las fuerzas erosivas generadas por el flujo de agua, siendo de esta manera removidas las partículas, formándose pequeños canales dentro del terraplén, debilitándolo de esta manera. No se descarta que este proceso se haya producido en los represamientos previos al colapso de la estructura del pavimento y la alcantarilla, señalados anteriormente. En general el proceso de tubificación se produce cuando se forma un flujo causado por una diferencia de carga hidráulica (represa - miento a un lado del terraplén, por ejemplo) y es favorecido por la mala compactación, el tipo de material susceptible - (arenas no cohesivas, etc.) entre otras cosas. (Ver Fig. 5-4 y 5-5).

En los cortes a media ladera se ha observado erosiones considerables en el terraplén de relleno (tramo Sullana-Paita) debido a que las aguas al no encontrar cunetas laterales - discurrió sobre el asfalto, lavando las bermas y el talud, - estas erosiones afectaron parcialmente la estructura del pavimento. (Ver Fotos 5-9 y Fig, 5-6).

La acción erosiva de las quebradas afectó también los pontones, socavando los estribos, haciéndolos colapsar en ciertos casos, como el Puente "El Pedregal" (Tramo Sullana-Tambogrande Ver Foto 5-10), en otros pontones de dicho tramo quedaron algunos estribos con la cimentación comprometida por la socavación.

(1) "La Ingeniería de suelos en las vías terrestres"

Por otro lado la acción erosiva del río afectó principalmente a los puentes, socavando en primer lugar la base de los estribos (Puente Bolognesi, Puente Piura, etc.) en otros casos se produjo el colapso del puente como es el caso del puente "Independencia" (Tramo Piura-Sechura), en donde la acción erosiva produjo el colapso de las bases de los pilares. En las vías paralelas y cercanas al cauce del río se han producido en ciertos casos erosiones considerables debido a la dinámica del río.

La acción erosiva de los ríos tuvo un comportamiento típico en los cambios de dirección, socavando en mayor grado la margen ubicada en la curva externa, tal es el caso de los puentes en la ciudad de Piura (Ver Foto 5-11), especialmente el puente Bolognesi, en donde se observó que el estribo de la margen izquierda (curva externa) fue el más afectado por la socavación.

Por otro lado, ha sido común encontrar en las vías erosiones en los extremos de la plataforma, es decir en las bermas (Ver Foto 5-12), estas erosiones se formaron debido al continuo lavado, dada la persistencia de las aguas pluviales, afectando también en ciertos casos a la estructura del pavimento. En las quebradas menores las aguas erosionaron frecuentemente el lado aguas abajo, formándose cárcavas que afectaron la cimentación de las alcantarillas (Ver Foto 5-13).

Es importante mencionar que la acción erosiva en el lecho de los ríos y en el de las quebradas (Ver Fotos 5-14 y 5-15) fue facilitado por el tipo de material predominante, que en general es poco cohesivo y fácilmente erosionable, razón por la cual los puentes y alcantarillas fueron frecuentemente afectados por la socavación, colapsando en numerosos casos.

Por otra parte, aunque parezca paradójico, la erosión producida en el lecho del río en las inmediaciones de la ciudad de Piura evitó en cierta manera el colapso de los 3 puentes allí ubicados, debido a que los tremendos caudales registrados (3,200 m³/s) pudieron pasar dada la degradación del fondo,-

que ha llegado a profundidades de socavamiento de 3.5 mt, - dando de esta manera mayor sección de escurrimiento, sin - llegar a alcanzar los cordones inferiores de los puentes, - situación que hubiera significado un gran peligro dada las posibilidades de colapso de las estructuras en estas condiciones.

- Daños causados por saturación e inundación. (Tipo 2)

Este tipo de daños se caracterizó por no ser violento y por comprometer un gran porcentaje de la longitud de las vías, originando generalmente asentamientos, deformaciones, deterioro de la estructura del pavimento, colapso de terraplenes y/o destrucción de la carpeta asfáltica.

Como es evidente, estos daños han estado asociados a la presencia del agua en el terreno inmediato a las vías, en el terreno de fundación y en la estructura del pavimento.

Como se sabe, de las aguas pluviales que caen sobre el terreno, una parte escurre por la superficie, otra se infiltra y otra se evapora. De las aguas que escurren superficialmente en una determinada área, parte se dirige a alguna corriente superficial (quebrada) y parte se queda estancada - ya sea debido a que entran a una zona deprimida topográficamente sin ninguna posibilidad natural de drenaje o debido que encuentran en su recorrido a alguna barrera natural o artificial que impide su escurrimiento represándose, como es el caso del terraplén de las vías, formándose de esta manera numerosas lagunas (Ver Fig. 5-7).

Durante los meses de lluvias intensas, estas lagunas que se formaron a lo largo de las vías permanecieron estancadas - durante cierto tiempo debido al estado de saturación del - suelo, al igual que el flujo de muchas quebradas, esta situación resulta sorprendente si consideramos que dichas lagunas se formaron en zonas donde el suelo está constituido por depósitos eólicos, permeables, con un coeficiente de - escurrimiento bastante bajo, esto es explicable solo con la

presencia de un estrato inferior y cercano lo suficientemente impermeable.

Específicamente, las aguas del subsuelo (napa freática) y de las lagunas formadas, están asociadas a este tipo de daños. Se mencionan a continuación los efectos principales a que dan lugar la presencia de estas aguas:

- Al cambiar el contenido de agua de los suelos cambian sus propiedades mecánicas más importantes, tales como la resistencia al esfuerzo cortante, que disminuye tanto en los suelos arcillosos como en los granulares (arenosos), y la compresibilidad, que crece cuando el suelo fino adquiere agua. En suelos arenosos, especialmente en los cementados con sustancias solubles, la invasión de aguas puede producir cambios drásticos en la estructuración y, por lo tanto, en la resistencia; también en este caso disminuye la resistencia por las fuerzas boyantes que se ejercen sobre los materiales bajo el nivel freático. Todo lo anterior se refleja en los asentamientos producidos en los terraplenes, en el colapso de éstos, en las deformaciones que sufre la capa subrasante, etc.
- Los movimientos y variaciones en el agua freática y sus efectos no son nunca uniformes, por lo que producen áreas de diferente comportamiento en el terreno de cimentación.
- Los cambios en contenidos de agua propician cambios de volumen perjudiciales en suelos expansivos.
- La acción del agua en el pavimento puede producir efectos destructivos diferentes a los asociados a los cambios de volumen o de resistencia de los suelos, tales como el bombeo o la separación de la película de asfalto de las partículas de agregado en las carpetas asfálticas o en las bases asfálticas. Esto explica la destrucción de la carpeta asfáltica en las zonas donde se formaron lagunas que cubrieron el pavimento.
- Un efecto del flujo del agua en el terreno de cimentación es la tubificación, producida cuando el agua se infiltra a través del suelo de cimentación con su gradiente hidráulico superior al crítico, de manera que haya arrastre de partículas. La

condición de tubificación es peligrosa en el terreno de cimentación y en el terraplén, especialmente en los casos en que brota agua a un lado del terraplén cuando existe embalse en el otro lado. Estos represamientos se han producido en muchas vías (tramo Piura-Sullana, Piura-Sechura, etc.) por lo que no se descarta que se haya presentado dicho proceso. En este caso la tubificación empieza cuando hay arrastre de partículas de suelo en el interior de la masa por efecto de las fuerzas erosivas generadas por el flujo de agua. Una vez que las partículas empiezan a ser removidas van quedando en el suelo pequeños canales por los que el agua circula a mayor velocidad, con mayor poder de arrastre, de manera que el fenómeno de tubificación tiende a crecer continuamente una vez que comienza, aumentando siempre el diámetro de los canales que se van formando en el interior del terraplén. El límite del fenómeno es el colapso del bordo, al quedar éste surcado por huecos de diámetro suficiente para afectar la estabilidad por disminución de la sección resistente. Los suelos más susceptibles a la tubificación son los friccionantes finos, permeables, sin cimentación, con índice plástico menor de 10% (Ver Fig. 5-5).

Se ha podido observar deformaciones en la plataforma en ciertos tramos, como es el caso de la vía Sullana-Tambo grande, en donde se ha detectado ondulaciones semejando un "tobogán" sin afectar seriamente a la carpeta asfáltica en esta parte (Ver Foto 5-16). Este efecto se explica con la presencia del agua en el terreno de fundación, dando lugar a la pérdida de su resistencia al esfuerzo cortante, como se ha señalado anteriormente.

La magnitud de los daños fue favorecida por el paso de vehículos en circunstancias en que la estructura del pavimento y el terreno de cimentación se presentaban en las condiciones desfavorables señaladas anteriormente.

Considerando la importancia que tiene la resistencia al

(1) "La ingeniería de suelos en las vías terrestres"

Alfonso Rico y Hermilio del Castillo. Pags. 114 y 29

esfuerzo cortante del terreno de cimentación, me permito, en las líneas que siguen ahondar un poco más en los efectos que la presencia del agua produce en dicha resistencia:

En general, la resistencia al esfuerzo cortante constituye - la característica fundamental a la que se liga la capacidad de los suelos para adaptarse a las cargas que actúan sobre - ellos sin fallar. De esta manera la resistencia al esfuerzo cortante resulta el parámetro fundamental a definir en co- nexión con los problemas de resistencia y falla.

Básicamente, la resistencia al esfuerzo cortante del terreno de cimentación disminuye considerablemente con la presencia- del agua. En los suelos arenosos saturados dicha resistencia depende del ángulo de fricción y de la presión neutral inters- ticial, ésta relación se expresa en la siguiente ecuación - (Ver Fig. 5-8):

$$s = (\sigma - u) \operatorname{tg} \emptyset$$

s = Esfuerzo cortante, final o de falla

σ = Esfuerzo normal, en el plano de falla

u = Presión neutral intersticial

\emptyset = Ángulo de fricción.

Experimentalmente se sabe que la presencia del agua no influye en el valor del ángulo de fricción (\emptyset), pero aumenta el valor de la presión neutral intersticial, de esta manera el valor $(\sigma - u)$ disminuye, pudiendo llegar a cero, en este caso la arena pierde toda su resistencia, pasando a comportarse como un fluido pesado. Esta condición está ligada no sólo a la causa que provoque "u", como podría ser el flujo de - agua, sino a características de la propia arena; en arenas finas y uniformes o en limos sin cohesión, la permeabilidad es relativamente baja y cualquier presión neutral que se de- sarrolle tendrá dificultades para disiparse, siendo estos - suelos los que presentan más riesgo de disminuir o anular - su resistencia por este concepto. Las arenas gruesas o gravas pueden llegar a la condición de resistencia nula si el flujo es suficientemente grande.

Cuando las arenas se deforman bajo esfuerzo cortante, su volumen cambia; si la arena está saturada, tal cambio debe ir acompañado de una nueva distribución del agua en los vacíos. Si la permeabilidad del suelo es muy alta o los cambios anteriores ocurren muy lentamente, sólo aparecerán presiones neutrales muy pequeñas sin mayor influencia en la resistencia; pero si los cambios son muy rápidos o la permeabilidad es relativamente baja se podrá llegar por efecto acumulativo a grandes presiones neutrales, quedando la resistencia muy afectada.

Por otro lado, en los suelos cohesivos, la resistencia al esfuerzo cortante es influenciada además por otro parámetro que es la cohesión "c". La relación en este caso se expresa de la siguiente forma:

$$s = c + (\sigma - u) \operatorname{tg} \phi$$

c = Cohesión.

La cohesión está ligada a los efectos eléctricos de atracción y repulsión de las partículas del suelo. Básicamente, en los suelos cohesivos la resistencia al esfuerzo cortante disminuye cuando aumenta la presencia del agua intersticial. Una explicación estriba en que, en un suelo seco cohesivo, los iones de superficie de sus cristales no están completamente hidratados, lo que permite acomodos más próximos y fuertes nexos entre los cristales; cuando llega el agua, los iones se hidratan y los nexos entre los cristales se debilitan substancialmente.

Desde el punto de vista ingenieril, los factores que inciden principalmente en la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos cohesivos saturados son los siguientes:

- Historia previa de consolidación del suelo
- Condiciones de drenaje del mismo
- Velocidad de aplicación de las cargas
- Sensibilidad de su estructura

Como los suelos granulares, los cohesivos son acumulaciones -

discretas de partículas que deben deslizarse unas sobre otras o rodar para que llegue a producirse una falla por esfuerzo - cortante. Sin embargo hay algunas diferencias de significación: Primero, cuando se aplica la carga exterior a un suelo cohesivo saturado (arcillas), se acepta que es tomada primero por el agua, en forma de presión neutral, "u". Esta es una consecuencia de la compresibilidad que ahora tiene la estructura sólida del suelo, en comparación con el agua. Segundo, - la permeabilidad del suelo es ahora tan baja que la presión - neutral producida necesita tiempo para disiparse, en el supuesto de que existan las apropiadas condiciones de drenaje - para hacer posible tal disipación. Tercero, existen ahora fuerzas muy significativas entre las partículas del suelo, debido a los efectos de atracción y repulsión antes señalados.

A lo dicho anteriormente, podemos agregar los siguientes efectos que produce la presencia del agua, comprometiendo la estabilidad de la masa, tanto en las arenas como en los suelos cohesivos: aumento de peso, que influye en la estabilidad especialmente del terraplén y por otro lado; eliminación de parte de la tensión superficial en el interior de la masa, dicha - tensión proporciona al conjunto una cohesión aparente dándole cierta estabilidad especialmente en el caso de las arenas.

- Daños causados por huaycos y deslizamientos menores (Tipo 3)
Este tipo de daños se caracterizó por ser violento, originando la destrucción y/o obstrucción de las vías, debido a la acción dinámica de grandes masas de tierra. Cabe señalar que - esta situación se presentó en los terrenos accidentados, en las vías ubicadas en el Sector Este (Ver Lámina 5-2), es decir en la sierra de Piura (Ayabaca, Huancabamba, Morropón.).

Los huaycos estuvieron ligados a la acción de los torrentes - que se formaron en las partes altas, los que al erosionar - los suelos acarrearon grandes masas de tierra en forma de lodo y acompañado de rocas. De esta manera, la acción dinámica de los huaycos estuvo asociado a los siguientes factores:

- Intensidad de las lluvias, los cuales tuvieron un caracter

extraordinario

- Características de las cuencas, especialmente las de recepción y escurrimiento.
- Tipo de suelo: erosionable
- Pendientes pronunciadas, propias de terrenos accidentados.

Se sabe que los huaycos tienen un comportamiento geomorfológico típico (al margen de las particularidades que caracterizan a cada huayco) evolucionando de tal forma a lo largo de su recorrido, que podemos distinguir tres partes bien definidas (Ver Fig. 5-9):

- Cuenca de recepción (Parte alta).
- Cuenca de escurrimiento (Parte media).
- Cono de proyección (Parte baja)

La zona más peligrosa es la parte baja, debido a que en esta parte la masa posee una gran dinámica y un gran volumen.

Por otro lado, los deslizamientos menores estuvieron asociados a derrumbes de masas de tierra en las laderas de las inmediaciones de las vías. A continuación se mencionan los factores ligados a este fenómeno:

- Intensidad de las lluvias
- Tipo de suelo
- Pérdida de resistencia de la masa, debido a la presencia de agua, y aumento de peso.
- Modificación de las laderas provocado por procesos naturales y/o artificiales (cortes a media ladera, etc.) en la construcción de las vías.

De esta manera, las vías de penetración a la sierra de Piura fueron afectadas por estos fenómenos, entre los tramos afectados figuran: tramo Sajinos-Ayabaca, Carrasquillo-Huancabamba donde se produjeron grandes huaycos en la ladera del cerro "El Huando", el tramo Carrasquillo-Pacaypampa donde se produjeron grandes derrumbes (deslizamientos menores), el tramo Chulucanas-Morropón. etc.

