

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



***“ESTUDIO DE LOS EFECTOS DEL FENOMENO DE “EL NIÑO” 1997-98  
EN LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE TRAMO HUARMEY –  
PACASMAYO Y EN LA CIUDAD DE TRUJILLO”.***

**TESIS**

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO CIVIL**

**FELIX ANTONIO MENDOZA CALDERÓN**

Lima – Perú

**2004**

# Tabla de Contenido

<b>RESUMEN</b> .....	i
<b>CAPITULO I: GENERALIDADES</b> .....	1
1.1 INTRODUCCION.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.3 ALCANCES.....	3
<b>CAPITULO II: FENOMENO "EL NIÑO"</b> .....	5
2.1 CONCEPTO.....	6
2.2 INDICADORES DEL FENOMENO " EL NIÑO" .....	8
2.2.1 Temperatura Superficial del Mar(TSM).....	8
2.2.2 Índice de Oscilación Sur( IOS).....	12
2.2.3 Zona de Convergencia Intertropical(ZCIT).....	13
2.2.4 Profundización de la Termoclina.....	14
2.2.5 Variaciones en el Nivel del Mar.....	15
2.3 CRONOLOGIA Y EFECTOS DEL FENOMENO.....	16
2.3.1 Antecedentes y Cronología del fenómeno.....	16
2.3.2 El fenómeno de "El Niño" de 1982-83.....	18
2.3.3 El fenómeno de "El Niño" de 1997 - 98.....	21
2.4 CONCLUSIONES.....	24

## PRIMERA PARTE

Estudio de los Efectos del fenómeno de "El Niño" 1997-98 en la Carretera Panamericana Norte, Tramo Huarmey (Km. 247+000) – Pacasmayo (Km. 558+000).

<b>CAPITULO III: ASPECTO FISICO DEL TRAMO EN ESTUDIO</b> .....	27
3.1 UBICACION DEL PROYECTO.....	27
3.2 CARACTERISTICAS GEOMETRICAS Y TOPOGRAFICAS.....	32
3.3 GEOMORFOLOGIA.....	33
3.4 METEOROLOGIA.....	33
3.5 OBRAS DE ARTE Y DRENAJE.....	35
3.6 CONCLUSIONES.....	42
<b>CAPITULO IV: ESTUDIO DE LOS EFECTOS DEL FENOMENO DE "EL NIÑO". EN LA INFRAESTRUCTURAVIAL</b> .....	43
4.1. ANTECEDENTES.....	43
4.2. ACCIONES DE PREVENCION ANTE LOS EFECTOS DEL FENOMENO DE "EL NIÑO" 1997-1998.....	44
4.3. EFECTO DEL FENOMENO DE "EL NIÑO" 1997-98.....	48
4.3.1 Introducción.....	48
4.3.2 Conceptos generales.....	48
4.3.2.1 Ciclo Hidrológico.....	48
4.3.2.2 Flujo de Quebrada.....	52
4.3.3 Efectos en la Vía.....	54
4.3.3.1 Efectos de las Lluvias en la Vía.....	54
4.3.3.2 Efectos de las Quebradas en la Vía.....	54
4.3.3.3 Efectos de las quebradas o ríos en Puentes.....	59

4.3.3.4	Efectos en la vía debido a Infiltraciones.....	61
4.3.3.5	Efectos de los deslizamientos.....	62
4.3.4	Evaluación de daños del Tramo en estudio.....	63
4.3.4.1	Tramo Huarmey - Ovalo Industrial de Trujillo.....	63
4.3.4.2	Tramo Ovalo Industrial de Trujillo - Pacasmayo.....	66
4.3.5	Determinación de los tramos críticos.....	74
4.4	<b>CONCLUSIONES</b> .....	76

## **CAPITULO V: MEDIDAS DE MITIGACION DE DESASTRES EN LOS TRAMOS CRITICOS..... 78**

5.1	<b>GENERALIDADES</b> .....	78
5.1.1	Causas de los diversos tipos de daños.....	79
5.1.1.1	Causas de la erosión, por efecto de quebradas.....	79
5.1.1.1.1	Causas de la Erosión Local.....	80
5.1.1.1.2	Causas de la Erosión Transversal.....	80
5.1.1.1.3	Causas de la Erosión Regresiva.....	80
5.1.1.1.4	Causas de la Erosión Lateral.....	81
5.1.1.1.5	Causas de la Erosión General.....	81
5.1.1.2	Causas de la Infiltración.....	81
5.1.1.3	Causas de los Deslizamientos.....	81
5.1.1.4	Causas de la erosión laminar.....	81
5.1.2	Medidas correctivas a los diversos tipos de Efectos.....	82
5.1.2.1	Materiales para el control de erosión y sedimentación.....	82
5.1.2.2	Medidas Correctivas.....	88
5.1.3	Criterios de diseño para estructuras de cruce.....	95
5.2	<b>DESCRIPCION DE LOS EFECTOS EN LOS TRAMOS CRITICOS</b> .....	106
5.2.1	Tramo vía de Evitamiento de Trujillo.....	106
5.2.2	Tramo Chiclin - Puente Careaga.....	113

5.2.3	Sector la Arenita.....	115
5.2.4	Tramo el Chilco.....	115
5.3	<b>LINEAMIENTOS PARA LA MITIGACION DE DESASTRES EN LOS TRAMOS CRITICOS.....</b>	119
5.4.1	Tramo vía de Evitamiento de Trujillo.....	119
5.4.2	Tramo Chiclin - Puente Careaga.....	123
5.4.3	Sector la Arenita.....	124
5.4.4	Tramo el Chilco.....	125
5.4	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	128
5.4.1	Conclusiones.....	128
5.4.2	Recomendaciones.....	129

## **SEGUNDA PARTE**

### **Estudio de los Efectos del fenómeno de “El Niño” 1997-98 en la Ciudad de Trujillo.**

	<b>CAPITULO VI: EFECTOS DEL FENOMENO DE “EL NIÑO” EN LA CIUDAD DE TRUJILLO.....</b>	131
6.1	<b>DESCRIPCIONES GENERALES.....</b>	131
6.1.1	Localización.....	131
6.1.2	Población.....	133
6.1.3	Geografía.....	134
6.1.4	Clima.....	134
6.1.5	Antecedentes de desastres por Inundación en la Ciudad.....	136
6.2	<b>CARACTERISTICAS FISICAS.....</b>	139
6.2.1	Características físicas de la Ciudad.....	139
6.2.1.1	Topografía.....	139
6.2.1.2	Geomorfología.....	141
6.2.1.3	Geología Regional y del Área de Trujillo.....	145
6.2.1.4	Mecánica de Suelos.....	149
6.2.1.5	Características Hidrológicas.....	152

6.2.1.6	Hidrogeología.....	152
6.2.2	Sub -Cuencas de las Quebradas, San Idelfonso, León, Encantada y Río Seco.....	153
6.2.2.1	Quebrada San Idelfonso.....	153
6.2.2.2	Conjunto de Quebrada Río Seco, León y Encantada.....	155
6.3	<b>GEODINAMICA EXTERNA.....</b>	158
6.3.1	Inundación por Activación de Quebradas.....	158
6.3.2	Acción Dinámica del Río Moche.....	160
6.4	<b>MEDIDAS DE PREVENCION PARA MITIGAR LOS EFECTOS DEL FENOMENO DE “EL NIÑO” 1997-98.....</b>	161
6.4.1	Estrategias y Acciones de Prevención.....	161
6.4.2	Principales Obras de Prevención realizadas para Mitigar los Efectos del fenómeno de “El Niño” 1997-98.....	164
6.4.2.1	Condiciones de las Quebradas León y Río Seco antes del Evento de “El Niño”.....	164
6.4.2.2	Obras en la Quebrada León y Río Seco.....	166
6.4.2.3	Condiciones de la San Idelfonso antes del evento de “El Niño”.....	169
6.4.2.4	Obras en la Quebrada San Idelfonso.....	169
6.5	<b>EFECTOS DEL FENOMENO DE “EL NIÑO” 1997-98 EN LA CIUDAD DE TRUJILLO.....</b>	171
6.5.1	Evaluación de los daños Causados por el fenómeno de “El Niño” 1997 – 1998.....	171
6.5.1.1	Daños en el área Rural.....	171
6.5.1.2	Daños en el área Urbana.....	174
6.5.2	Efectos del fenómeno.....	179
6.5.2.1	Efecto de las Precipitaciones Pluviales.....	179
6.5.2.2	Efecto de la activación de quebradas.....	180
6.5.2.3	Efectos del Río Moche.....	183
6.5.3	Causas de los Efectos del fenómeno.....	185

<b>6.6 MEDIDAS DE MITIGACION</b> .....	194
6.6.1 Determinación de zonas afectadas por el fenómeno.....	194
6.6.2 Medidas Estructurales.....	197
6.6.3 Sistema de alerta.....	203
6.6.4 Planteamiento para la Expansión Urbana.....	205
6.6.5 Reducción de la Vulnerabilidad de la Infraestructura frente a las Inundaciones.....	209
 <b>CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	 212
6.1 CONCLUSIONES.....	213
6.2 RECOMENDACIONES.....	219
 BIBLIOGRAFIA.....	 223
 ANEXOS.....	 225

# RESUMEN

El Fenómeno de "El Niño" 1997-98 ocasiono daños de gran magnitud en el país, afectando las viviendas de los pobladores; tanto en sus servicios básicos, en sus cultivos, en los sistemas de riego y en sus vías de comunicación. Estos desastres naturales desencadenados en nuestro país, por las variaciones climáticas producidas por el fenómeno de "El Niño" 1997-98, que no fue algo nuevo, ni están únicamente relacionados con este fenómeno, a excepción de las lluvias en zonas áridas y desérticas de la costa norte. Los fenómenos climáticos como inundaciones, huaycos, deslizamientos y aluviones, son eventos naturales que se presentan cada año y con mayor frecuencia entre los meses de febrero y marzo en las cuencas hidrográficas del Perú. La presencia de "El Niño" ocasiona que estos mismos eventos varíen en cuanto a su intensidad y magnitud, haciéndose cada vez más severos, debido en gran parte al calentamiento global de la tierra y a la vulnerabilidad de nuestra sociedad.

En términos de cifras, las evaluaciones realizadas por las diversas instituciones autorizadas, fueron muy costosas en vidas humanas e infraestructura; pero la que más afectan al país son las vías de comunicación terrestre, reales arterias de un país. Debido a la importancia de las vías y a las experiencias sobre lo que sucedió en el año 1997 -98, y concientes de la problemática de la carretera Panamericana Norte, se suscribió un convenio entre el Sistema Nacional de Mantenimiento de Carreteras (SINMAC) del Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción (MTC) y el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), para elaborar el proyecto "Estudio Complementario y Medidas de Mitigación de los efectos del fenómeno de "El Niño" 1997-98 en el tramo Huarney – Aguas Verdes, de la carretera Panamericana Norte.

La presente Tesis forma parte del proyecto de investigación dentro del tramo, siendo "Huarney – Pacasmayo" con una Longitud de 418 Km, y la ciudad de Trujillo.

Los objetivos generales de la presente Tesis son:

- Estudio de los Efectos del fenómeno de "El Niño" 1997-98 en la carretera Panamericana Norte en el Tramo Huarney - Pacasmayo, para luego dar las medidas de mitigación en el tramo más crítico: Trujillo-Pacasmayo.
- Estudio de los Efectos del fenómeno de "El Niño" 1997-98 en la ciudad de Trujillo, para adoptar también las medidas de mitigación más adecuadas.