5.2.3.- Efectos en el tramo Piura-Catacaos.

a.- Descripción Global.

En una vía asfaltada que está dividida en dos tramos que pertenecen a diferente categoría: el tramo Piura-Desvío a Chiclayo pertenece al Sistema Nacional y es parte de la Carretera Panamericana Norte, el otro tramo Desvío Chiclayo-Catacaos pertenece al Sistema Departamental.

Esta vía permite vincular a la ciudad de Piura con el Valle del Bajo Piura y los pueblos que están asentados en dicha Valle, por tal motivo pertenece a la carretera Piura-Sechura-Bayovar.

La longitud total es de 9.100 km., se inicia en el puente Bolognesi: Piura y termina en la Plaza Grau: Catacaos.

b.- Geomorfología.

El terreno por el que atravieza esta vía es prácticamente llano en toda su longitud. Comprende dos zonas definidas : una zona urbana de 3.400 km. y una zona rural de 5.700 km. siendo el terreno en esta parte predominantemente arcilloso, apto para la agricultura, y cultivado en casi toda su extensión en ambos lados de la vía.

c.- Características técnicas. Descripción y Evaluación de daños.

A diferencia de los otros tramos estudiados en donde se examina solamente las partes afectadas, esta vía ha sido estudiada por secciones debido a que presenta características técnicas no uniformes.

1.- Km. 0.0 - 0.5

- . Características.- Plataforma ejecutada a nivel de explanaciones de 10 mt de ancho (terraplen). Se inicia en el Puente Bolognesi paralela a las defensas del río Piura, hasta la Av. Tacna.
- . Comportamiento y daños.- Daño tipo 2, empozamiento en la margen izquierda. Asentamientos y deformaciones.

2.- Km. 0.5-1.0

- . Características.- Tramo pavimentado con concreto de 8 - mt. de ancho a lo largo de la Av. Tacna hasta la Av. - Jorge Chávez.
- . Comportamiento y daños.- Se observa pequeñas grietas. Da- da las características de la superficie de rodadura, no - ha sufrido mayores daños.

3.- Km. 1.0-1.4

- . Características.- Comprende dos pistas paralelas, una de ellas se encuentra asfaltada, con carpeta asfáltica de 6 mt. de ancho. A lo largo de la Av. Jorge Chávez hasta la Av. Progreso.
- . Comportamiento y daños.- Daño tipo 2: Empozamiento en - gran parte de su tramo, debido a aguas pluviales prove - nientes del P.J. Talarita. Destrucción de la carpeta as - fáltica.

4.- Km. 1.4-3.4

- . Características.- Tramo asfaltado. Carpeta asfáltica de 7 mt. de ancho y bermas de 2 mt. A lo largo de la Av. - Progreso hasta el grifo Chiclayito.
- . Comportamiento y daños.- Daño tipo 2 : pequeñas lagu - nas. Deterioro de la carpeta asfáltica en un 5%.

5.- Km. 3.4-4.8

- . Características.- Carpeta asfáltica: 7.20 de ancho, - bermas: 2.60 mt. de ancho. Afirmado: 0.25 mt. de espe - sor. Desde el grifo Chiclayito hasta el desvío a Chi - clayo.
- . Comportamiento y daños.- Daño tipo 1: erosiones en - las explanaciones en algunas partes. Daño tipo 2: For - mación de lagunas. Destrucción de casi la totalidad - de la carpeta asfáltica, deterioro del afirmado en al - gunas partes.

6.- Km. 4.8-9.1

- . Características.- Carpeta asfáltica: 7.0 mt. de ancho, 0.05 mt. de espesor; bermas: 2.50 mt. de ancho; afirmado: 0.25 mt. de espesor. Desde el desvío a Chiclayo hasta la Plaza Grau de Catacaos.
- . Comportamiento y daños.- Daño tipo 1: Destrucción de 6 tramos debido a la acción de quebradas; erosiones en las explanaciones en algunas partes. Daño tipo 2: Formación de lagunas. Destrucción de casi la totalidad de la carpeta asfáltica, del afirmado en algunas partes, asentamientos.

5.2.4.- Efectos en el tramo Piura-Sullana.

a.- Descripción Global.

Esta vía asfaltada pertenece al Sistema Nacional siendo parte de la carretera Panamericana Norte.

Esta vía enlaza las ciudades más importantes del departamento, uniendo los dos valles productores, siendo a la postre el tramo más dinámico del Dpto.

La longitud total es de 34.980 km., se inicia en el Km. 1,042 de la Panamericana Norte (este punto se encuentra a 3.5 km. de la Plaza Grau de Piura.), y termina en el estribo izquierdo del puente nuevo de Sullana.

b.- Geomorfología.

El terreno por el que atravieza esta vía es llano en casi toda su longitud, alternándose con zonas levemente onduladas, debido a la dinámica del viento se puede observar considerables depósitos eólicos de color blanquecino: dunas y médanos. Además en los cortes se observan estratos de conglomerados con matriz arenarcillosa. La cota inicial es de 36.8 m.s.n.m. y la del punto final es de 49.1 m.s.n.m.

c.- Características técnicas.

- Longitud : 34.980 km.
 - Carpeta asfáltica : 6.60 mt. de ancho
0.05 mt. de espesor
 - Bermas: 2.00 mt. a c/lado
 - Afirmado : 0.25 mt. de espesor
 - Bombeo transversal : 2%
- Casi todas las explanaciones van en relleno (terra-plen)

d.- Comportamiento, descripción y evaluación de daños

Esta vía ha sido la más afectada, teniendo en cuenta - los tramos estudiados. Debido básicamente a las características topográficas del terreno, casi llano y con muchas zonas deprimidas.

En general, el problema peculiar fue la formación de - numerosas lagunas, debido a las depresiones topográficas y en otros casos debido al terraplén de la vía - que actuó como barrera. La carpeta asfáltica quedó - prácticamente deteriorada en toda su longitud, el afirmado fue deteriorado en muchas partes, observándose - además asentamientos en algunas zonas.

Por otro lado la vía fue destruída completamente en varios tramos debido a la acción de las quebradas. (Ver - Foto 5-1)

A continuación se presentan las zonas más críticas:

1.- Km. 1+450 - 1+750

Daño tipo 1: quebrada "Petroperú", ancho destruído: 100 m.

2.- Km. 6+020 - 7+570

Daño tipo 1: quebrada "Las Monjas", ancho destruído: 350 m.

Daño tipo 2: represamiento, destrucción de carpeta asfáltica, deterioro del afirmado.

3.- Km. 9+000 - 9+900

3.- Km. 9+000 - 9+900

Daño tipo 2: Formación de una gran laguna en zona deprimida. deterioro de la carpeta asfáltica y afirmado, además se observan hundimientos y deformaciones.

4.- Km. 12+100 - 12+200

Daño tipo 2: Quebrada "El Burrero", ancho destruido: 100 m.

5.- Km. 14+850 - 15+900

Daño tipo 1: Quebrada "Hombre Solo" a la altura del Km. 14+900, ancho destruido 100 m.

Daño tipo 2: Formación de lagunas. destrucción de la carpeta asfáltica, deterioro del afirmado, hundimiento y deformaciones.

6.- Km. 18+450 - 22+160

Daño tipo 1: Quebrada "Temoche", a la altura del km. 18.80 - ancho destruido: 200 mt. Quebrada s/n, a la altura del km. - 21+220, ancho destruido: 70 mt.

Daño tipo 2: Formación de lagunas. Destrucción de la carpeta asfáltica, deterioro del afirmado, deformaciones y hundimientos. Talud derecho fallado en una longitud de 200 mt. a la altura del Km. 21+800, debido a represamiento.

7.- Km. 22+750 - 26+100

Daño tipo 1: Quebrada s/n, a la altura del km. 24+900, ancho destruido: 300 mt.

Daño tipo 2: Formación de lagunas. Destrucción de la carpeta asfáltica, deterioro del afirmado, deformaciones y hundimientos. Talud derecho fallado en una longitud de 400 mt. debido a represamiento.

8.- Km. 28+000 - 29+500

Daño tipo 1: Quebradas s/n a la altura de los Kms. 28+840 y 29+250. ancho promedio destruido : 60 mt.

Daño tipo 2: Formación de lagunas, varias zonas afectadas - principalmente en la estructura del pavimento, deformaciones y hundimientos.

9.- Km. 32+380 - 32+760

Daño tipo 1: Quebrada s/n, a la altura del desvío a Tambo grande. Destrucción de la estructura del pavimento.

10.- Km. 33+740 - 33+900

Daño tipo 1: Quebrada "Cola de Alacrán", ancho destruido - 100 mt.

5.2.5.- Efectos en el tramo Sullana-Paita

a.- Descripción Global.

Esta vía pertenece al Sistema Departamental, enlaza a la ciudad de Sullana con el puerto de Paita, uniendo en su recorrido a los siguientes pueblos: Jíbito, Sojo, Miraflores, Nomara, El Portón, Viviate, La Huaca, asentados en las proximidades del río Chira.

b.- Geomorfología.

El terreno por el que atravieza la vía es plano en algunas zonas y ondulado en otras, existiendo tramos con elevada pendiente, notándose en los cortes conglomerados con matriz areno-arcillosa. Debido a la dinámica del viento se puede observar considerables depósitos eólicos, dunas, médanos.

c.- Características Técnicas.

- Longitud : 58.900 km.
- Carpeta asfáltica : 6.60 mt. de ancho
0.05 mt. de espesor
- Bermas : 2.40 mt. a c/lado
- Afirmado : 0.25 mt. de espesor
- Bombeo transversal : 2%

Casi todas las explanaciones van en relleno (Terraplén) (95%) y cortes a media ladera (5%).

d.- Comportamiento, descripción y evaluación de daños.

En este tramo la dinámica de las aguas pluviales se manifestó en forma similar a los otros tramos, pero con rasgos característicos debido a la peculiar topografía del terreno -

por el que atravieza.

La formación de lagunas fue en menor proporción al tramo anterior, razón por la cual presenta muchos sectores con la carpeta asfáltica en buen estado. Las quebradas afectaron - considerablemente la vía en la zona ondulada, más propiamente entre los km. 12 y 26, cortando a la vía en dichos puntos (quebradas) (Ver Foto 5-2). Se ha detectado daños en los cortes a media ladera, en donde las aguas al no encontrar - cunetas laterales discurrió sobre el asfalto, lavando las - bermas y el talud, produciendo erosiones (cárcavas), destruyendo parcialmente primero la estructura del pavimento y luego el terraplén (Ver Foto 5-9).

A continuación se presentan las zonas más críticas, señalando los daños típicos correspondientes, además se indica los daños particulares en forma sintética (la evolución, características e interpretación de los daños típicos han sido estudiados en el acápite 5.2.2):

1.- Km. 7+000

Daño tipo 2: Empozamiento, ancho afectado: 100 mt. Deterioro de la carpeta asfáltica, hundimiento y deformaciones.

2.- Km. 9+600

Daño tipo 2: Empozamiento. ancho afectado 50 mt. Deterioro de la carpeta asfáltica y afirmado, asentamientos.

3.- Km. 11+700 - 13+800

Daño tipo 1: Quebrada "Los Médanos" a la altura del km. 12+200, ancho destruido: 300 mt. profundidad: 3 mt. Quebradas menores a la altura de los Km. 12+600: estructura del pavimento deteriorado, algunas roturas en terraplén, y Km. 13+300 ancho destruido: 100, profundidad: 2.50 mt. Daño tipo 2: Empozamiento al costado del terraplén a la altura del Km. 12+900. Falla al lado derecho del terraplén en una longitud de 70 mt.

4.- Km. 14+000 - 17+800

Daño tipo 1: Quebrada s/n a la altura del Km. 14+200, ancho destruido: 300 mt. profundidad: 3 mt. Quebrada s/n en el - Km. 15+100: alcantarilla sin apoyo por erosión, rotura del lado derecho del terraplén. Quebrada "La Soledad" en el Km. 15+200: alcantarilla sin apoyo parcialmente asentada, ancho destruido : 50 mt.

Daño Tipo 2: Empozamientos. Deterioro de explanaciones en el lado izquierdo en los km.: 14+950, 15+540, 16+550, 16+700, 17+400; y en el lado derecho en el km. 17+700.

5.- Km. 18+300

Daño tipo 1: Quebrada "Macará", ancho destruido: 200 mt. - profundidad: 2.50 mt.

6.- Km. 20+000 - 24+000

Daño tipo 1: Quebrada "Miraflores" ocasionó la destrucción de la vía en dos tramos, en el Km. 20+700: ancho destruido 50 mt. y en el Km. 20+950: ancho destruido 100 mt. profundidad 2.0 mt. Quebrada "Nomara" en el Km. 22+000, ancho destruido: 150 mt. profundidad 2.0 mt. además un brazo en el - Km. 21+800, ancho destruido: 70 mt. Quebrada "El Portón" en el Km. 23+800 ancho destruido: 50 mt.

Daño tipo 2: Empozamientos. Deterioro de la carpeta asfáltica especialmente en los dos primeros Km. Falla en el terraplén: en el lado derecho a la altura del Km. 19+100 y en - el lado izquierdo en el Km. 21+600.

7.- Km. 24+000 - 27+000

Daño tipo 1: Qda. s/n en el Km. 24+080. Qda. s/n en el Km. 24+180: ancho destruido 100 mt. Quebrada "Macará" ancho - destruido 50 mt. Quebrada "La Zorra" ancho destruido 50 m. Quebrada "Como te Agarro" ancho destruido 30 mt.

Daño tipo 2: Empozamiento. deterioro de la carpeta asfáltica y afirmado en los Km. 25+750, 26+650. Falla de terraplén derecho en el km. 25+800.

8.- Km. 27+000 - 58+900

Este tramo está en mejores condiciones, no presenta roturas por quebradas

Daño tipo 2: Formación de lagunas. Deterioro de la carpeta asfáltica en los Km. 28+400, 33+800, 34+000, 34+200, - 42+450. Falla de terraplén en el lado izquierdo en el Km. 33+800 en una longitud de 100 mt. Erosiones de terraplén derecho en cortes a media ladera en el Km. 32+500.

5.2.6.- Efectos en el tramo Sullana-Tambogrande

a.- Descripción Global

Esta vía pertenece al Sistema Departamental. Permite enlazar a la ciudad de Sullana con la colonización de San Lorenzo.

b.- Características Técnicas

- Longitud : 42.100 km.
- Carpeta asfáltica: 6.60 mt. de ancho
0.05 mt. de espesor
- Bermas: 2.40 mt. a c/lado
- Afirmado: 0.25 mt. de espesor
- Bombeo transversal: 2%

d.- Comportamiento, descripción y evaluación de daños

En cuanto a la estructura del pavimento, en términos generales no ha sufrido la magnitud de daños de las anteriores vías estudiadas, salvo en algunos sectores en donde la presencia de agua ha originado deformaciones tales como ondulaciones en la vía semejando un "tobogán" sin afectar la carpeta asfáltica (Ver Foto 5-16). En otros sectores se observó deterioro de la carpeta asfáltica significando aproximadamente un 5% de la longitud de la vía.

Los únicos daños considerables se debieron a la acción de las quebradas. A lo largo de su longitud es atravesada por quebradas de gran caudal, razón por la cual existen

6 puentes de una longitud promedio de 15 mt. se diseñaron a raíz de los daños que se produjeron con las lluvias - del año 1972. Durante las lluvias de 1983, estos puentes cumplieron cabalmente su función, a pesar de haberse producido erosiones en la base de algunos estribos, no colapsaron, estando actualmente en servicio, a excepción del puente "El Pedregal" que fue completamente destruido, colapsando debido a la violencia de las aguas las que erosionaron la base de los estribos (Ver Foto 5-10).