El siguiente trabajo de investigación consta de: una introducción al fenómeno de "El Niño", una primera parte que abarca el tramo de la Carretera Panamericana Norte desde

Huarmey hasta Pacasmayo (Km. 250+000 – Km. 668+000) y finalmente una segunda parte que contempla la ciudad de Trujillo.

**En los dos primeros capítulos**, se hace una descripción de las generalidades y luego se procede a estudiar el fenómeno de "El Niño" como un evento natural, de manera que podamos entender y darle la importancia de este, en la zona de estudio. Además se esboza los fundamentos teóricos correspondientes a dichos problemas.

**En la Primera parte**, se desarrollan los estudios correspondientes al tramo de la Carretera Panamericana Norte, Huarmey – Pacasmayo (Capítulos III, IV, V), siendo el desarrollo la siguiente: Descripción del Aspecto Físico del Tramo, Efectos del fenómeno en la vía y finalmente se plantean las Medidas de Mitigación en los tramos Críticos.

En cuanto a la **descripción física del tramo Huarmey –Pacasmayo**, la carretera Panamericana Norte es de primer orden, por sus características geométricas de diseño y su importancia dentro de la Red Vial Nacional; se desarrolla dentro de un área de topografía predominante plana, típico de nuestras costas, con tramos puntuales de terreno ondulado - accidentado.

Hidrográficamente, la ruta es atravesada por cursos de agua de régimen estacional marcados con períodos de avenidas y estiaje, como en toda la costa peruana; encontrándose los ríos Huarmey, Culebras, Río Seco, Casma, Sechin, Nepeña, Lacramarca, Santa, Chao, Virú, Moche y Chicama que drenan elevados volúmenes de agua en épocas de avenida, y muy escasos o nulos en épocas de estiaje a excepción del río Santa. Así mismo las quebradas que atraviesan el alineamiento de la carretera Panamericana Norte en el tramo Huarmey - Pacasmayo no cuentan con registros de caudales. Esta situación se da por tratarse de cuencas pequeñas cuya área no supera los 80km<sup>2</sup>, con excepción de la quebrada Cupisnique que tiene un área de cuenca de 555km<sup>2</sup>.

En lo que respecta a los **Efectos del fenómeno de "El Niño" en la vía** que generaron grandes pérdidas para el país, se procedió a estudiarlos. Para ello se contó con la colaboración del Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción. De esta manera se realizó el estudio que consistió en una primera etapa; en la evaluación de la carretera, aplicando la metodología de los tipos de daños que fueron clasificados de acuerdo a los agentes: a) Efecto de las quebradas ó ríos en el terraplén. b) Efecto de la quebrada en alcantarillas y pontones. c) Efecto de los ríos o quebradas en puentes. d) Efecto de las infiltraciones o formación de lagunas. e) Efectos de las lluvias en la vía.

Mediante la evaluación del tramo Huarmey - Pacasmayo nos sirvió para determinar las zonas afectadas por el fenómeno, como son: El Gramadal, Las Zorras, Huarmey, San Miguel,

Huambacho, Lacramarca, y Coshco en el departamento de Ancash; y en el departamento de la Libertad, Coscomba, Moche, Vía de Evitamiento de Trujillo, Chiclin - Puente Careaga y el Chilco. Además se observó que este “nuevo” Niño ha causado “viejos” desastres a lo largo de la carretera Panamericana Norte. Se apreció alcantarillas colmatadas; destrucción total y parcial del pavimento y de alcantarillas, falla en las protecciones de los taludes de terraplén, erosiones en losas de fondos. Así mismo se observó que la carretera cruza varias quebradas que forman parte de la red de drenaje natural. Estas quebradas al activarse afectaron a la carretera Panamericana Norte, las cuales fueron: El Cupisnique, León, La Arenita, Río Seco de Jaupa, Uripe etc. Siendo la primera y segunda quebrada que produjeron los mayores estragos a la vía. Estas permanecen secas durante grandes períodos, pero cuando se activan transportan grandes flujos de sedimentos afectando a la vía y sus componentes.

Luego de la evaluación y recopilación de datos se procedió al análisis de los mismos, los cuales nos mostraban las características de los problemas presentados en la vía, es decir, tramos afectados por erosiones longitudinales, generales, laminares, regresivas e infiltraciones. Las causas son múltiples como: aumento del caudal con flujo torrencioso en las quebradas, ensanchamiento y profundización de quebradas, flujo de material de arrastre y palizadas, erosión por escorrentía en los taludes debido a que llovía en el mismo lugar afectado, falta de protección de taludes en terraplenes, entre otros. El resultado del análisis de la evaluación dan al tramo Trujillo – Pacasmayo con el mayor porcentaje de daños y al que se denominó como tramo crítico; y en el cual están inmersos los tramos intermedios: Vía de Evitamiento de Trujillo, Chiclin - Careaga, Sector La Arenita y El Chilco. Enseguida se procedió a describir los diversos problemas y los agentes que provocaron que estos tramos fueran severamente afectados; para que finalmente se plantee los lineamientos de mitigación de desastres que permitirán la reducción de los efectos ante futuros embates del fenómeno.

**De los planteamientos de Medidas de mitigación,** se determinó que los efectos en el tramo de estudio se debieron a: Flujos de quebradas, Crecidas de ríos (desbordes) y a las precipitaciones pluviales en la vía; por lo que se propuso medidas como:

- Elevar el nivel de la rasante de la vía, es decir variando las pendientes longitudinales dentro de las normas permitidas, de este modo se logrará incrementar la altura de la estructura de drenaje y por consiguiente mayor área de sección hidráulica lo que permitirá el paso de los flujos por ella; así como para evitar que los flujos superen al terraplén y provoquen su colapso.
- Evitar el uso de alcantarillas y pontones de celdas múltiples ya que obstaculizan el paso de los flujos.
- Protección de los taludes del terraplén ya sea con enrocado, concreto ó con Geoceldas con incorporación de suelo vegetal.

- Protección de las márgenes de los ríos con enrocados, muros de concreto ó Geobolsas, para evitar los desbordes e inundaciones.

**En la segunda parte** nos avocamos a los estudios en la **ciudad de Trujillo** (capítulo VI) siendo estos los siguientes: Aspecto Físico, Evaluación de los efectos del fenómeno, y por último se plantea las medidas de mitigación mas adecuadas. Para ello se recopilo la información de las entidades como INDECI, Municipalidades, CTAR, Proyecto Chavimochic, diario La Industria. Esta información nos permitió conocer los efectos y los agentes que provocaron los desastres en la ciudad, así como también evaluar el comportamiento de las obras de prevención realizadas.

**Del Aspecto Físico**, el área geográfica que ocupa la ciudad se encuentra ubicada entre las cotas 15 y 40 m.s.n.m. y en promedio 24 m.s.n.m; presenta una pendiente relativamente moderada que favorece la evacuación de las precipitaciones y los flujos de de las quebradas hacia el mar. En cuanto a la periferia urbana, en cambio, el área que sirve de asiento a los Pueblos Jóvenes, muestra una topografía variada con pendientes pronunciadas, pues ocupa las faldas de los cerros " El Presidio " y " Cabras " principalmente.

El subsuelo en Trujillo consiste básicamente de depósitos de arena suelta a medio densa. Los espesores de las capas en general aumentan en dirección al mar. El nivel freático varía con la topografía.

Por otro lado presenta una expansión desordenada en algunos sectores, como es el caso del sector del Porvenir, donde el cauce de la quebrada San Idelfonso, se encuentra urbanizado quedando como única vía de evacuación de los flujos de quebrada la Av. Hipólito Unanue.

En cuanto a la **Evaluación de los Efectos del Fenómeno de "El Niño"**, en la ciudad se debieron a las precipitaciones pluviales, flujos de quebradas y desbordes de ríos. Estos efectos provocaron daños en el área rural como son: daños en los cultivos, daños en las tierras de cultivo por inundación, daños en obras de infraestructura mayor y menor de riego y drenaje. En el área Urbana se dieron en: Las viviendas, en el pavimento, en el sistema de alcantarillado y en la infraestructura educativa.

Los daños en el área rural se debieron a los desbordes del río Moche que afectaron las áreas agrícolas, la población adyacente a ella así como a la Carretera Panamericana. Estos desbordes se debieron a las precipitaciones pluviales intensas, que originaron grandes caudales y que parte de ese volumen fue también por el aporte de la activación de las quebradas que desembocan en este río, siendo el caudal máximo estimado según la estación de Aforo que se encuentra en Poroto en el mes de marzo de 1998 fue de 1000 m<sup>3</sup>/s (Dirección

Regional de Agricultura). Estos desbordes comprometieron seriamente el cauce del río Moche, afectando a las poblaciones de la parte baja la Campiña de Moche y las Instalaciones de la zona Industrial Salida a Moche.

En lo que respecta al área urbana de Trujillo, las zonas del Porvenir y Huanchaco fueron afectadas por los flujos provenientes de la quebrada San Ildelfonso y el conjunto de quebradas. León, Río Seco y Encantada, cuyos cauces desembocan en dichas localidades. Al generarse las inundaciones ocasionaron el humedecimiento de las edificaciones precarias en los A. A. H. H y el colapso del sistema de alcantarillado. Siendo el colapso del Dique de Mampuesto lo que ocasiono la inundación y desbordes en las zonas bajas, periféricas y centrales de la ciudad, generándose así una de las mayores destrucciones de los últimos años.

Los daños que se dieron fueron atenuados en parte debido a las medidas de prevención que se adoptaron antes del evento, a diferencia de que no se hubiere hecho nada. Dentro de esta medidas se contemplaban algunas obras a nivel de quebradas y de río; obras como los badenes en la quebrada León, que permitieron el paso de los flujos a diferencia de las alcantarillas y pontones de celdas múltiples que obstaculizaron el paso de estos, provocando de esta manera los desbordes e inundación en Huanchaco. En cuanto a las obras ejecutadas en la quebrada San Ildelfonso su función fue limitada, ya que al colapsar el primer dique ubicado aguas arriba (construido para retener los flujos a manera de huayco que podrían presentarse, que no se dio) generó un gran volumen de agua debido a que se represó en este lugar y que al fallar provocó una gran precipitación en contra de la población ubicada en su cauce provocando de este modo la inundación y destrucción de las viviendas y de los servicios del sector de río seco; y enseguida represarse nuevamente en el cementerio de Mampuesto durante dos días y luego provocar el colapso del terraplén que divide la parte alta y baja de la ciudad, provocando así la inundación de la parte baja de la ciudad. Las causas del colapso del terraplén de mampuesto se debieron a: falla en la cimentación, producto del humedeciendo y debilitamiento de las bases, a la insuficiente capacidad por medio de un tubo de 1m de diámetro interior para evacuar el agua represada hacia el canal la Mochica y al aumento de la presión del agua en los estratos subyacentes. Así mismo las obras de defensas de las márgenes en el río Moche (solo en algunos sectores) acompañado de la limpieza de los cauces y drenes aminoraron en parte un mayor desastre.

Es importante resaltar que la ruptura del dique de Mampuesto no es algo nuevo, también sucedió anteriormente, según Do Feijoo de Sosa en 1763, hace mención que producto del agua embalsada en el Mampuesto provocó la ruptura del dique en mención en 1728. Este mismo suceso ocurrió en 1891 y en este último evento de 1997-98.