Las otras quebradas rompieron también la vía, encontrando en algunos casos mal ubicadas a las alcantarillas, siendo la rotura al costado de éstas (Ver Foto 5-5).

A continuación se presentan las zonas más críticas, señalando los daños típicos correspondientes, además se indican los daños particulares en forma sintética (las características, evolución e interpretación de los daños típicos han sido estudiados en el acápite 5.2.2.):

1.- Km. 0+900

Daño tipo 1: Quebrada "Cieneguillo", ancho destruido: 50 mt.

2.- Km. 4+540

Daño tipo 1: Pequeña quebrada s/n, ancho destruido: - 10 m.

3.- Km. 5+540

Daño tipo 1: Pequeña quebrada s/n, ancho destruido : 15 m.

4.- Km. 14+300

Daño tipo 2: Empozamiento. Carpeta asfáltica destruída en una longitud de 100 m. deterioro de afirmado en algunas partes, deformaciones.

5.- Km. 14+700

año tipo 1: Quebrada "Cantarito de Oro", ancho destruído 30 mt., profundidad 2 mt.

6.- Km. 15+130

Daño tipo 1: Quebrada "Los Naranjos", ancho destruido : 40 mt., profundidad 2.0 mt.

7.- Km. 15+550

Daño tipo 1: Quebrada s/n ancho destruido: 50 mt. profundidad: 2.50 mt. La alcantarilla estuvo mal ubicada, la quebrada tuvo una dirección oblicua a la vía, la rotura fue al costado de la alcantarilla.

8.- Km. 17+000 - 21+000

Daño tipo 2: Formación de lagunas. Estructura del pavimento afectada en los km. 17+800, 19+150, 20+550 en una longitud promedio de 100 mt. en c/u.

9.- Km. 30+150

Daño tipo 1: Quebrada s/n, ancho destruido: 80 mt., profundidad: 2.0 mt. La alcantarilla estuvo mal ubicada, la quebrada tuvo una dirección oblicua a la vía, la rotura fue al costado de la alcantarilla.

10.-Km. 32+750

Daño tipo 1: Quebrada s/n, ancho destruido: 35 mt., profundidad 1.20 mt.

11.-Km. 34+660

Daño tipo 1: Quebrada s/n, ancho destruido: 60 mt., profundidad: 3.0 mt.

12.-Km. 35+450

Daño tipo 2: Formación de laguna. Destrucción de carpeta asfáltica y deterioro de afirmado en una longitud de 100 mt.

13.- Km. 38+350

año tipo 1: Quebrada "El Pedregal". Destrucción de Puen - te.

14.- Km. 39+100

Daño tipo 2: Empozamiento. Destrucción de la carpeta asfáltica en una longitud de 100 mt.

15.- Km. 41+200

Daño tipo 2: Empozamiento. Destrucción de la carpeta asfáltica y deterioro de afirmado en una longitud de 150 m.

5.2.7.- Efectos en el tramo Sullana-Poechos

a.- Descripción Global.

Esta vía pertenece al Sistema Departamental. Permite enlazar a la ciudad de Sullana a las poblaciones de Marcavelica, Salitral y Querecotillo y a la represa de Poechos. Ubicada en la margen izquierda del río Chira.

b.- Geomorfología.

El terreno por el que atraviesa la vía es básicamente ondulado, con algunos sectores llanos. En una primera parte presenta cultivos a ambos lados de la vía y en una segunda parte luego de pasar Querecotillo, el terreno es completamente eriazo y ondulado.

c.- Características Técnicas

- Longitud : 31.700 km.
- Carpeta asfáltica : 5.50 mt. de ancho
0.05 mt. de espesor
- Bermas : 1.50 mt. a c/lado
- Afirmado: 0.25 mt. de espesor
- Bombeo transversal : 2%

d.- Comportamiento, descripción y evaluación de daños.

Al igual que la carretera Sullana-Tambogrande, la estructura del pavimento no ha sufrido mayores daños debido a la formación de lagunas, habiéndose detectado deterioro de la carpeta asfáltica en algunas zonas significando - aproximadamente el 10% de la longitud de la vía.

Los daños considerables se debieron a la acción de las quebradas. Se ha observado en esta vía que la dirección de muchas han sido paralelas a lo largo de ciertos tramos, razón por la cual han existido estructuras de concreto ciclópeo - con la finalidad de proteger los taludes y encauzar las aguas, estas estructuras en su mayoría han colapsado debido tanto a la erosión como a la saturación del suelo (Ver Foto 5-7), estas estructuras no presentaban ninguna protección adicional como dientes de cimentación, etc. Las alcantarillas de metal se han encontrado en avanzado estado de oxidación. (Ver Foto 5-8).

A continuación se presentan las zonas más críticas, se señalan los daños típicos correspondientes, además se indican los daños particulares en forma sintética (Las características, evolución e interpretación de los daños típicos han sido estudiados en el acápite 5.2.2.):

1.- KM. VARIABLE

Daño tipo 2: Empozamientos. Destrucción de la carpeta asfáltica y deterioro del afirmado en muchos tramos, afectando - en total a una longitud de 3,000 mt.

2.- KM. VARIABLE

Daño tipo 1: Erosión de estructuras de concreto que protegen los taludes en la margen derecha, en una longitud aproximada de 800 mt.

3.- Km. 2+200

Daño tipo 1: Quebrada "Hidraulica", ancho destruido: 10 m. profundidad: 1.50 mt. Alcantarilla de losa de 1 mt. destruída.

4.- Km. 4+500

Daño tipo 1: Quebrada "Cabo Verde", ancho destruido: 60 m. profundidad: 4.0 mt. Alcantarilla de 1 mt. destruída.

5.- Km. 6+900

Daño tipo 1: Quebrada "Cantinflas", ancho destruído: 20m.
profundidad: 2.0 m. Alcantarilla destruída

6.- Km. 11+200

Daño tipo 1: Quebrada "Hualtacal", ancho destruído: 60 m.
profundidad: 5 mt.

7.- Km. 11+800

Daño tipo 1: Quebrada "Margarita", ancho destruído: 100m.
profundidad: 2.0 m.

8.- Km. 12+200

Daño tipo 1: Quebrada s/n, ancho destruído: 25 mt.

9.- Km. 14+600

Daño tipo 1: Quebrada "Santa Cruz", ancho destruído 20m.
profundidad: 3.0 m. Alcantarilla ARMCO, destruída comple
tamente.

10.- Km. 15+300

Daño tipo 1: Quebrada "Los Serranos", ancho destruído -
50 mt. profundidad 5 mt. Alcantarilla ARMCO de 3 ojos -
de 24" destruída completamente.

11.- Km. 19+200

Daño tipo 1: Quebrada "Cerro Tronador", ancho destruído
100 mt. profundidad 2 mt. Alcantarilla de 36" en buen
estado

12.- Km. 21+300

Daño tipo 1: Quebrada "San Francisco", ancho destruído:
100 mt. profundidad 3 mt.

13.- Km. 23+900

Daño tipo 1: Quebrada "Chocán", ancho destruído: 150 m.
profundidad: 4 mt. Alcantarilla ARMCO destruída.

14.- Km. 26+200

Daño tipo 1: Quebrada "Santa Victoria", ancho destruido - 100 mt. profundidad 2 mt. Alcantarilla ARMCO de 48" destruída.

15.- Km. 28+100

Daño tipo 1: Quebrada "Poechos", ancho destruido: 90 mt. - profundidad 1.50 mt. Alcantarilla ARMCO de 36" en buen estado.

16.- Km. 31+500

Daño tipo 1: Quebrada "Chililique" ancho destruido: 200 m. profundidad 2.50 mt. Alcantarilla ARMCO de 2 ojos de 36" - destruída

5.3.- CONCLUSIONES.

- 1.- Los factores que condicionaron la acción de la Geodinámica Externa en las vías fueron los siguientes:
 - . Meteorológicos.
 - . Hidrológicos.
 - . Geológicos
 - . Topográficos
 - . Modificación de la estabilidad de las laderas por procesos naturales y/o por cortes efectuados por obra del hombre. (cortes a media ladera, etc.)
 - . Modificación del sistema natural de drenaje con la construcción de las vías (terraplenes) que cortan dicha red de corrientes pequeñas y grandes.
 - . Ausencia de sistemas adecuados de protección y drenaje - de las aguas.

- 2.- En general el sistema de drenaje de las vías fue ineficiente durante el período de intensas lluvias de 1983, lo que redujo la estabilidad de la estructura del pavimento, demostrando de esta manera no estar preparadas para eventos de esta naturaleza.

- 3.- Los daños estuvieron asociados a la presencia del agua en el terreno inmediato a las vías, en el terreno de cimentación y en la estructura del pavimento, la que llegó de distintas maneras:
 - . Por precipitación directa
 - . Por escurrimiento del agua del terreno adyacente
 - . Por inundación producida por crecientes de ríos y quebradas
 - . Por infiltración a través del subsuelo.
- 4.- El distinto comportamiento de éstas aguas determinó características típicas de daños, específicamente, los más importantes fueron causados por:
 - . Erosión producida por el escurrimiento de las aguas superficiales
 - . Saturación e inundación
 - . Huaycos y deslizamientos menores
- 5.- Los daños causados por erosión fueron los más violentos y destructores, de los cuales los más frecuentes se debieron a la acción de las quebradas, las que tuvieron características peculiares tanto en los terrenos llanos como en los terrenos ondulados.
- 6.- La erosión en el lecho de los ríos y quebradas fue favorecida por el tipo de suelo: fácilmente erosionable. Esta situación afectó principalmente a los puentes y alcantarillas.
- 7.- Lo sucedido corrobora una vez más que en la práctica las estructuras importantes de una vía, como son los puentes, tienen una mayor probabilidad de que fallen por problemas hidráulicos (erosión, capacidad de descarga, etc.) que por resistencia estructural.
- 8.- Los daños causados por saturación e inundación fueron menos violentos y afectaron a grandes longitudes. Se debieron principalmente a la formación de lagunas, las que se formaron debido principalmente a la fijación del eje de la vía -

en zonas deprimidas topográficamente. Los terrenos llanos fueron los más afectados por este tipo de daños.

- 9.- Entre los efectos más importantes que originó la presencia del agua en el terreno de cimentación y en la estructura - del pavimento debido a la saturación e inundación, fueron los siguientes:
- . Disminución de la resistencia al esfuerzo cortante del terreno de cimentación, originando asentamientos y de - formaciones.
 - . Aumento del peso de la masa disminuyendo su estabilidad, especialmente en los terraplenes.
 - . Separación de las partículas de asfalto
 - . Elevación del nivel freático
 - . Debilitamiento de la estructura del pavimento por el flu - jo del agua interior y por la saturación.

- 10.- De esta manera podemos decir que el deficiente comportamiento del sistema de drenaje de las vías se debió a las si - guientes razones:
- . Los volúmenes superaron ampliamente la capacidad de las Alcantarillas
 - . Tanto la estructura del pavimento como los elementos del sistema (alcantarillas) no estuvieron debidamente protegidos contra la erosión en los puntos críticos.
 - . El sistema no fue capaz de desalojar las lagunas que se - formaron sobre las vías y a los costados.
 - . Las quebradas en muchos casos no encontraron alcantarillas y en otros las encontraron mal ubicadas.
 - . No existió ningún tipo de subdrenaje para lograr inter - ceptar y desalojar el agua subterránea.

5.4.- RECOMENDACIONES

- 1.- La magnitud de los daños en las vías determina una urgente reconstrucción, para lo cual es necesario proveerlas de un eficiente sistema de protección y drenaje, para lograr de esta manera una mayor estabilidad ante eventos similares.

- 2.- Si bien es cierto que la solución no reside en diseñar estructuras para este tipo de precipitaciones (1983), que como se ha visto tienen un tiempo de retorno muy superior los 100 años, lo que resultaría demasiado costoso, es mas bien preciso diseñar estructuras que sin ser necesariamente sobredimensionadas puedan reducir en lo posible la vulnerabilidad de las vías, dándole mayor eficiencia y seguridad - dentro de criterios económicos razonables.
- 3.- Para lograr un sistema como el antes mencionado, es preciso que se tengan en cuenta las siguientes consideraciones:
 - . Reducir al máximo la cantidad de agua que llega a las diferentes partes de la vía
 - . Interceptar y desalojar las aguas superficiales cuyo acceso a las vías es inevitable
 - . Interceptar y desalojar las aguas subterráneas en las zonas más críticas.
- 4.- Las anteriores consideraciones obligan a que en la reconstrucción de las vías se contemplen los siguientes requisitos:
 - . Incluir las alcantarillas en los lugares en que fueron obviados
 - . Ubicar convenientemente las alcantarillas en donde estuvieron mal localizadas.
 - . Proteger de la erosión a la estructura del pavimento y a las obras de drenaje en los puntos críticos.
 - . Incluir obras de drenaje para evacuar las lagunas y las aguas de precipitación directa.
 - . Incluir obras de subdrenaje en casos especiales.
- 5.- En la ubicación de las alcantarillas es recomendable que se tenga en cuenta lo siguiente:
 - . En terrenos ondulados o accidentados, la dirección de la alcantarilla debe seguir la dirección general de la co -

riente, si ésta es oblicua la alcantarilla también debe serlo (Ver Fig. 5-10)

- . En terrenos planos, en donde la corriente se esparce ampliamente, no es tan importante que la alcantarilla siga la dirección de la corriente, es más bien necesario en estos casos distribuir el área de diseño en varias alcantarillas separadas alguna distancia (Ver Fig. 5-11).
- . Si la corriente tiene exagerados cambios de dirección es necesario hacer desvíos. (Ver Fig. 5-12) En estos casos hay que tener cuidado en los terrenos aluviales por las posibles erosiones.
- . Cuando la corriente es paralela a la vía se debe hacer pasar la primera oportunidad. (Ver Fig. 5-13).

6.- Los terraplenes deben protegerse de la erosión en los puntos críticos tales como:

- . En los tramos adyacentes a las alcantarillas para la eventualidad de que dichas estructuras no puedan desalojar volúmenes superiores a su diseño, reduciendo de esta manera el riesgo de colapso al rebasar las aguas al terraplén.
- . En los cortes a media ladera
- . En los casos en que las quebradas tienden a discurrir en forma paralela a la vía.

7.- Para proteger los terraplenes se muestran a continuación las siguientes alternativas recomendables:

- . Colocación de cobertura vegetal: gramíneas
- . Colocación de material granular sobre el talud: mandiles de grava y/o piedra (Ver Fig. 5-14) Especialmente en los puntos críticos antes mencionados.