**De los planteamientos de las medidas de Mitigación**, cabe recalcar que los lineamientos presentados son a nivel de sugerencias las cuales deberán ser motivos de estudios de tesis futuras; las cuales son:

❖ Zonificación de la ciudad clasificándolas por el grado de peligro.

❖ Medidas Estructurales:

**En la Quebrada San Idelfonso**

- Canalización para el transporte de los flujos provenientes de la Quebrada San Idelfonso.
- Protección del talud del terraplén de mampuesto.

**En el Río Moche**

- Protección de las Márgenes del río Moche en las zonas críticas

**En el área Urbana de la ciudad**

- Un sistema de Drenaje Pluvial sobre el trazo de los anillos viales exteriores de la ciudad.

❖ Sistema de Alerta

❖ Planteamiento para expansión Urbana.

Las medidas mencionadas y las que posteriormente se adopten, deberán contemplar los problemas siguientes: flujos de quebradas, Inundación por desborde de río y en menor intensidad el de las precipitaciones pluviales; lo que nos ayudará a estar mejor preparados ante futuros eventos de "El Niño".

De lo expuesto, mediante la presente tesis se espera contribuir al mejor conocimiento de las zonas sensibles o vulnerables, a peligros naturales, relacionado al aspecto de inundación y sus efectos debido al fenómeno de "El Niño", ya sea por activación de quebradas o por desborde de ríos. Estas zonas sensibles fueron ubicadas tanto en la carretera Panamericana Norte tramo Huarmey – Pacasmayo y en la Ciudad de Trujillo.

Asimismo, es importante resaltar que la presente tesis logra complementar la tesis que lleva por título "Microzonificación para la Prevención y Mitigación de Desastres de la Ciudad de Trujillo" (Edwin Romero UNI-Fac. Ing. Civil 1994), en el aspecto del peligro por inundación, donde la tesis mencionada analiza solamente aspectos relacionados al peligro sísmico y tsunamis. Dándose énfasis en este estudio al peligro por inundación debido al fenómeno de "El Niño" siendo estudiado sus causas y efectos en la ciudad de Trujillo, localizándose de esta manera, las zonas sensibles al peligro de inundación, para finalmente plantear los lineamientos de mitigación ante futuros eventos de "El Niño".

# *CAPITULO I*

## *GENERALIDADES*

### **1.1 INTRODUCCIÓN.-**

Cuando los fenómenos naturales, por sus efectos, sobrepasan los límites normales, causan destrucciones en las poblaciones y obras de infraestructuras; incluso pueden paralizar la actividad industrial y la economía de una Nación.

Nuestro país soporta graves consecuencias por la ocurrencia de estos fenómenos, debido a que nuestro territorio presenta zonas sensibles a fenómenos de geodinámica. Precisamente estas áreas de sensibilidad al recibir la acción del fenómeno de "El Niño" han producido inundaciones, deslizamientos, etc. en diversas áreas del país ocasionando pérdidas de vidas humanas y deterioro en la infraestructura económica y social.

Al respecto el fenómeno de "El Niño" se presentó mayormente en las zonas costeras, Yunga de la Libertad y Ancash, con temperaturas de mar ambientales altas, asociado a las precipitaciones pluviales en la zona andina. Esto generó el incremento del caudal en los ríos, como es el caso de los ríos: Huamey, Lacramarca, Moche y Chicama, que alcanzaron sus máximos niveles los cuales desbordaron e inundaron la vía y las zonas aledañas provocando su destrucción.

Así mismo la ocurrencia del fenómeno de "El Niño", ha permitido hacer notar la presencia de las formaciones geomorfológicas llamadas quebradas. Las cuales debido a las grandes precipitaciones produjeron flujos importantes en dichos cauces, normalmente inactivos, que descienden desde los cerros vecinos hacia la planicie aluvial, donde se ubica la infraestructura vial y los centros poblados. Las quebradas que presentan mayor riesgo de afectación, tanto por su

amplitud de su cuenca colectora como por su proximidad a centros poblados son las denominadas: El León, Río seco, Cupisnique.

Dada la proximidad de las vías a las quebradas y ríos, ya sean urbanas o carreteras, ferrocarriles y puentes, demuestran que son muy vulnerables debido a su ubicación; así como también al exceso de lluvia, a la escorrentía superficial, a las crecidas fluviales, al dinamismo de los ríos; y a diversos fenómenos de geodinámica externa como: aluviones, deslizamientos, derrumbes y avalanchas, y ciertamente a las acciones humanas.

Esta vulnerabilidad se ve agravada con la aparición eventual del fenómeno de "El Niño", que algunas oportunidades por su magnitud e intensidad adquiere las características de Meganiño, como lo hemos podido ver en el último evento del año 1997-98 donde se produjeron daños en la infraestructura vial de diversas ciudades y centros poblados; y en lo que respecta a carreteras, 880 km quedaron destruidos (115km correspondieron a carreteras asfaltadas, 394 a afirmadas y 334 a vías sin afirmar y trochas), además colapsaron 58 puentes y sufrieron daños otros 28 totalizando casi 5km de puentes fuera de servicio.

Los daños ocasionados a los diversos tramos de la carretera por efectos del fenómeno de "El Niño", ha quedado demostrado, que se debieron a la insuficiente capacidad de las estructuras de drenaje para evacuar los flujos generadas por las cuencas respectivas, es decir, por problemas de Hidráulica fluvial y no por problemas estructurales.

Como se ha podido ver las vías son severamente afectadas cada vez que se presenta el fenómeno de "El Niño"; y especialmente la Carretera Panamericana Norte, la vía de Interconexión más importante del país. En el último evento de fenómeno de "El Niño" la afectación de la Carretera Panamericana se extendió desde cientos de kilómetros desde Huarmey hasta Aguas Verdes, siendo la zona más afectada la ubicada entre Chiclayo y Tumbes.

De lo expuesto, el Fenómeno de "El Niño" y la Red vial del Perú, concitan gran atención de científicos y técnicos de nuestro medio. Se ha convertido en una necesidad el conocimiento de este fenómeno océano – atmosférico. Motivo por el cual el presente trabajo de investigación se centrará en estudiar sus efectos en la zona de estudio (Huarmey – Pacasmayo) y en dar los lineamientos para su prevención y mitigación de sus embates.

## **1.2 OBJETIVOS.-**

Mediante el presente trabajo de investigación, se tiene por objetivo estudiar y evaluar los diversos tipos de daños en la infraestructura vial: tramo Huarmey – Pacasmayo, asimismo, debido a la activación de quebradas y desbordes de ríos producto de las precipitaciones pluviales; evaluar los daños en la ciudad de Trujillo. El propósito general es dar los lineamientos de mitigación ante

futuros eventos del fenómeno de "El Niño" para la carretera Panamericana Norte y la ciudad de Trujillo.

### **Objetivos específicos en la Carretera Panamericana.**

- ◆ Conocer los factores meteorológicos - atmosféricos, que dieron origen a los desastres en la carretera Panamericana Norte.
- ◆ Mediante la evaluación, identificar las zonas específicas que han sido deterioradas o destruidas por efecto del Fenómeno de "El Niño" a lo largo de la carretera.
- ◆ Determinación de los tipos de fallas que más prevalecieron.
- ◆ Determinación de los tramos más críticos.
- ◆ Dar los lineamientos de solución en las zonas críticas y recomendar las medidas de mitigación, para la protección y mejoramiento de la infraestructura existente en dichas zonas.

### **Objetivos específicos en la ciudad de Trujillo.**

- ◆ Evaluación de daños ocasionados por el Fenómeno de "El Niño" 1997-98
- ◆ Evaluación y comportamiento de las obras de prevención.
- ◆ Determinación de los tramos más críticos.
- ◆ Dar las medidas de mitigación ante eventos futuros, a fin de reducir la vulnerabilidad de la infraestructura urbana.

## **1.4 ALCANCES DEL ESTUDIO.-**

En el siguiente estudio se contempla lo siguiente: El fenómeno de "El Niño", efectos del fenómeno en la Carretera Panamericana y efectos del fenómeno de "El Niño" en la ciudad de Trujillo.

Con respecto al fenómeno de "El Niño", se ha realizado un estudio amplio de manera que se pueda comprender la importancia de éste en la zona de estudio.

En cuanto al tramo, que es objeto del estudio, cabe recalcar que abarca dos departamentos: Ancash y la Libertad; por lo cual se dividió en dos sub -tramos los cuales son:

**Tramo I:** Huarney hasta Ovalo Industrial de Trujillo (del Km.250+000 al Km.558+000)

**Tramo II:** Ovalo industrial de Trujillo hasta Pacasmayo (del Km.558+000 al Km.668+000).

Para realizar el estudio de los efectos del fenómeno de "El Niño", en los tramos mencionados, en una primera etapa fue necesario la recopilación de la información correspondiente al tramo en mención, es decir: características físicas del tramo, antecedentes de evaluación de daños por efectos del fenómeno de "El Niño", Hidrología, etc. Esta información se encuentra en los estudios realizados por diversas empresas consultoras y constructoras, y que se encuentran en el archivo General del PER Y Planoteca del Ministerio de Transportes.

Además para la evaluación de daños en la carretera se ha basado en informes realizados por el Sistema de Nacional de Mantenimiento de Carreteras (SINMAC) del Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción (MTC) y complementados con trabajos de campo.

Las medidas de mitigación adoptadas se han determinado según el análisis realizado a los estudios citados.

Por otro lado, la ciudad de Trujillo, fue tema de nuestro estudio dado, que fue afectada por el Fenómeno de "El Niño". Por lo cual fue necesario recopilar información de diversas instituciones como CTAR (Consejo Transitorio de Administración Regional), Municipalidades, Proyecto Chavimochic, Inei y diario La Industria de Trujillo.

Con La información proporcionada por las instituciones mencionadas que consistió en lo siguiente: Aspecto Físico de la ciudad, Antecedentes del Fenómeno de "El Niño" en la ciudad, Evaluación de daños, Obras de Prevención; se procedió a su análisis para luego plantear las medidas de Mitigación ante futuros Eventos de "El Niño"

# *CAPITULO II*

## *FENOMENO DE "EL NIÑO"*

El Fenómeno de "El Niño" es una denominación adoptada por extensión de la Corriente del Niño, que es la corriente marina caliente que fluye de Norte a Sur, esto es de Ecuador hacia Tumbes que llega hasta Chimbote, donde se disipa el flujo y la temperatura. Entre sus características tenemos que además de su dirección, estas corrientes migran desde el mes de diciembre hasta mediados de marzo, cada año. Es una corriente caliente que eleva la temperatura del medio circundante generando copiosas lluvias, especialmente en nuestras serranías. Esta corriente fue descubierta por los pescadores piuranos, en tanto que la corriente fría del sur fue descubierta por Alexander Von Humboldt. Por iniciarse próxima a la Navidad, le dieron el nombre de Corriente del Niño.

El Fenómeno del Niño no tiene relación con la corriente, solamente son similares en el calentamiento anómalo del agua de mares y la atmósfera y con el desequilibrio total de la fisiografía terrestre.

De la corriente del Niño se sabe casi todo: dónde y cómo se genera, como fluye, que tiempo fluye, a temperatura se halla y como varía esa temperatura. En cambio, el fenómeno de "El Niño", la ciencia actual no ha logrado sustentar claramente este fenómeno.