Existen otras alternativas que en la práctica pueden resultar demasiado costosas pero no dejan de ser efectivas:

- . Colocación de una membrana asfáltica, previa compactación del talud con un rodillo apropiado
- . Tender los taludes

Colocación de estructuras de concreto que protejan al talud, en casos especiales

- 8.- Para desalojar eficientemente las aguas de precipitación directa es recomendable entre otras cosas:
- . Darle a la plataforma un adecuado bombeo transversal se recomienda para plataformas pavimentadas: 2% y para plataformas afirmadas: 4%
 - . La pendiente longitudinal de la vía no debe ser tan fuerte pues puede provocar erosión, ni tan baja pues origina acumulación de agua.
 - . En los cortes las aguas deben ser encauzadas mediante cunetas de base, cuya pendiente debe ser de preferencia la misma que la de la rasante de la vía. Se recomienda una pendiente máxima de 2% para evitar la erosión y mínima de 0.5% para escurrimientos con lodos, arcillas, limos en suspensión.
- 9.- Para evitar que las cunetas de base transporten excesivos caudales, se recomienda que cuenten con estructuras de alivio tales como:
- . Alcantarillas de alivio: se diferencian de las otras por que van en cortes y tienen menores dimensiones, en ellas las cunetas descargan las aguas.
 - . Cunetas de coronación: en los casos en que grandes áreas posteriores a los taludes de corte drenen hacia la vía. Además contribuye a reducir la erosión en las laderas del corte.
- 10.- En ciertas zonas es recomendable construir zanjas de encauzamiento o trincheras, con material de préstamo, paralelas a las vías y a varios metros de distancia (Ver Fig. 5-15). Estas zanjas permiten interceptar y desalojar las aguas que escurren superficialmente en el terreno adyacente a las vías y además permiten disminuir el nivel freático atenuando el ingreso de las aguas infiltradas a las vías. En los terrenos arenosos debe tenerse ciertas reservas en su uso, debido a que no duran mucho tiempo y además su costo de mantenimiento resulta demasiado alto.
- 11.- Se debe evitar que el agua subterránea afecte la estructura del pavimento especialmente en zonas que comprometen estructuras importantes (muros, puentes, etc.) o cuando el drenaje

superficial sea insuficiente (zonas bajas, cortes, etc.) - para lo cual es necesario:

- . Controlar el ascenso capilar
- . Interceptar y desalojar el agua subterránea.

- 12.- La ascensión capilar se puede controlar con una altura de relleno de material granular, como arena gruesa que no posea capilaridad en el caso que estuvieran disponibles. - (Ver Fig. 5-16).
- 13.- Para interceptar y desalojar el agua subterránea existen - una serie de métodos para cada caso particular. En las Fig. 5-17, 5-18 y 5-19 podemos ver algunas de las tantas alternativas.
- 14.- Es importante tener en cuenta que en general las obras de subdrenaje son de costos elevados, a los que se les agregan los costos de mantenimiento y reparación que también son - muy altos, razón por la cual su uso se reserva en los casos especiales anteriormente mencionados, en los que su omisión puede traer consecuencias graves.

6. ESTUDIO DE LAS AREAS AGRICOLAS (1)

El sector agricultura en el departamento de Piura fue tremendamente afectado tanto en la infraestructura de riego como en la producción, alterándose inclusive la frontera agrícola. Las pérdidas totales alcanzaron un monto aproximado de 145,765 millones de soles (Ver cuadro 1).

Los daños físicos a la infraestructura significaron una pérdida aproximada de 64,710 millones de soles (Ver cuadro 2) de los cuales el 64% le correspondió a las obras del Proyecto Chira-Piura. Se perdió además un total de 30,390 Has. en cultivos, lo que significó el 49% del área instalada en el año 1983 (Ver cuadros 3 y 4).

Aparte de las cuantiosas pérdidas económicas antes señaladas, hay que agregar una serie de impactos negativos: desocupación masiva de agricultores y campesinos y aislamiento de las comunidades; desabastecimiento de alimentos con la consiguiente hambruna y desnutrición de la población rural; degradación del medio ambiente debido al encharcamiento y aparición de plagas y enfermedades que afectaron a las plantas, animales y al hombre; etc.

6.1 GENERALIDADES

6.1.1 Áreas bajo riego.

En el siguiente cuadro se puede observar un resumen aproximado de las áreas agrícolas que cuentan con infraestructura de riego en el departamento de Piura : (2)

VALLES	AREA (Has.)
- Chira	39,000.
- Bajo Piura	39,500.
- Medio Piura	8,000
- Alto Piura	28,250.
- San Lorenzo	20,500.
- Huancabamba	11,000.
T O T A L	146,250.

(1). Los cuadros mencionados aparecen al final del capítulo.

(2). Fuentes: Min. de Agricultura, I.N.A.F., D.E.P.E.CH.P.

Los valores señalados en el cuadro anterior corresponden hasta el año 1983, estando estas áreas aún en proceso de reestructuración y ampliación del sistema de riego por parte del Proyecto Especial Chira-Piura.

6.1.2 Tipos de cultivo

Entre los principales cultivos que se producen en el departamento de Piura tenemos :

- Algodón
- Arroz
- Sorgo
- Maiz
- Frutales

6.1.3 Ubicación de las Areas Agrícolas en Estudio.-

La infraestructura agrícola que se ha tomado en cuenta en el presente estudio está ubicada dentro de los valles siguientes:

- Chira
- Medio y Bajo Piura.

Como puede verse en la lámina 6-1.

6.2 INFRAESTRUCTURA AGRICOLA

6.2.1 Sistema Chira Piura

Este sistema está a cargo de la Dirección Ejecutiva del Proyecto Especial Chira-Piura (DEPECHP) y está aún en proceso de ejecución. Permite vincular los valles Chira y Piura, de esta manera el valle Medio y Bajo Piura aprovecha las descargas del río Chira, para lo cual se ha construido el reservorio de Poechos y el canal de derivación Chira-Piura, evitándose así que un recurso de vital importancia se pierda irremediablemente en el Océano Pacífico.

Gracias a este Sistema se logrará mejorar el sistema de riego existente y ampliar la frontera agrícola en aproximadamente 40,700 Has.

El Sistema comprende 3 etapas, la I etapa ya ha sido concluída, siendo las obras principales en esta etapa: el reservorio de Poechos y el canal de derivación Chira-Piura los que estuvieron

en funcionamiento al iniciarse el periodo lluvioso de 1983. La II etapa está en construcción y comprende el sistema de irrigación y drenaje y la construcción de las defensas ribereñas en el Bajo Piura, las obras más importantes son : la presa derivadora de "Los Ejidos", el canal Principal, los drenes Sechura y 13.08 y los diques de defensa en las márgenes del río hasta llegar a las lagunas Ñapique y Ramón.

Las características del reservorio de Poechos son las siguientes :

- $V_{max} = 1,000 \text{ M.M.C.}$
- Altura Máxima de la presa principal = 48 mts.
- Longitud de la presa principal = 1,300 mts.
- Longitud de Diques de Cierre = 7,700 mts.
- Aliviadero de compuertas = 6,425 m³/s.
- Aliviadero de Emergencia = 10,000 m³/s.

La presa tiene los siguientes conductos de descarga :

- Canal de derivación Chira-Piura.
- Canal Miguel Checa.

La Presa Derivadora de "Los Ejidos" está ubicada a 4 kms. aproximadamente (aguas arriba) de la ciudad de Piura, diseñada para transitar una avenida de 50 años de retorno, el agua derivada servirá a 42,000 Has., se ha considerado un nivel máximo de avenidas de 33 mt. que corresponde a un caudal de 2,000 m³/s., esta descarga se reparte de la siguiente manera :

- Aliviadero de 7 compuertas = 1,060 m³/s.
 - Vertedero libre de 120 mts. = 600 m³/s.
 - Canal de limpia de 2 compuertas = 340 m³/s.
- T O T A L = 2,000 m³/s.**

La presa ha estado protegida de la erosión con enrocado, la longitud del enrocado aguas abajo fue de 20 mt. y aguas arriba de 15 mt., además la estructura estuvo protegida por tablestacas de acero contra la tubificación, los efectos de subpresión y para -

contrarestar los efectos de erosión que se puedan presentar tanto aguas arriba como aguas abajo.

De la presa se deriva el canal principal Los Ejidos-Catacaos, la toma se ha diseñado para una capacidad de $64 \text{ m}^3/\text{s}$. contando con 3 compuertas radiales cerradas.

6.2.2 Valle del Chira

La red de riego del Valle del Chira recorre las provincias de -- Sullana y Paita, irrigando actualmente a 39,000 Has. aproximadamente (Ver Lámina 6-2). Esta red está dividida en 5 sectores:

a.- Sector Poechos-Cieneguillo.

Este sector se encuentra ubicado en la margen izquierda del río Chira, sirviendo aproximadamente a 8,500 Has. Está conformado por :

- Canal principal : de derivación Chira-Piura, sus características son :
 - . Longitud : 54 km.
 - . Q_{max} : 70 - 80 m^3/s .
 - . Recubrimiento : Concreto simple de 0.10 mt.
 - . Sección : Trapezoidal.
- Canales laterales: Totalizan aproximadamente 150 km. los caudales oscilan entre 0.2 - 5.5 m^3/s . y las longitudes entre 0.05 y 18.85 km.

b.- Sector Miguel Checa.

Este sector está ubicado en la margen derecha del río Chira, desde la parte alta a la parte media del Valle, sirviendo -- aproximadamente a 9,000 Has. Está conformado por :

- Canal principal : Miguel Checa, sus características son :
 - . Longitud : 62.4 km.
 - . Q_{max} : 2 - 12 m^3/s .
 - . No tiene revestimiento.
- Canales laterales : Totalizan 460 km. aproximadamente contando con 115 tomas.

c.- Sector El Arenal.

Este sector está ubicado en la margen izquierda del río Chira y en la parte baja del Valle, sirviendo aproximadamente a 3,500 Has., está conformado por :

- Canal principal : El Arenal, sus características son :

- . Longitud : 16 km.
- . Qmax : 6 - 8.5 m³/s.
- . Revestido solamente en un tramo de 600 mt.

- Canales laterales : Totalizan 44 km. aproximadamente destacando el Ramal Nuevo que tiene las siguientes características :

- . Longitud : 8.8 km.
- . Qmax : 2.3 m³/s.
- . No tiene revestimiento.

d.- Sector Margen Derecha.

Conformado por canales que toman agua directamente del río Chira por bombeo, sirviendo a 13,000 Has. aproximadamente -- destacando el canal Ovejería.

e.- Sector Margen Izquierda.

Conformado por canales que toman agua directamente del río Chira por bombeo, sirviendo a 5,000 Has. aproximadamente, -- destacando el canal Miraflores.

6.2.3 Valle del Medio y Bajo Piura.

La red de riego del Medio y Bajo Piura recorre la provincia de Piura, irrigando actualmente a 47,500 Has. aproximadamente. Esta red está dividida en 4 sectores :

a.- Sector Medio Piura.

Este sector se extiende desde Tambogrande hasta la ciudad de Piura, se caracteriza por que el riego se hace básicamente - por bombeo directamente del río Piura, a excepción del canal Parales que es un lateral del canal de derivación Chira-Piura. Se estima una longitud total de 210 km. sirviendo a --- 8,000 Has. aproximadamente. Se incluye el canal Parales que

tiene las siguientes características :

- . Longitud : 8 km.
- . Qmax : 5.5 m³/s.
- . A : 1,200 Has.
- . Recubierto con concreto simple.

b.- Sector Catacaos.

Este sector sirve a una extensión de 16,700 Has. aproximadamente, (ver lámina 6-3) está conformado por los siguientes canales principales :

NOMBRE	L. (Km)	A. (Has)	Q. (m ³ /s)
-Canal Palo Parado	7.230	1,800	2.0
-Canal Viduque	8.100	2,700	5.0
-Canal Comas	22.730	3,500	4.0
-Canal Cumbibirá	8.660	2,600	3.0
-Canal Shaz	18.130	2,200	4.0

Además este sector cuenta con un gran número de bombas y motobombas con capacidades menores a 100 lt/s., sirviendo aproximadamente a 3,900 Has.

c.- Sector Sechura.

Este sector sirve a una extensión aproximada de 16,500 Has. - Está conformado por los siguientes canales principales :

	(Km)	(Has.)	(m ³ /s)
1.- Canal Sechura	14.820	1,000	18.0
2.- Canal Muñuela.	19.600	1,700	6.0
3.- Canal San Andrés	32.890	3,650	4.0

Los canales últimos nacen del canal Sechura, en el partidior - La Muñuela-San Andrés. El canal La Muñuela llega hasta la ciudad de Sechura. Los canales más importantes son : (laterales).

NOMBRE	(Km)	(Has)	(m ³ /s.)
-Canal Monteviejo -1-	15.020	1,000	1.50
-Canal Casaraná -1-	22.080	3,500	4.0
-Canal Llicuar -2-	12.900	1,200	1.5
-Canal Sanchez -2-	23.920	1,500	2.0
-Canal Alvarez -2-	13.090	700	1.0
-Canal Cerritos -3-	9.230	500	0.8

Los números indicados en los canales laterales señalan el canal principal del cual se derivan.

d.- Sector Chato y Seminario.

Este sector sirve a una extensión aproximada de 6,200 Has. --
Los canales más importantes son :

NOMBRE	(Km)	(Has)	(m ³ /s)
-Canal Chato	13.400	4,000	6.0
-Lat. Canal Chato	20.000		
-Canal Seminario	0.300	2,200	3.5
-Lat. Canal Seminario	25.120.		

En la actualidad este sector está en proceso de reestructuración y ampliación por parte de las obras que administra la -- DEPECHP conformando el llamado Sistema Sinchao, que comprende un canal principal: Sinchao y dos canales laterales: Chato y Seminario, y de estos últimos se desprenden los canales San Martín, Sinchao Chico y Prolongación Seminario. (Ver Lámina - 6-4) Los canales serán revestidos de concreto simple. Los canales Sinchao y Sinchao Chico forman parte del cuerpo de -- los diques de defensa, sirviendo éstos de relleno.

6.2.4 Sistema de Drenaje del Bajo Piura.

El sistema de drenaje del Bajo Piura ha sido reestructurado y ampliado por el Proyecto Chira-Piura. La red cuenta con un total - de 462 Kms. aproximadamente, de los cuales el 60% son drenes ya - existentes y el 40% son nuevos, el sistema tiene una capacidad de drenaje de 257 MMC anuales provenientes de 50,000 Has. bruta del valle. (Ver lámina 6-4 y Fig. 6-1).

La red consta de tres tipos de drenes :

a.- Drenes Colectores.

Son dos y están ubicados en antiguos cauces de ríos y depresiones :

- Dren Sechura.

Tiene una longitud de 67.400 Kms., situado al extremo Oeste del Valle en la margen derecha del río Piura, se inicia en la Bocana San Pedro (Sechura) hasta las inmediaciones de la Ciudad de Piura. Este dren está ubicado en un antiguo cauce del río Piura.

- Dren 13.08.

Tiene una longitud de 56.100 Km., situado en la parte Este del Valle, en ambas márgenes cruzando a la altura de Chato al río Piura. Se inicia en el Km. 13.08 del dren Sechura hasta llegar a las inmediaciones de Castilla en la ciudad de Piura. Este dren está ubicado en el cauce del río Bazán y el río Loco.

b.- Drenes Principales.

Siguen el curso longitudinal del valle, descargando luego en los drenes colectores, en total son 12 y totalizan una longitud de 108.300 Km. Los drenes más grandes son :

- D.S. 8.0 : Longitud = 15.400 Km.

- D.S. 10.8 : Longitud = 14.900 Km.

c.- Drenes Secundarios.

Estos drenes están distribuidos en todo el valle, desaguando a la mayoría de los terrenos de cultivos, totalizan una longitud de 230.300 Km. y son aproximadamente 136 drenes.

6.2.5 Defensas Ribereñas en los Ríos Piura y Chira.

a.- Defensas del río Piura.

Los diques de defensa y encauzamiento del río Piura (Valle del Bajo Piura) totalizan una longitud de 69 Kms. : 32 Km. - en la margen izquierda y 37 Kms. en la derecha iniciándose en la Ciudad de Piura. Presenta de esta manera un encauzam--

miento continuo en los primeros 32 Kms. La anchura varía entre 400 - 500 mt. Los diques son casi paralelos y siguen la dirección general del río y no la sinuosidad del cauce principal. (Ver lámina 6-4 y Fig. 6-2).