De lo expuesto, para poder cumplir los objetivos de la presente tesis trataremos de definir este fenómeno considerando los avances en su conocimiento.

## 2.1 CONCEPTO.-

El fenómeno de "El Niño" es un evento natural oceánico – atmosférico. Se caracteriza, entre otros elementos físicos y atmosféricos, por un calentamiento intenso anormal de las aguas superficiales del mar frente a las costas del Perú y Ecuador y por los cambios climáticos que genera a nivel regional y global.

Así también el Ingeniero Julio Kuroiwa define fenómeno de El Niño "como un fenómeno Oceánico controlado por la atmósfera, y en última instancia por la actividad solar, aunque de manera tan complicada que la ciencia actual no ha logrado entender claramente. Los fenómenos más destructivos de los últimos décadas, que antecedieron al fenómeno de 1998, ocurrieron en 1972 y 1983 coincidiendo con periodos de máxima actividad solar que suceden en ciclos de 11 años, sin embargo la ausencia es más bien errática<sup>1</sup>."

Este fenómeno que según los últimos estudios, tiene implicancia global sobre la tierra afectándola entre 1/2 y 1/3 de la superficie. Así tenemos, que el más severo de la centuria hasta entonces conocido, el fenómeno de "El Niño" ocurrido entre 1982 y 1983, causó efectos desastrosos y cambios meteorológicos alrededor del mundo. El Total de daños fue estimado en 8 billones de dólares.

Por su singular ubicación geográfica relacionada con la zona de convergencia Intertropical (ZCIT) y con el frente Ecuatoriano Marítimo, el Perú se constituye en uno de los escenarios de los efectos del calentamiento del océano adyacente, al cual se le considera el Fenómeno "El Niño"<sup>2</sup>.

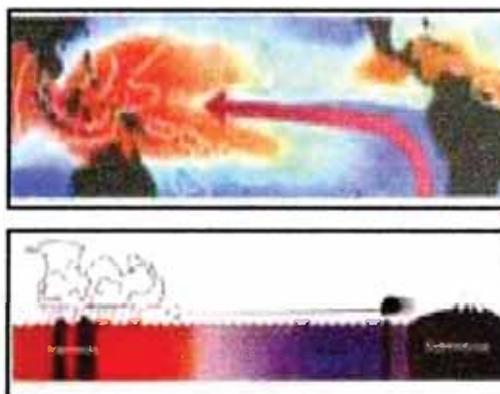
De los avances en su conocimiento podemos indicar que el fenómeno de "El Niño" se origina cuando cesan o se debilitan considerablemente los vientos Alisios en el Océano Pacífico Ecuatorial, por consiguiente el sistema global océano-atmósfera se altera dando inicio a dicho fenómeno.

En condiciones normales, el sistema de circulación de las aguas del Océano Pacífico está dominado por los vientos alisios que soplan con intensidad y en forma constante de América hacia el Asia generando corrientes marinas superficiales que fluyen en la misma dirección (ver fig. 2.1).

<sup>1</sup> KUROIWA H. Julio CISMID Lima, 1997

Las aguas superficiales que se dirigen hacia el Asia provienen de las frías aguas de la corriente peruana o de Humbolt. Durante su trayecto por la zona tropical, esta agua se calienta dando lugar a una concentración de aguas cálidas en las costas de Indonesia.

Mientras que los vientos alisios soplan en forma normal, el Océano Pacífico en la zona ecuatorial está en una posición de equilibrio, con una concentración de aguas cálidas en el oeste y de aguas relativamente frías en el este. Esto da lugar a la diferencia entre el clima seco propio de la costa del Perú y el húmedo y lluvioso de Indonesia.



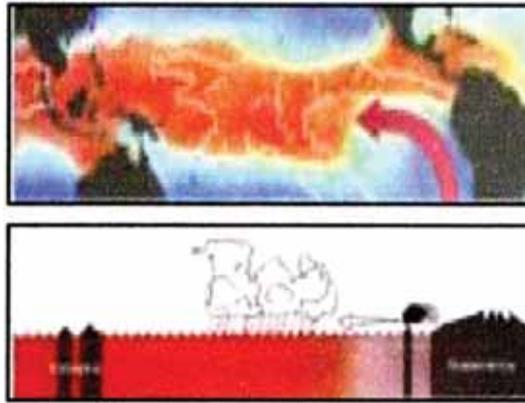
**Fig.2.1** Condición "No Niño". Las aguas más cálidas y las lluvias están alrededor de Indonesia. La presión atmosférica se mantiene en fase de Índice Alto.

Sin embargo, cada cierto numero de años y por razones que aún se desconocen, este equilibrio se altera por completo cuando se produce una disminución, la desaparición o la inversión en la dirección de los vientos alisios (ver fig.2.2).

Al disminuir en intensidad o desaparecer estos vientos, cambian la dirección de las corrientes superficiales y las masas de aguas cálidas acumuladas en la Costa del Asia se trasladan progresivamente hacia las costas de Sudamérica elevando el nivel del mar en esta región.

Durante la ocurrencia de este fenómeno se producen lluvias e inundaciones en la costa de Sudamérica, y sequías en las costas de Indonesia.

La intensidad y duración de este fenómeno produce alteraciones climáticas profundas que afectan todo el sistema ecológico de ambas regiones del Pacífico, y que alteran gran parte del clima de todo el globo terrestre.



**Fig. 2.2** Durante "El Niño" los vientos Alisios se debilitan y se mantienen la parte este del Pacífico, manteniendo templada su parte central; la precipitación migra hacia el este.