Las características son las siguientes :

Km.	Qmax. (m ³ /s)	Borde Libre M.I. (mt.)	Borde Libre M.D. (mt.)
0 - 4	2,800	0.60	0.60
4 - 13	2,150	0.60	0.60
13 - 32	1,600	0.60	0.90
32 - 37	1,600	--	0.90

El dique izquierdo termina en el Km. 32 y el dique derecho - continúa hasta el Km. 37, en la cercanía del poblado Guadalupe a 7 Km. de la Laguna Mala Vida.

En el Km. 13 el dique fusible de Narihualá permite evacuar - una parte de las avenidas en la margen izquierda en zonas -- cultivadas de menor importancia, tiene 300 mts. de longitud descargando los caudales que sobrepasan los 1,600 m³/s.

Aparte de algunos lugares específicos como por ejemplo el -- Sifón del Canal Principal que tiene una simple protección de rocas, los diques no presentan protección alguna ni en el -- pie ni en los taludes.

Durante la inundación de 1972 las avenidas del río Piura se infiltraron desde la Laguna Ramón dentro de la zona agraria usada y poblada en la margen Sureste del Bajo Piura, esta -- situación ha obligado a que se construyan en esta zona 5 diques dispuestos como se muestran en la lámina 6-4, totalizando una longitud de 6 Kms.

b.- Defensas del río Chira.

Después de las inundaciones de 1981, se construyeron los diques de emergencia del río Chira entre Setiembre 1981 y - -- Abril 1982, diseñados para caudales de 1,200 m³/s. y sin una

persistencia grande. La longitud total de los diques es - - 84.50 Km. de los cuales 43.600 Km. están en la margen dere-- cha y 40.900 Km. en la margen izquierda. (Ver lámina 6-2 y - Fig. 6-3).

A diferencia del sistema de protección del río Piura, los -- diques del Chira no son continuos. Su trazo sigue general-- mente el de los diques antiguos y para los nuevos tramos el trazado se ajusta a las restricciones existentes (límite de propiedades, infraestructura, etc.). Los diques no constitu-- yen así un encauzamiento sistemático para el río Chira.

Los diques no tienen ninguna protección contra la erosión en el pie ni sobre los taludes.

6.3 ACCION DE LA GEODINAMICA EXTERNA.

DESCRIPCION Y EVALUACION DE DAÑOS

La Geodinámica Externa que actuó sobre las áreas agrícolas y su in-- fraestructura de riego estuvo caracterizada por inundaciones y erosio-- nes producidas por quebradas y los ríos, principalmente por estos últi-- mos, debido a la particularidad de las áreas agrícolas de estar ubica-- das generalmente en los valles, expuestas en mayor grado a los ríos -- (ver fotos 6-1 y 6-2), y condicionada por una serie de factores, entre los más importantes podemos mencionar.

- Metereológicos.
- Hidrológicos
- Geológicos
- Topográficos
- Ocupación de áreas de inundación
- Ausencia de sistemas adecuados de protección y drenaje de las aguas.

Por razones obvias el presente estudio se limita a describir el com-- portamiento y los daños en las obras importantes, los daños típicos en los sistemas de riego y drenaje, y el comportamiento de los ríos y -- sus defensas ribereñas, sin tener el alcance de los capítulos 3 y 4, - es decir de definir áreas vulnerables y áreas protegidas y su respec-- tivo comportamiento considerando distintos niveles de afectación, dado

que las áreas de riego comprometen, como se ha visto, una superficie - muy vasta y la infraestructura es bastante amplia.

6.3.1 Comportamiento de la Represa Poechos.

Durante el período de grandes avenidas del río Chira, la represa de Poechos tuvo un comportamiento aparentemente aceptable, no ha biéndose producido daños considerables que comprometan su estabilidad.

Se llegó a almacenar volúmenes hasta ahora no alcanzados los que llegaron a casi a los 900 MMC en el mes de Mayo de 1983, como -- consecuencia se tuvo que evacuar caudales del orden de los 2,230 m³/s. al cauce del río Chira, de esta manera el nivel del reservorio ha estado mantenido prácticamente a valores máximos de operación normal, como consecuencia los rellenos han sido saturados, no se descarta la formación de flujos al interior del cuerpo de la presa y en el terreno de cimentación.

La presa principal tiene una longitud de 1,300 mt. y está provista de una pantalla impermeable de concreto en toda su longitud - para evitar pérdidas de agua por filtraciones y cuenta con pro--tecciones en los taludes con Rip-Rap (enrocado), los diques de - cierre están dispuestos a la derecha e izquierda de la presa - - principal, con una altura promedio de 15 mt., lográndose de esta manera el mismo nivel que la cresta de la Presa.

La Presa principal, cuenta con varios instrumentos que permiten - auscultar su comportamiento: Bench Marks, inclinómetros, extensómetros, piezómetros, vertederos de aforo para registrar filtra--ciones y celdas de presión total; lo que permite determinar : -- asentamientos, inclinaciones, presiones piezométricas en el re--lleno y en la cimentación del aliviadero, filtraciones a lo largo de la presa, etc.

La infraestructura que tuvo mayores dificultades fue el dique -- derecho, esta parte tiene condiciones más desfavorables en cuanto a la calidad de la roca de cimentación y a su estabilidad, debido a la discontinuidad horizontal de su cimiento, y estructura inconveniente de cimentación (arcillas preconsolidadas de eleva-

da plasticidad y presencia de yeso), razón por la cual se realizaron mucho antes que el período lluvioso obras de drenaje, observación de los desplazamientos de la estructura y terreno y control de presiones, dado que además no contaba con un eficiente drenaje de las aguas de infiltración.

Durante las lluvias, se presentaron en el dique derecho elevaciones del terreno junto al pie de aguas abajo del orden de 10 - 15 cm., y formación de grietas paralelas al pie del lastre en la parte aguas abajo del dique, como consecuencia del proceso de saturación e hinchamiento de los horizontes inferiores en la cimentación, sin embargo este comportamiento se ha considerado dentro de los límites de lo previsto, en el marco de seguridad diseñada, dado que estos efectos se han producido anteriormente.

El dique izquierdo tuvo un mejor comportamiento debido básicamente a que presenta un estado relativamente mejor en lo que a cimentación se refiere, dado que el núcleo impermeabilizante se conecta con roca básica, otorgándole una impermeabilidad suficiente.

Las otras estructuras : presa principal (parte central), aliviadero de compuertas, aliviadero de emergencia, etc., presentaron un comportamiento dentro del marco de previsión, sin quedar comprometida su estabilidad.

Cabe agregar que un porcentaje de los instrumentos de auscultación han estado deteriorados, situación que no ha permitido tener una mejor idea del comportamiento real de todas las estructuras.

Con las fuertes y persistentes lluvias se ha producido considerables erosiones en la cuenca húmeda, esta situación ha originado importantes acumulaciones de sedimentos en la represa, provenientes principalmente de quebradas tanto de la margen izquierda (Qdas. Pillares, Huaypirá, Pelados) como de la margen derecha (Qdas. Condor, Lancones, Montero, Sauzal). La colmatación fue considerable: 4.8 veces superior al promedio de los años anteriores.

6.3.2 Efectos en la Presa Derivadora "Los Ejidos".

Durante las avenidas de 1983, la presa derivadora fue afectada - básicamente por la acción erosiva del río Piura, produciéndose - el colapso del vertedero libre en la margen derecha (ver figura 6-4), derrumbes y cangrejeras en el enrocado de la bocatoma en - la margen izquierda. Durante este periodo el nivel de fondo del río sufrió una profundización de 3 a 4 mts., mientras que en la presa la socavación alcanzó una profundidad de 7 mts., siendo la profundidad de las tablestacas 9 mts.

Los factores que determinaron la magnitud de estos daños fueron:

- Superación del caudal de diseño de $2,000 \text{ m}^3/\text{s}$ en más del 50% - ($Q_{\text{max}} = 3,200 \text{ m}^3/\text{s}$) y la larga persistencia de las grandes ave nidas.
- Descenso del nivel aguas abajo en más de 3 mts.

Los factores que favorecieron la magnitud de los daños fueron :

- Falta de protección de enrocado en un pequeño tramo del vertedero aguas arriba y hacia la margen derecha.
- La característica del lecho del río : fácilmente erosionable
- Cambio de dirección que experimenta el cauce en esta zona, per judicando principalmente a la margen izquierda.

A continuación se presenta una secuencia mensual del comporta- - miento y los efectos en la Presa :

- Enero:
 - . $Q_{\text{max}} = 1,670 \text{ m}^3/\text{s}$.
 - . Los trabajos ya estaban concluídos prácticamente, a - excepción de una parte de los enrocados aguas abajo - y aguas arriba en la zona del vertedero libre.
 - . Se produjo un ligero desarreglo del enrocado aguas -- abajo del vertedero y una pequeña erosión en la zona en que no hubo enrocado.

- Febrero:

- . $Q_{\max} = 1,635 \text{ m}^3/\text{s}$.
- . Las aguas del río no pasaron por el vertedero libre - aprovechándose para arreglar el enrocado, pero no se terminó de colocar el enrocado en un pequeño tramo de la margen derecha del vertedero.

- Marzo :

- . $Q_{\max} = 2,865 \text{ m}^3/\text{s}$.
- . Socavación en los muros y al pie de la losa de la margen derecha del vertedero libre, alcanzando profundidades excesivas, dando lugar al colapso de los muros del vertedero en la margen derecha aguas abajo.

- Abril :

- . $Q_{\max} = 2,475 \text{ m}^3/\text{s}$.
- . Se produjeron daños en la margen izquierda de la Presa : cangrejeras al costado del muro lateral izquierdo de la bocatoma, amenazado el acceso al puente de la Presa. Derrumbe del enrocado en el muro alero - aguas arriba en un ancho de 4 mt. y cangrejeras aguas arriba del enrocado.

- Mayo :

- . $Q_{\max} = 3,200 \text{ m}^3/\text{s}$.
- . Colapso total de los muros que estuvieron desplomados, los cuales fueron arrastrados por el río.
- . Los muros laterales derechos del vertedero libre que hasta la fecha no sufrieron daños, sucumbieron ante la acción dinámica del río.
- . La losa del vertedero fue arrastrada casi en su totalidad, junto con las tablestacas de aguas arriba y -- aguas abajo y enrocado aguas arriba.
- . El muro perpendicular a la corriente del río de la -- parte ancha del vertedero aguas arriba se desplomó, - poniendo en peligro el pilar extremo derecho del aliviadero.
- . Luego del colapso del vertedero libre y para proteger de la erosión del río el pilar extremo derecho del -- aliviadero, se colocaron 18 pilotes de concreto y 23 bloques de concreto de 1 m^3 c/u.

6.3.3 Efectos en el sistema de canales.

El sistema de canales fue tremendamente afectado durante el evento de 1983, los daños fueron producidos por un lado por las inundaciones causadas por el desborde de los ríos y las precipitaciones locales, originando la formación de lagunas y por otro lado por la acción erosiva de los flujos de agua como ríos y quebradas.

De esta manera, podemos tipificar los daños de la siguiente forma :

- Daños causados por erosión :

Este tipo de daños se caracterizó por ser violento originando el deterioro y/o la destrucción de la caja del canal y las - - obras de arte en los canales principales.

En los canales laterales y menores la acción erosiva de las -- quebradas produjo la destrucción en muchos tramos debido a que generalmente no cuentan con obras de protección: alcantarillas. En los canales principales la erosión produjo la destrucción - total y/o parcial de las obras de arte como : alcantarillas, - acueductos, sifones, etc., afectando además a la caja del canal en las proximidades.

La acción erosiva de las quebradas fue mucho más intensa en el valle del Chira, en donde el canal principal Miguel Checa tuvo numerosos tramos cortados por las quebradas, entre las obras - de arte deterioradas tenemos : los acueductos : "La Peña", - - "Santa Cruz", "Los Serranos", los sifones "San Francisco", etc. En el canal de Derivación Chira-Piura el daño más importante - fue producido por la quebrada "La Abuela" la que arrasó a la - alcantarilla y destruyó el canal en un tramo de 600 mts. (ver fotos 6-3 y 6-4).

En los tramos en que las secciones de los canales van en relle no (Terraplenes), las aguas de las quebradas fueron previamente represadas para luego rebasar el terraplén y destruir la caja del canal dando paso libre a la corriente, generalmente el

terraplén inmediato fue socavado al discurrir las aguas represadas hacia la otra margen.

En otros casos, las corrientes locales originaron socavaciones en el relleno, directamente al pie de la losa, dejándola sin ningún apoyo, tal es el caso del canal de Derivación Chira-Piura en los Km. 36 + 100, 50 + 050, 53 + 500.

En los canales no revestidos, el agua pluvial que cayó directamente a los taludes originó generalmente erosiones y derrumbes en dichos taludes, debido al continuo lavado a que estuvieron expuestos.

La acción erosiva de los ríos se produjo en los tramos en que los canales han sido construídos paralelos y cercanos al río, en estos casos el río al erosionar y destruir los diques de defensa socavaron y destruyeron los canales, tal es el caso del Canal Miguel Checa en el Km. 6 + 500, el canal Principal - - - Catacaos-Sechura (Ver Foto 6-5) en los tramos ubicados en los Kms. 3+700 - 3+780, 5+280 - 6+020; en el canal Sinchao en los tramos ubicados en los Kms. 0+820 - 1+900, 2+300 - 2+630 , 6+000 -- 9+000 , 10+160 - 10+680.

Por otra parte el río Piura al desviarse de su cauce el 31 de Marzo a la altura de Chato, como se verá más adelante, discurrió sobre el dren 13.08 hacia Sechura, como consecuencia fueron afectados los canales cercanos a este nuevo cauce del río Piura, tal es el caso del canal Chato que fue cortado por un brazo del río a la altura del Km. 4 y desde el Km. 13, en las cercanías del dren 13.08, la zona del canal Chato constituyó el cauce principal del río Piura; el canal Seminario en el tramo 0+000 - 3+100 se transformó en cauce del río. Tanto el canal Chato como el canal Seminario pertenecen al sistema Sinchao, el cual al iniciarse las lluvias todavía no estaba concluído.

La destrucción de los diques de defensa causó también la destrucción de los cruces de los canales que tomaban agua directamente del río, así como también fueron afectadas las tomas las cuales en la mayoría de los casos fueron destruídas (ver Foto -- 6-12).

- Daños causados por Saturación e Inundación.

Este tipo de daños se caracterizó por no ser violento y por comprometer un considerable porcentaje de la longitud de los canales, especialmente de los revestidos, ocasionando muchas veces el colapso de los taludes del canal y la losa.

Como es evidente, estos daños han estado asociados a la presencia del agua en el terreno inmediato a los canales, en el terreno de fundación y en los taludes del canal. La inundación originada por las corrientes superficiales, la formación de lagunas y la filtración de las aguas pluviales en las inmediaciones de los canales, se produjo en forma similar a lo ocurrido en las vías, evidentemente los efectos en el terreno y en la estructura de los terraplenes y rellenos ha sido similar, como puede verse en el capítulo anterior (ver Fig. 6-5).

Específicamente, las aguas del subsuelo (napa freática) y las lagunas formadas, están asociadas a este tipo de daños. A continuación se mencionan los efectos principales a que han dado lugar la presencia de estas aguas :

- Al cambiar el contenido de agua, los suelos cambian sus propiedades mecánicas más importantes, tales como : la resistencia al esfuerzo cortante, que disminuye tanto en los suelos arcillosos como en los suelos granulares; y la comprensibilidad que crece cuando el suelo fino (arcilloso) adquiere agua.
- Pérdida de resistencia y aumento del peso de la masa, especialmente en los terraplenes y taludes del canal, quedando de esta manera comprometida la estabilidad.
- Los movimientos y variaciones en el agua freática y sus efectos no han sido uniformes, dando lugar a áreas de diferente comportamiento. En los canales revestidos se produjo fallas en la losa debido a los efectos de sub-presión de la napa freática y a los efectos de empuje de los filtros laterales, que están debajo de la losa de los taludes, debido a que dichos filtros se saturaron, como consecuencia aumentaron de peso y disminuyó su resistencia, tendiendo a deslizarse.

Las secciones que más fallaron fueron las sobre excavadas y rellenadas con filtros en el fondo y los taludes construídas sobre suelos de arcilla expansiva, estas secciones parecen -- ser particularmente vulnerables debido al efecto de agua estancada dada la impermeabilidad del suelo arcilloso, le sigue las secciones que han sido excavadas y rellenadas solamente -- en el fondo con filtros; las secciones compuestas por suelos arenosos naturales parecen ser las menos vulnerables.

Es importante mencionar que este tipo de fallas fue favorecido en las circunstancias en que el canal estuvo vacío debido a que en estas condiciones no había contrapeso a la acción de la sub-presión y empujes laterales (ver foto 6-7). En ciertos casos la zona de falla fue más allá de la estructura del canal (terraplén y caja) comprometiendo al terreno inmediato (ver foto 6-6).

- No se descarta que se halla presentado el fenómeno de tubificación, especialmente en los canales principales revestidos, debido al flujo de agua dentro de la masa de los terraplenes y del terreno de cimentación. En el capítulo anterior este fenómeno ha sido ampliamente descrito.

Los efectos que produce la presencia de agua en la resistencia de los suelos han sido ahondados un poco más en el capítulo anterior, tanto en los suelos granulares (arenas), como en los suelos cohesivos (arcillas).

- Daños causados por colmatación.

Durante las lluvias los flujos de agua ingresaron a los canales fueron acompañados por gran cantidad de sedimentos y otros sólidos, dando lugar a considerables acumulaciones dentro de la caja de los canales (ver fotos 6-10 y 6-11).

Los canales revestidos fueron los más susceptibles, especialmente los canales laterales y menores, debido a que las precipitaciones locales y directas sobre los taludes, incrementaron las acumulaciones, produciéndose además en numerosos casos erosiones y derrumbes de los taludes, se ha observado --

canales que quedaron completamente colmatados, dando la impresión de que anteriormente éstos no existían. Las zonas más afectadas fueron las partes bajas de los valles.

En los canales principales la colmatación se produjo en menor proporción, y se debió principalmente a la entrada de flujos de agua (quebradas) que transportaban gran cantidad de sedimentos (ver fotos 6-8 y 6-9). Las estructuras de protección como las Entradas en el canal de Derivación Chira-Piura, permitieron el ingreso de considerables cantidades de sedimentos.

Se estima que en el Valle del Chira, la colmatación en los canales alcanzó aproximadamente 1'181,700. m³, y en el Valle Medio y Bajo Piura 700,000 m³.

- Daños causados por trabajos de emergencia.

Para evitar el colapso de los diques de encauzamiento se realizaron trabajos de protección los que en un momento fueron tan graves que hizo necesario hacer uso de los terraplenes de los canales, tal es el caso del canal Sinchao, en donde se utilizó el material de la banquina derecha, para evitar el desborde del río Piura, dañándose en total 1.4 Km.

6.3.4 Comportamiento y efectos en el canal de Derivación Chira-Piura.

Anteriormente se han descrito las características más importantes de este canal (ver 6.2.2), una sección típica de la caja se puede ver en la fig. 6-6, las secciones que cuentan con sistemas de subdrenaje se muestran en la fig. 6-7.

Hay que agregar que el canal cuenta con tres tipos de obras de protección :

- Alcantarillas. Ubicada debajo del canal, para descargar las corrientes de una margen a otra.
- Canoas : Ubicadas en la parte superior del canal en zonas donde el terreno es mayor de 1 mt. que el canal, permite descargar la corriente de una margen a otra.
- Entradas: Permite encauzar las corrientes hacia el canal.

Los daños más importantes fueron producidos por un lado por las quebradas y por otro lado por los efectos de sub-presión de la napa freática que produjo el colapso del revestimiento en muchos tramos (ver fotos 6-6 y 6-7).

A continuación se mencionan las partes más afectadas del canal, además se indica el tipo de daños (los mecanismos de falla han sido descritos en el acápite 6.3.3 para cada tipo):

1.- Km. 8 + 700.

Daño tipo 2: Colapso del revestimiento, talud izquierdo en una longitud de 50 mt. Sección en terrenos expansivos.

2.- Km. 8 + 820.

Daño tipo 2: Hundimiento de la pendiente en una longitud de 30 mt. Sección en terrenos expansivos.

3.- Km. 8 + 900.

Daño tipo 2: Colapso del revestimiento, talud izquierdo en una longitud de 900 mt., los paneles en la parte inferior - fallaron primero y luego los de la parte superior.

4.- Km. 10 + 050.

Daño tipo 2: Colapso del revestimiento, talud izquierdo en una longitud de 650 mt. y en el talud derecho en una longitud de 600 mt. a partir del Km.10+100. Se ha observado que la parte posterior al revestimiento se hundió en varias partes en el talud izquierdo. Sección en terrenos expansivos.

5.- Km. 19 + 500

Daño tipo 1: Quebrada "La Abuela", colapso de alcantarilla - siendo arrasada por las aguas, y destrucción del revestimiento en una longitud de 600 mt. El diseño de $12 \text{ m}^3/\text{s}$. -- fue insuficiente (ver fotos 6-3 y 6-4).

6.- Km. 27 + 150 - 29 + 150.

Daño tipo 2: Colapso del revestimiento, talud izquierdo en una longitud de 2,000 mt. se observan hundimientos profundos. Sección en terrenos expansivos. Colapso del revesti-

miento en talud izquierdo en el Km. 28+150 en una longitud - de 150 mts. y en el tramo 28+630 - 29+150; longitud de 470 mt.

7.- Km. 31+410.

Daño tipo 2: Colapso del revestimiento, talud derecho en una longitud de 770 mt. y en el talud izquierdo en una longitud - de 800 mt. a partir del Km. 31+450. Sección en terrenos ex--pansivos.

8.- Km. 32+480.

Daño tipo 2: Colapso del revestimiento en el talud izquierdo en una longitud de 320 mt. Sección en terrenos expansivos.

9.- Km. 35+370.

Daño tipo 2: Colapso del revestimiento en el talud izquierdo en una longitud de 30 mt. falla en 2 paneles. Sección en te--rrenos expansivos.

10.- Km. 35+800.

Daño tipo 2: Colapso del revestimiento en el talud izquierdo en una longitud de 150 mt.

11.- Km. 36+350.

Daño tipo 2: Colapso del revestimiento en el talud izquierdo en una longitud de 530 mt. Fuga de agua en el lado izquierdo. Colapso del revestimiento en el talud derecho en una longitud de 140 mt. En esta parte la Canoa no funcionó. Sección en - terrenos expansivos.

12.- Km. 38+940.

Daño tipo 2: Colapso del revestimiento en el talud izquierdo en una longitud de 360 mt. Sección en terrenos expansivos.

13.- Km. 39+400.

Daño tipo 2: Colapso del revestimiento en el talud izquierdo en una longitud de 150 mt. Sección en terrenos expansivos.

14.- Km. 39+700.

Daño tipo 2: Colapso del revestimiento en el talud izquierdo en una longitud de 500 mt. Sección en terrenos expansivos.

15.- Km. 41+980.

Daño tipo 2: Colapso del revestimiento en el talud izquierdo en una longitud de 70 mt. observándose una fuga en dicho talud e inestabilidad del terraplén. Sección en terrenos expansivos.

16.- Km. 42+320.

Daño tipo 2: Colapso del revestimiento en el talud derecho - en una longitud de 60 mt. filtraciones e inestabilidad en el banco derecho. Sección en terrenos expansivos.

El colapso del revestimiento alcanza una longitud total de 9,000 mts.

Además de lo anterior podemos agregar lo siguiente :

- Ninguna de las Canoas ha funcionado eficientemente a excepción de la ubicada en el Km. 21+180, debido al desnivel (entre 0.30 y 1.00 mt.) existente entre el terreno circundante y el ingreso a la Canoa.

Este desnivel dió lugar a la formación de lagunas de área variable pero no menor a 1 Ha., esta situación favoreció a la elevación del nivel freático en estas zonas con los consiguientes efectos de sub-presión antes señalados, afectando la estabilidad de los taludes.

- La estructura de Entrada de agua del canal ubicada en Km. 23+112 margen izquierda fue afectada, colapsó al desestabilizarse el terraplén que la portaba.
- Se ha observado en muchos sectores agrietamientos en la mitad del talud, estos se presentaron con mayor intensidad entre los Kms. 20 y 40, existiendo fisuras que van desde 0.1 mm. a 20 mm., como en los Kms. 21+400, 24+800, 25+200. etc. Es probable que en los agrietamientos mayores existan socavaciones que puedan comprometer la estabilidad del talud.
- Se han detectado "nuevas" quebradas, con descarga directa al canal, como en las ubicadas en los Kms. 24+520, 27+350, 33+290, 35+850, 36+300, 38+000.

- Se han producido socavaciones en el relleno, directamente al pie de la losa en los Km. 36+100, 50+050, 53+500, dejando a la losa sin ningún apoyo.
- Se ha observado que el sistema de subdrenaje (drenes de material gravoso: filtros, tuberías, etc.) ubicados entre los Km. 12+800 - 15+000, no funcionaron.

6.3.5 Efectos en el Sistema de Drenes.

De igual manera, el sistema de drenes fue tremendamente afectado durante el evento de 1983, básicamente los daños fueron producidos por la acción de los flujos superficiales que causaron la colmatación de los drenes en un gran porcentaje y la erosión afectando los taludes y las obras de arte.

En el Valle del Bajo Piura la magnitud de los daños fue favorecida por un lado, por el hecho de que la pendiente del Valle es bastante suave: con un promedio de 0.05%, siendo la parte más llana la zona baja con una pendiente promedio de 0.03%; y por otro lado debido a que los drenes colectores y los drenes principales están en antiguos cauces de ríos y en las zonas más bajas.

De esta forma, la parte Sur-Oeste del Valle fue el más afectado, debido a que el río Piura se desvió de su curso e invadió el cauce del dren 13.08, hasta llegar hacia Sechura, el sector Sur-Este fue invadido por las aguas provenientes de la laguna Ñapique.

Los daños producidos en el Sistema de drenaje los podemos tipificar de la siguiente manera :

- Daños causados por colmatación.

Este tipo de daños fue el más frecuente y significativo en el sistema de drenaje, como consecuencia quedaron los drenes con la sección reducida debido a la invasión de sedimentos y en muchos casos la colmatación fue total, dando la impresión de que estos drenes no existían antes.

La colmatación fue producida básicamente por la acción de los flujos superficiales de gran magnitud como ríos, quebradas y

por flujos locales, en ambos casos fueron acarreados considerables cantidades de sedimentos hacia los drenes (ver Foto 13).

Se estima que en total el volumen de colmatación en el sistema fue aproximadamente de 1'500,000 m³, afectando a la parte alta en un 30%, la parte media en un 50% y a la parte baja en un 80%. En la parte baja del Valle que fue la más afectada - se encuentra ubicado el dren colector 13.08 que fue por donde se desvió el río Piura el cual tomó el cauce de dicho dren -- hasta llegar al mar por vía Sechura, como consecuencia los -- drenes ubicados en esta parte fueron bastante afectados, ha -- sido necesario diseñar y construir nuevamente los drenes en -- una longitud de 19.5 Km. para lo cual será necesario excavar un volumen aproximado de 1'365,000 m³, siguiendo criterios diferentes en el diseño, es decir que los drenes no seguirán necesariamente la topografía del terreno, si bien los volúmenes de excavación serán mayores, pero se espera reducir de esta -- manera la vulnerabilidad de estos drenes.

Daños causados por erosión.

La acción de los flujos superficiales tuvo características diferentes que en los canales, debido a que los drenes están ubicados en las partes más bajas y en antiguos cauces, de esta manera los flujos superficiales importantes coincidían con -- los drenes especialmente los drenes colectores y principales, los flujos menores desembocaban en dichas corrientes.

La erosión afectó principalmente a las obras de arte del sistema de drenaje: desembocaduras, cruces, caídas. Una de las principales obras afectadas fue el cruce Dren Sechura - Canal Muñuela, en donde se produjo el colapso de las transiciones -- de salida y las protecciones de entrada y salida, tanto de la alcantarilla como del acueducto, así mismo el relleno sobre -- la alcantarilla quedó erosionado en una gran magnitud.

El cruce del dren 13.08 con el río Piura fue afectado por la erosión producida en el lecho del río, especialmente en la -- margen derecha, como se señaló anteriormente el dren fue completamente dañado debido a que el río Piura se desvió de su -- cauce luego que el dique de defensa fue destruido, invadiendo el cauce del dren 13.08, desembocando al mar por Sechura.

En general las desembocaduras de drenes menores a otros más importantes como: drenes de campo y salidas de riego en drenes secundarios; drenes secundarios en drenes principales y éstos en los drenes colectores; fueron afectados por la acción erosiva del flujo de agua, deteriorando generalmente los rellenos y las protecciones en los puntos de entrega.

Los flujos menores provenientes de aguas pluviales locales originaron generalmente erosiones en los taludes de los drenes, causando en muchos casos el colapso de éstos taludes, esto fue favorecido por la saturación del terreno y de los taludes, debido a la frecuente formación de lagunas y a las filtraciones del agua pluvial.

6.3.6 Comportamiento de los ríos Piura y Chira y efectos en las defensas ribereñas.

Las extraordinarias avenidas registradas en los ríos Piura y Chira durante los 6 primeros meses de 1983 como consecuencia de las intensas y persistentes lluvias precipitadas en sus respectivas cuencas, dieron como resultado que la acción dinámica de estos ríos se intensificara produciéndose: erosiones considerables en el lecho, transporte de grandes volúmenes de sedimentos, erosión de las defensas ribereñas, inundación de considerables áreas de cultivo y pueblos ubicados en la cercanía a las riberas, etc.

A continuación se mostrará en forma sintética el comportamiento de estos ríos y los efectos en las defensas ribereñas :

a.-Comportamiento del río Piura.

Antes de la construcción de los diques de defensa, que se inició a partir de 1973, durante las máximas avenidas los grandes caudales se desbordaban extendiéndose en extensas áreas a ambos márgenes, produciéndose considerables inundaciones, los tirantes de agua y las velocidades permanecían pequeñas, de esta manera se puede decir que existía un equilibrio entre los parámetros del flujo y la geometría del cauce. (curso, ancho, profundidad).

Luego de iniciarse la construcción de los diques hasta antes de 1983 la máxima avenida que se registró ocurrió en 1974 y fue de 646 m³/s., por lo tanto se considera que el equilibrio morfológico-hidráulico antes señalado se mantuvo. (estabilidad de cauce del río y de las zonas de inundación aledañas).

El año 1983 como puede verse en los registros mencionados en el acápite 2.3.1, se distinguió por el carácter excepcional

de las avenidas con respecto a los caudales picos y sobre to do por su larga persistencia, alcanzando un valor máximo de $3,200 \text{ m}^3/\text{s}$. en la ciudad de Piura, realmente caudales nunca antes registrados.

La conjunción de estos dos factores: el caracter y la larga persistencia de las avenidas, y la presencia de los diques - en las márgenes, dió como resultado el rompimiento del equilibrio morfológico-hidráulico: aumento del nivel de agua, -- aumento de la velocidad de la corriente, profundización del cauce, socavación en las márgenes especialmente en las cur-- vas externas de los cambios de dirección. La erosión en el lecho del río alcanzó un promedio que oscila entre los 3 y 4 mt. en los primeros 25 Km. a partir de la ciudad de Piura.

Las erosiones laterales y de fondo aumentaron considerable-- mente con las avenidas de Marzo y Abril. Hasta fines de Mar-- zo, el río Piura llegaba a las lagunas Mala Vida, Ramón y -- Ñapique en forma sucesiva, de esta manera las aguas discu -- rrieron hacia la laguna de la Pampa de Salinas para finalmen-- te dirigirse al mar por el Estuario de Virilá.

Desde la Laguna Ramón hasta el mar y por el cauce de las - - aguas hay una distancia de 50 Km. aproximadamente, casi sin pendiente: la evacuación de las avenidas se hacía en condi-- ciones sumamente desfavorables. Esto explica la formación - de meandros bien marcados y frecuentes a partir de la zona - de Narihualá y Sinchao hacia aguas abajo en donde el río se divide en varios ramales (ver Lámina 6-4).

Los grandes volúmenes transportados por el río Piura se han depositado en esta parte durante las avenidas de 1983, y han colmatado totalmente la laguna Mala Vida, una parte de la -- laguna Ramón y la zona comprendida entre Chato (Km. 23) y -- las lagunas, dando lugar a una sobreelevación del nivel - -- original e inversión de la pendiente en esta parte.

Al romperse el dique derecho en la zona de Chato, las aguas se desviaron, discurriendo totalmente sobre el dren 13.08 el

31 de Marzo, desembocando a partir de esta fecha al mar por la vía Sechura, formando de esta manera un cauce bien marcado, las grandes masas de sedimentos de Abril a Junio (60 millones de m³, aproximadamente) fueron perfectamente evacuadas hacia el mar, lo que mostró las excelentes condiciones de salida de este cauce.

b.- Efectos en las defensas ribereñas del río Piura.

Los diques de defensa y encauzamiento fueron gravemente afectados por la acción erosiva de las aguas del río Piura, como consecuencia quedaron erosionados en una gran longitud : - - 11.8 Km. y totalmente destruidos en varios tramos que totalizan aproximadamente 21.7 Km. Se ha observado que durante -- las avenidas el nivel del río no desbordó los diques de - -- defensa, las inundaciones se produjeron básicamente por la - destrucción de los diques (Ver Foto 14).

A continuación podemos mencionar los factores que determinaron y favorecieron la magnitud de los daños :

- Los grandes caudales y la larga persistencia de las avenidas.
- Concentración del caudal entre los diques.
- Formación de corrientes secundarias en dirección diferente al cauce principal.
- Cambios de dirección del cauce, socavando en mayor grado - el dique ubicado en la curva externa (margen cóncava).
- Estrechamiento del cauce originado por los puentes.
- Las características del lecho del río, el cuál es fácilmente erosionable, afectando especialmente la estabilidad de la base de los diques.
- Falta de una adecuada protección en los diques.
- Arboledas o arbustos existentes en el lecho del río, que - desviaron la corriente hacia los diques.
- Canales perpendiculares y con pendiente positiva hacia los diques, ya que tomaban agua del lecho del río por bombeo, para conducirla fuera de los diques, esta situación produjo continuos remansos y desviaban la corriente hacia los - diques.

Como consecuencia, de los factores antes mencionados podemos señalar los puntos más vulnerables :

- En los cambios de dirección.
- En las proximidades a los puentes.
- En las proximidades a las tomas.
- En las zonas con arboledas en el lecho, las que tienden a desviar la corriente hacia los diques.

Es importante mencionar que determinados puntos vulnerables merecen especial atención puesto que comprometen la seguridad de poblaciones ubicadas cerca al río :

- Km. 0 - 4: Ubicado en la ciudad de Piura, ambas márgenes.
- Km. 9 - 11: Margen izquierda, comprometen las poblaciones de Catacaos, Narihualá, Monte Suyón.
- Km. 11 - : Margen derecha, compromete la población - - Monte Castillo.
- Km. 13 - 15: Margen derecha, en la toma de Narihualá - (Canal Sechura) compromete poblaciones como La Arena, Alto Los Mores.

En la lámina 6-5 se puede observar los tramos afectados de los diques de defensa y encauzamiento del Bajo Piura.

c.- Comportamiento del río Chira.

El Valle del Chira está dominado por una continuidad de mesetas sobre las márgenes, en cuanto a la pendiente es mayor que la del río Piura (Valle del Bajo Piura). El Valle es de anchura variable, cubierto de material aluvial fino, el cauce principal presenta una fácil divagación con numerosos meandros.

Debido a los 5 años de sequía en la región (1978-1982) durante los cuales se soltó agua del reservorio de Poechos -- únicamente para satisfacer la demanda agrícola y de poblaciones del Bajo Chira, con excepción del año 1981 en que se soltó en el mes de Marzo un caudal de $800 \text{ m}^3/\text{s}$. de la represa durante 3 días, como consecuencia se inundaron 7,000 Has. de tierras cultivadas, pero ello no significó ningún cambio

en las condiciones del cauce y área inundable. En esa oportunidad las causas de la inundación fueron :

- Descarga al cauce del río Chira de considerables caudales ($800 \text{ m}^3/\text{s}.$) sin tener en cuenta las condiciones del cauce.
- Reducción del cauce debido al crecimiento de árboles y arbustos y otros obstáculos como las tapas construídas para las tomas.
- Tala de árboles que servían de protección a los diques.
- La salida hacia el mar se observó muy angosta, lo que no permitió una fácil evacuación, originando la elevación del nivel, inundándose principalmente las áreas del Sector El Arenal.

El año 1983, como puede verse en los registros mencionados - en el acápite 2.3.1, se distinguió por el caracter excepcional de las avenidas con respecto a caudales picos y sobre todo por su larga persistencia, alcanzando un valor máximo de $4,050 \text{ m}^3/\text{s}.$ aforados en el Puente Sullana.

Las mesetas fueron cortadas por numerosas quebradas, siendo las más importantes con respecto a sus cuencas, las que están ubicadas en la margen izquierda, estos escurrimientos generalmente fueron perpendiculares al curso del río, provocando a menudo el empuje del río ocasionando de esta manera cambios bruscos del cauce principal. La quebrada más importante de la margen derecha fue la de Samán.

Las primeras avenidas de 1983, arrastraron la vegetación y - así aumentó la capacidad del río; para caudales de $1,600 \text{ m}^3/\text{s}.$, a mediados de Enero no hubo ningún tipo de desbordes, pero - ya se observaban erosiones en ciertos tramos de las defensas. Una vez socavada la capa vegetal, al pasar al lecho arenoso la erosión se produjo más rápidamente.

El promedio de socavación en el cauce del río Chira fue de -- $1.50 \text{ mt}.$ en los tramos rectos y en las partes cóncavas de las curvas se observaron socavaciones del orden de los $3 \text{ mt}.$ para

caudales de $1,800 \text{ m}^3/\text{s}$. La socavación del lecho del río se produjo con mayor rapidez en los antiguos cauces del río. -- Para caudales de $3,500 \text{ m}^3/\text{s}$. se midieron velocidades de hasta 4 m/s en tramos rectos. (Puente Sullana).

d.- Efectos en las defensas ribereñas del río Chira.

Los diques de defensa fueron gravemente afectados por la acción erosiva de las aguas del río Chira, como consecuencia - quedaron fuertemente erosionados en una longitud de 3.5 km . y totalmente destruidos en varios tramos que totalizaron - - aproximadamente 41 Km . que representa casi el 50% del total.

Los primeros problemas que se presentaron en los diques del Valle del Chira ocurrieron en la margen izquierda, debido a que las áreas defendidas en esta margen están a un nivel más bajo que las de la derecha.

En algunos lugares, el área entre la orilla de cauce de estiaje y el pie de talud del dique, tenía pendiente positiva hacia el dique, por lo que al sobrepasar el nivel de agua el cauce de estiaje se formaba una corriente fuerte y paralela al dique, esto ocurrió en las zonas siguientes : (Ver lámina 6-2).

- Dique L1, tramo 1. El Arenal.
- Dique L2, tramo 2. La Huaca
- Dique L1, tramo 1, Sojo.

Estos problemas se presentaron en los primeros días de Enero (1 al 15), siendo el más grave el que se presentó en El - -- Arenal, donde el desnivel fue grande y se rompió bruscamente el pre-dique, estando el río a punto de romper el dique por erosión.

En esos primeros días, el nivel del agua del río con caudales de aproximadamente $1,600 \text{ m}^3/\text{s}$. aguas abajo de la quebrada Samán llegó a tener en algunos diques un borde libre de 0.30 mt . : Sojo, La Huaca, La Tahona; mientras que en la zona de Miraflores y Miramar había un borde libre de 1.50 mt .

Es importante mencionar que para el diseño de los diques se consideró como $Q_{max} = 1,200 \text{ m}^3/\text{s}$. asumiéndose un coeficiente de rugosidad de 0.05 en el cauce principal y 0.2 en el área inundable, pero se observó que para caudales de $1,600 \text{ m}^3/\text{s}$.- los diques no fueron rebasados, lo que indicó que los coeficientes asumidos fueron muy altos.

En determinados tramos se ha observado afloraciones aguas -- abajo de los diques, lo que indica que se produjeron flujos de agua en el terreno de cimentación, y en dos puntos se -- observó filtraciones en el cuerpo de los diques : Miraflores y Vichayal, siendo estos diques antiguos y construídos de -- arena. Esto indica que se ha producido posiblemente Tubificación en el terreno de cimentación y/o en el cuerpo de los diques, en los puntos antes señalados. El fenómeno de Tubificación ha sido descrito en el capítulo anterior.

A continuación podemos mencionar los factores que determinaron y/o favorecieron la magnitud de los daños :

- Los grandes caudales y la larga persistencia de las avenidas.
- La no continuidad de los diques dió lugar a variaciones -- bruscas de velocidad y ancho del cauce. Los diques no -- constituyen así un encauzamiento sistemático.
- Formación de corrientes secundarias en diferente al cauce principal.
- Cambios de dirección del cauce.
- La característica del lecho del río el cuál es fácilmente erosionable, afectando la estabilidad de la base de los diques.
- La pendiente transversal en dirección hacia los diques.
- Corte de meandros, con lo que aumenta la velocidad del río y cambia su curso, esto ocurrió por ejemplo en el dique -- L2, tramo 2. La Huaca.
- Falta de una adecuada protección en los diques.
- Arboledas o arbustos existentes en el lecho del río, des--viaron la corriente hacia los diques.

- Canales perpendiculares y con pendiente positiva hacia los diques, ya que tomaban agua del lecho del río por bombeo, para conducirla fuera de los diques.
- En otros casos los agricultores habían construido canales paralelos al dique y al costado erosionándolo, en otros casos construyeron el canal usando el relleno del dique disminuyendo la estabilidad de éste.
- Otras roturas del dique se produjeron por las quebradas, sobre todo a partir del mes de Mayo.

Como consecuencia, los factores antes mencionados nos permite señalar los puntos más vulnerables :

- En los cambios de dirección.
- Al inicio y al final de los diques (no continuos)
- En las zonas con arboledas en el lecho.
- En las proximidades a las tomas.
- En los puntos de descarga de las quebradas.
- En los tramos paralelos a canales ubicados aguas abajo de los diques.

6.4 CONCLUSIONES

1. Los factores que condicionaron la acción de la Geodinámica Externa en las áreas agrícolas y su infraestructura de riego fueron los siguientes :
 - . Meteorológicos.
 - . Hidrológicos
 - . Geológicos
 - . Topográficos.
 - . Ocupación de áreas de inundación.
 - . Ausencia de sistemas adecuados de protección y drenaje de las -- aguas.
2. En general, las áreas agrícolas y su infraestructura de riego se -- mostraron vulnerables al fenómeno producido, demostrando que no -- existe un adecuado conocimiento de la dinámica del medio geográfico en donde se encuentran ubicadas las áreas agrícolas, esto dejó como constancia que dichas áreas no estuvieron preparadas para eventos -- de esta naturaleza.

El distinto comportamiento de estas aguas determinó características típicas de daños, específicamente, los más importantes fueron causados por :

- Erosión producida por el flujo de aguas superficiales.
- Saturación e inundación.
- Colmatación.

En el caso de los drenes el problema más grave fue la colmatación, además los escurrimientos superficiales mayores coincidieron con -- los drenes colectores y principales.

6. Los daños causados por la erosión en los canales fueron más violentos, producidos principalmente por flujos superficiales como : ríos y quebradas. La acción erosiva de las quebradas fue mucho más intensa en el Valle del Chira y la acción del río lo fue en el Bajo - Piura, en donde cambió de cauce y de punto de desembocadura.
7. Los daños causados por saturación e inundación en los canales, fueron menos violentos y afectaron a grandes longitudes, especialmente a los canales revestidos. Entre los efectos más importantes que -- originó la presencia del agua en el terreno de cimentación y en los taludes fueron los siguientes :
 - Disminución de la resistencia al esfuerzo cortante.
 - Aumento del peso de la masa, disminuyendo su estabilidad, -- especialmente en los terraplenes.
 - Debilitamiento debido al flujo del agua en el interior de la masa por saturación.
 - Efectos de subpresión y empuje lateral del material debajo - de la losa de los taludes. En los canales revestidos princi pales.
8. Durante las avenidas de 1983, el río Piura (en el Valle Bajo Piura) presentó dos tramos bien diferenciados, caracterizado por el distin to comportamiento que mostró, los que se muestran a continuación :
 - Tramo I : Desde la ciudad de Piura hasta las inmediaciones - de Chato (Km. 23), se caracterizó por la profundización del cauce, en un promedio de 3-4 mt. debido a la erosión.

- . Tramo II: Desde Chato hasta las lagunas Mala Vida y Ramón, se caracterizó por la elevación del nivel del cauce, debido a la acumulación de sedimentos, invirtiéndose la pendiente en esta parte.
9. El nuevo cauce del río Piura que se formó al romperse el dique derecho a la altura de Chato discurriendo totalmente sobre el dren 13.08, presentó un cauce bien marcado, con mejores condiciones de evacuación de sedimentos hacia el mar, debido a que la pendiente es superior al Tramo II señalado.
 10. En el río Chira, la socavación del lecho se produjo con mayor rapidez en los antiguos cauces del río. No se produjo un cambio radical del cauce y de desembocadura al mar, como en el río Piura, debido a que la pendiente del Chira le permite mejores condiciones de evacuación al mar.
 11. Los factores más importantes que determinaron y/o favorecieron los daños en los diques de defensa fueron :
 - . Los grandes caudales y la larga persistencia de las avenidas.
 - . Concentración del caudal entre los diques.
 - . Variaciones bruscas de velocidad y ancho del cauce debido a la discontinuidad de los diques (río Chira).
 - . Formación de corrientes secundarias en diferente dirección al cauce principal.
 - . Cambios de dirección del cauce.
 - . Estrechamiento del cauce debido a los puentes.
 - . La característica del lecho: fácilmente erosionable
 - . Falta de protección a los diques.
 - . Desviación de la corriente hacia los diques debido a: pendiente transversal positiva, arboledas, tomas, etc.
 - . Canales sin revestimiento paralelos y al costado de los diques
 - . Construcción de canales con material de los diques, para los rellenos, efectuado por los agricultores.
 - . Descarga de grandes quebradas (río Chira).
 12. Como consecuencia los puntos más vulnerables en los diques de defensa fueron :
 - . En los cambios de dirección
 - . Al inicio y final de los diques discontinuos.

- . En las proximidades a las tomas.
- . En las proximidades a los puentes.
- . En las zonas donde existe marcada tendencia a desviarse la corriente hacia los diques.
- . En los puntos de descarga de las quebradas.

6.5 RECOMENDACIONES.

1. Elaborar un Programa cuyo objetivo sea: disminuir la vulnerabilidad de las áreas agrícolas y su infraestructura de riego, para lograr -- de esta manera atenuar y/o evitar los daños en eventos similares -- dentro de una concepción integral de desarrollo, este Programa debe contar con otros aspectos con :
 - . Estudio del comportamiento del Medio Geográfico.
 - . Estudio de las Medidas de Previsión a adoptar.
 - . Elaboración de un Plan Operativo de Emergencia.

2. En el estudio del comportamiento del Medio Geográfico se debe definir en forma global las Areas Vulnerables y las Areas Protegidas en los Valles del departamento, considerando los distintos Niveles de Afectación observados en este último evento y la dinámica del Proceso, para lo cuál es necesario tener en cuenta entre otros aspectos:
 - . Geología
 - . Topografía.
 - . Fotografías Aereas.
 - . Ocupación de áreas de inundación.

3. El Plan Operativo de Emergencia debe establecer un conjunto de acciones concretas frente a situaciones similares a lo sucedido en -- 1983, de tal modo que se haga operativo los resultados de los estudios realizados, además debe contar con una Dirección Centralizada para evitar interferencia de funciones en los momentos de la Emergencia, como lo acontecido en 1983.

4. Las obras de Infraestructura de determinada importancia, debe disponer de estudios Geodinámicos, Geológicos, Geotécnicos, de Mecánica de Suelos, etc., que permitan darle mayor seguridad a las obras y -- también contribuir al mejor conocimiento del Medio Geográfico.

5. Considerando las condiciones desfavorables de cimentación del dique derecho de la represa de Poechos y el comportamiento mostrado durante el evento de 1983, es conveniente se realice un estudio más minucioso para garantizar con menor riesgo un comportamiento favorable en el futuro, dentro de un marco de seguridad adecuado. Esto se impone dado que un porcentaje de los instrumentos de auscultación han estado deteriorados, situación que no permite un conocimiento fidedigno del real comportamiento del dique y las otras estructuras. - Esto implica además que exista un constante mantenimiento de dichos instrumentos para garantizar que cumplan cabalmente su función.
6. Considerando las causas de los daños en la Presa "Los Ejidos", es necesario un nuevo diseño que contemple un caudal de descarga máxima del orden de los $3,000 \text{ m}^3/\text{s.}$, para lo cual el vertedero libre debe tener una capacidad de descarga de $1,600 \text{ m}^3/\text{s.}$ y además la protección de enrocado debe contemplar la dinámica erosiva de estos -- caudales en el lecho del río. Esto implica una investigación minuciosa del comportamiento de la Presa y la interacción suelo-estructura.
7. Es importante mejorar el sistema de protección y drenaje de los canales, especialmente de los principales, para lo cual es preciso -- que se tengan en cuenta las siguientes consideraciones :
 - . Reducir al máximo la cantidad de agua que llega a las diferentes partes del canal.
 - . Interceptar y desalojar las aguas superficiales cuyo acceso al canal es inevitable.
 - . Interceptar y desalojar las aguas subterráneas en las zonas más críticas.
8. Las anteriores consideraciones obligan a que en la reconstrucción -- de los canales se contemplen los siguientes requisitos :
 - . Hace una evaluación del comportamiento y los daños en las -- obras de arte (alcantarillas, acueductos, sifones, entradas, etc.) para poder mejorar su diseño. Incluir este tipo de -- obras en los puntos donde fueron obviados. ("nuevas" quebra-- das).
 - . Proteger convenientemente de la erosión a la estructura de los canales y a las obras de arte en los lugares críticos.
 - . Incluir obras de drenaje para evacuar las lagunas y las -- aguas de precipitación directa.

- Hacer una evaluación del comportamiento y los daños en las obras de subdrenaje en los canales revestidos principales, para mejorar de esta forma su diseño.
- 9. Los terraplenes deben protegerse de la erosión en puntos críticos, tales como en los tramos adyacentes a las obras de arte (alcantarillas, sifones, etc.) mediante la colocación de material granular sobre el talud exterior del terraplén: mandiles de grava y/o piedra. (Ver Fig. 6-8).
- 10. En ciertos tramos de los canales principales, especialmente los revestidos, debe de construirse zanjas de encauzamiento, paralelas al canal y a varios metros de distancia, los cuales se pueden incorporar al Sistema de Drenaje de las áreas agrícolas. (Ver Fig. 6-9). - Estas zanjas permiten interceptar y desalojar las aguas que escu---rren superficialmente en el terreno adyacente al canal y además permiten disminuir el nivel freático atenuando el ingreso de las aguas infiltradas al canal.
- 11. El evento de 1983, ha demostrado que el criterio que se ha usado en el diseño del Sistema de Drenes: seguir la topografía del terreno - (zonas bajas), no necesariamente es el mejor, a pesar de que significa menor movimiento de tierras, debido a que éstos se tornaron -- bastante vulnerables en ciertas zonas (parte baja del Bajo Piura), - por lo que es recomendable tener en cuenta estas enseñanzas en el - diseño y reconstrucción del Sistema de Drenaje.
- 12. Considerando: las malas condiciones de evacuación de las aguas del río Piura por la laguna Mala Vida, el efecto nocivo de los sedimentos en esta parte y los costosos trabajos que significará mantener este cauce aún si en el futuro ninguna avenida similar a las de - - 1983 ocurriera.

Se concluye que es necesario conservar el "nuevo" cauce formado - - (Vía Sechura) dada las excelentes condiciones de evacuación, esta - alternativa se impone, a pesar de los costos adicionales que deri--va: construcción de nuevos diques, expropiación de tierras de cultiivo, etc.
- 13. Es necesario proteger adecuadamente los diques de encauzamiento y - defensa, especialmente en los puntos vulnerables, y donde su des- - trucción comprometa la seguridad de centros poblados, para tal efecu

to se presentan los siguientes dos casos :

- . En los tramos rectos o con radio de curvatura grande : la protección se debe hacer al pie y sobre los taludes.
(Ver Foto 16 y Fig. 6-10).
- . En los tramos cóncavos con pequeño radio de curvatura: la protección se deberá hacer con sistema de espigones.
(Ver Foto 15 y Fig. 6-11).

14. Deben tomarse medidas indirectas para atenuar y/o evitar las inundaciones de los ríos :

- . Siembra de árboles en las cuencas.
- . Defensas en los torrentes tributarios (ver Fig. 6-12).
- . Formación de embalses o lagos artificiales.

15. En los tramos donde no existen diques de defensa se puede proteger las orillas con :

- . Arboledas de rápido crecimiento y que proporcionan excelente-protección : sauces, álamos, acacias.
- . Palizadas: utilizar palos, tablas, ramas de árboles, etc. sostenidos por pilotes hincados (ver Fig. 6-13).

REFERENCIAS

- 1.- "PROGRAMA INTEGRAL DE REHABILITACION Y RECONSTRUCCION DE LAS ZONAS AFECTADAS POR LOS DESASTRES DE LA NATURALEZA"
I.N.P. Lima. Julio 1983.
- 2.- "EVALUACION DE LOS DAÑOS CAUSADOS POR LAS LLUVIAS E INUNDACIONES EN EL DEPARTAMENTO DE PIURA".
I.N.P. Piura. Setiembre 1983.
- 3.- "EL NIÑO Y LAS ALTERACIONES CLIMATICAS"
Pablo Lagos. Agosto - 1983, Boletín Nº. 2. D.H.N.M.
- 4.- "METEOROLOGIA DE LA COSTA NORTE PERUANA"
Tte. Cesar del Carmen. Agosto-1983. Boletín Nº. 2. D.H.N.M.
- 5.- "PROBLEMAS DEL PERU : INUNDACIONES, HUAYCOS Y SEQUIAS"
Ingº Rosendo Chávez D. - Septiembre-1983.
Edición Nº. 26. "El Ingeniero Civil"
- 6.- "EL NIÑO" : ALTERACIONES EN LA ATMOSFERA Y ALERTA EN EL MAR".
Pablo Lagos. Marzo-1983.
Edición Nº. 23. "El Ingeniero Civil".
- 7.- "UNA VISION DE EL NIÑO PARA 1983".
Klaus Wyrтки. Octubre-1982.
Boletín Nº. 89. E.R.F.E.N.
- 8.- "EL FENOMENO DE EL NIÑO"
Ramón Mugica M. Enero-1984.
- 9.- "CONDICIONES OCEANOGRAFICAS Y SUS FLUCTUACIONES EN EL PACIFICO SUR - ORIENTAL".
Oscar Guillén G. I.M.A.R.P.E Abril de 1983.
Informe de Pesca Nº. 291, Volumen 3. F.A.O.
- 10.- "GEOGRAFIA DEL NIÑO"
Cesar Cavieses. 1972.
- 11.- "TEMPERATURA PROMEDIO DE LA SUPERFICIE DEL MAR FRENTE A LA COSTA PERUANA, PERIODO 1928-1969".
S. Zuta y W. Urquiza. Boletín Nº. 8, Vol. Nº. 2 . I.M.A.R.P.E.
Callao-Perú. 1972.

- 12.- "ALGUNOS ASPECTOS FISICOS DE EL FENOMENO DE EL NIÑO 1982-1983".
Torcuato Ribera. Boletín Nº. 5 ERFEN. Setiembre 1983.
- 13.- "RECONOCIMIENTO DE LA REGION COSTANERA DE LOS DPTOS. PIURA Y TUMBES".
José Bravo. 1921.
- 14.- "ESTUDIO PRELIMINAR DE LA REGION SULLANA-LANCONES".
A. Chalco R. 1955.
- 15.- "DIAGNOSTICO DE LA REGION PIURA-TUMBES".
ORDENORTE. Julio 1980.
- 16.- "PLAN DIRECTOR DE PIURA. ESQUEMA PRELIMINAR ".
Ministerio de Vivienda. Concejo Provincial de Piura. CORPIURA. 1971.
- 17.- "PLAN REGULADOR DE PIURA-CASTILLA".
Concejo Provincial de Piura. Setiembre 1982.
- 18.- "VIII CENSO NACIONAL DE POBLACION Y III CENSO DE VIVIENDA".
Instituto Nacional de Estadística. Julio 1981.
- 19.- "ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO -
DE LA CIUDAD PIURA-CASTILLA".
OSASA. 1982.
- 20.- "ESTUDIO DE DRENAJE DE LA CIUDAD DE PIURA".
CENDRET. Convenio Perú-Holanda. 1968-1970.
- 21.- "ACCION DE APOYO A LAS FAMILIAS DAMNIFICADAS DE LA PROVINCIA DE PIURA".
Comisión de Población y Salud. Concejo Provincial de Piura.
Octubre 1983.
- 22.- "PROYECTO DE EMERGENCIA - ALCANTARILLADO - PIURA CASTILLA".
Oficina de Diseño. SENAPA - Lima. 1984.
- 23.- "ESTUDIOS PARA LA EVACUACION DE AGUAS PLUVIALES PARA LA CIUDAD DE PIURA".
Colegio de Arquitectos del Perú, Filial Regional Norte de Piura-Tumbes.
Concejo Provincial de Piura. 1983.
- 24.- "ANTEPROYECTO PARA EL ENCAUZAMIENTO DEL RIO PIURA EN EL TRAMO URBANO DE
LA CIUDAD DE PIURA".
Cesar Fuentes Ortiz Ingenieros S.A. CORPIURA. 1983.

- 25.- "PLAN REGULADOR DE SULLANA"
Oficina Nacional de Planeamiento y Urganismo. Concejo Provincial de Sullana. Noviembre 1968.
- 26.- "PLAN REGULADOR DE SULLANA"
Dirección General de Desarrollo Urbano, Ministerio de Vivienda. Concejo Provincial de Sullana. 1972.
- 27.- "RESUMEN DEL SISTEMA DE AGUA Y ALCANTARILLADO DE SULLANA".
Oficina de Administración. SENAPA-Sullana. 1983.
- 28.- "ESTUDIO DE EVACUACION DE AGUAS PLUVIALES DE SULLANA-BELLAVISTA".
Cesar Lama Consultores Asociados SRL., Kuroiwa-Kogan + Arqs. + Ings.--
Asoc. SRL. Concejo Provincial de Sullana 1984.
- 29.- "RESUMEN CLASIFICADO DE LA RED VIAL DEL DEPARTAMENTO"
M.T.C. Piura 1983.
- 30.- "LA INGENIERIA DE SUELOS EN LAS VIAS TERRESTRES".
Alfonso Rico y Hermilio del Castillo. Ed. LIMUSA.
- 31.- "HUAYCOS Y ALUVIONES UNA REALIDAD NACIONAL AUN NO COMPRENDIDA".
Ingº Alberto Martinez Vargas. L.g.g.a 110. 1982.
- 32.- "DRENAJE EN LAS VIAS DE TRANSPORTE".
Ingº Enrique Baldwin Ponte. Apuntes de clase.
- 33.- "PROYECTO DE RECONSTRUCCION DE LOS VALLES CHIRA Y PIURA".
Ministerio de Agricultura. Región Agraria II Piura.
Expediente técnico de obras de 1983.
- 34.- "DAÑOS OCASIONADOS EN LA PRESA DERIVADORA LOS EJIDOS"
C-I.S.L. Proyecto Chira-Piura. Junio 1983.
- 35.- "EVALUACION DEL CANAL DE DERIVACION CHIRA-PIURA".
Ingº Carlos Cruz Cabrera. Proyecto Chira-Piura.
Junio 1983.
- 36.- "INFORME PRELIMINAR RESUMIDO SOBRE LAS MEDIDAS DE PROTECCIONES CONTRA -
MAXIMAS AVENIDAS - RIO PIURA".
Prof. Dr. Ingº G. Garbrecht. Piura. Agosto 1983.
- 37.- "SISTEMA DE PROTECCION CONTRA LAS INUNDACIONES".
Dr. Ingº Nguyen Van Tuu. Piura. Agosto 1983.
- 38.- "COMPORTAMIENTO DE LOS DIQUES DEL VALLE DEL CHIRA"
C-I.S.L. Proyecto Chira-Piura. Julio 1983.

- 39.- "DAÑOS EN LOS DIQUES DEL BAJO PIURA".
C-I.S.L. Proyecto Chira-Piura. Junio 1983.
- 40.- "CATASTROFES NATURALES COMO PROBLEMA EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERIA NACIONAL"
Ingº Vidal Taipe Ramos. Julio 1982.
- 41.- ENTREVISTA, DR. ARQ. CESAR LAMA MORE
Cesar Lama Consultores Asociados SRL. Sullana. Lima 1984.
- 42.- ENTREVISTA, INGº PEDRO CORREA.
Oficina de Administración. SENAPA - Sullana, Mayo 1984.
- 43.- ENTREVISTA, INGº JORGE DIAZ.
Oficina de Diseño. SENAPA - Lima. 1984.
- 44.- ENTREVISTA, ARQ. MELVIN D. MARCELO CASTILLO.
Colegio de Arquitectos del Perú, Filial Piura-Tumbes. 1984.
- 45.- ENTREVISTA, INGº ABRAHAM RODAS MONSEFU.
Campamento La Unión. Proyecto Chira-Piura. Junio 1984.
- 46.- ENTREVISTA, INGº ALBERTO JOO CHANG.
Dirección de Operación y Mantenimiento. Proyecto Chira-Piura.
Mayo 1984.
- 47.- ENTREVISTA, INGº GROVER OTERO LIMA.
División de Hidrometeorología. Proyecto Chira-Piura.
Mayo 1984.