## 2.2 INDICADORES DEL FENOMENO DE "EL NIÑO"

Como resultado de las investigaciones coordinadas efectuadas a partir de 1983, la comprensión de la dinámica que produce "El Niño" y sus efectos, han permitido avanzar en ese sentido. De esta manera, se han establecido indicadores internacionales que los investigadores utilizan para realizar el seguimiento al fenómeno, entre los principales tenemos:

- ❖ Calentamiento de las aguas superficiales del mar.
- ❖ Índice de Oscilación Sur (IOS).
- ❖ Influencia de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT).
- ❖ La profundización de la Termoclina.
- ❖ Variaciones en el nivel del mar.

### 2.2.1 TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR

Como Indicador, la Temperatura Superficial del Mar se manifiesta por el calentamiento por encima de lo normal de las aguas superficiales. Las anomalías se obtienen de la diferencia entre la temperatura del día y la temperatura promedio de varios años de observación.

Para un mejor entendimiento acerca de las anomalías Woodman, nos da la siguiente ilustración: "El de considerar las anomalías en la misma forma que consideramos las líneas de fiebre en una persona. Cuando hablamos de fiebre decimos que una persona tiene 39 grados o decimos que tiene 2 líneas de fiebre. Las anomalías son las líneas de fiebre que tiene el mar en los diferentes lugares, pero a diferencia de un ser humano que siempre tiene 37° C como temperatura normal, la temperatura normal de la superficie del mar varía con el lugar y la estación del año.<sup>3</sup>"

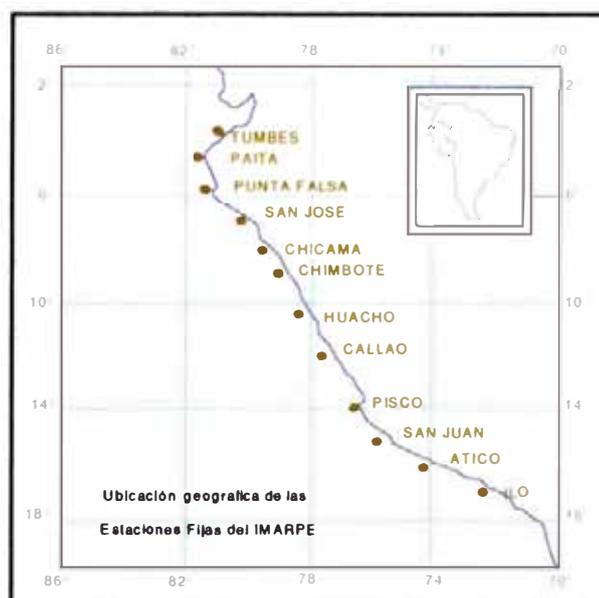
<sup>3</sup> Ronald Woodman, Pollit, "El Perú en los Albores del Siglo XXI/2." Lima 1998

En el ultimo evento de 1997-98, las anomalías positivas de 1.5°C a más de 4°C se extendieron a lo largo de las costas peruanas y Ecuatorianas, llegando hasta los 180° de longitud Oeste sobre el Océano Pacífico Ecuatorial, es decir a más de 10,000km. desde la costa, aproximadamente la cuarta parte del perímetro terrestre. El Niño ya dejó pues de ser algo que solamente los sechuranos y paiteños conocían. Hoy en día se le considera tal como en realidad es, como un fenómeno global.

Según anota **Woodman**, "basta un incremento anómalo de temperaturas de sólo 2°C para definir la presencia del fenómeno océano-atmosférico del Pacífico Sur, aunque débil. Puede calificarse como eventos "medianos" los que sobrepasan los 3 °C de anomalía, e "intensos" aquellos en que la temperatura superficial del mar muestra anomalías de más de 4 °C.<sup>4</sup> "

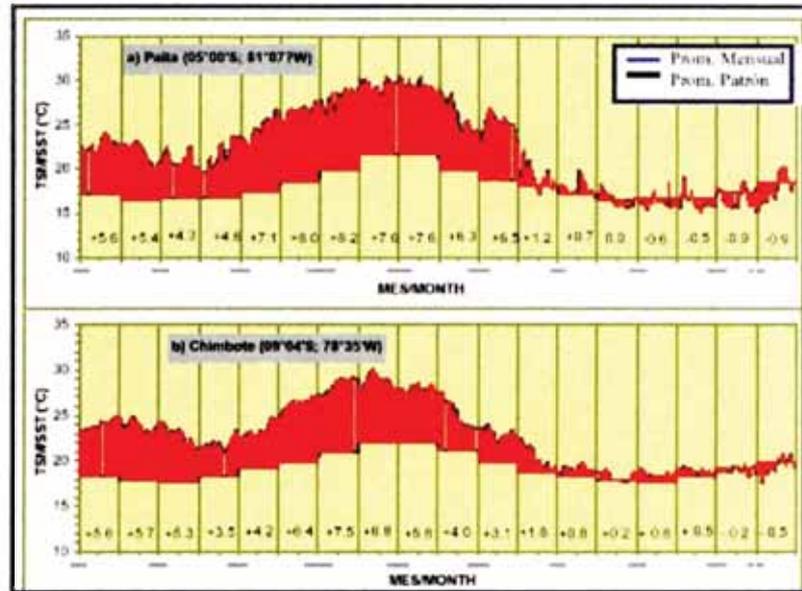
Los valores mensuales de la Temperatura Superficial del Mar fueron registrados en al red de laboratorios costeros de Imarpe, los cuales están ubicados en los Puertos de Tumbes, Paila, San José, Chicama, Chimbote, Huacho, Callao, Pisco e Ilo cuya ubicación geográfica se muestra en la fig.2.3

**Fig.2.3** Ubicación geográfica de las Estaciones Fijas de IMARPE.



<sup>4</sup> Ronald Woodman, Pollit, "El Perú en los Albores del Siglo XXI/2." Lima 1998

**Fig.2.4** Se muestra la serie de tiempo de la TSM en las estaciones costeras de Paíta y Chimbote, en las cuales se puede notar que la máxima temperatura se dio en los meses de febrero y marzo del 1998

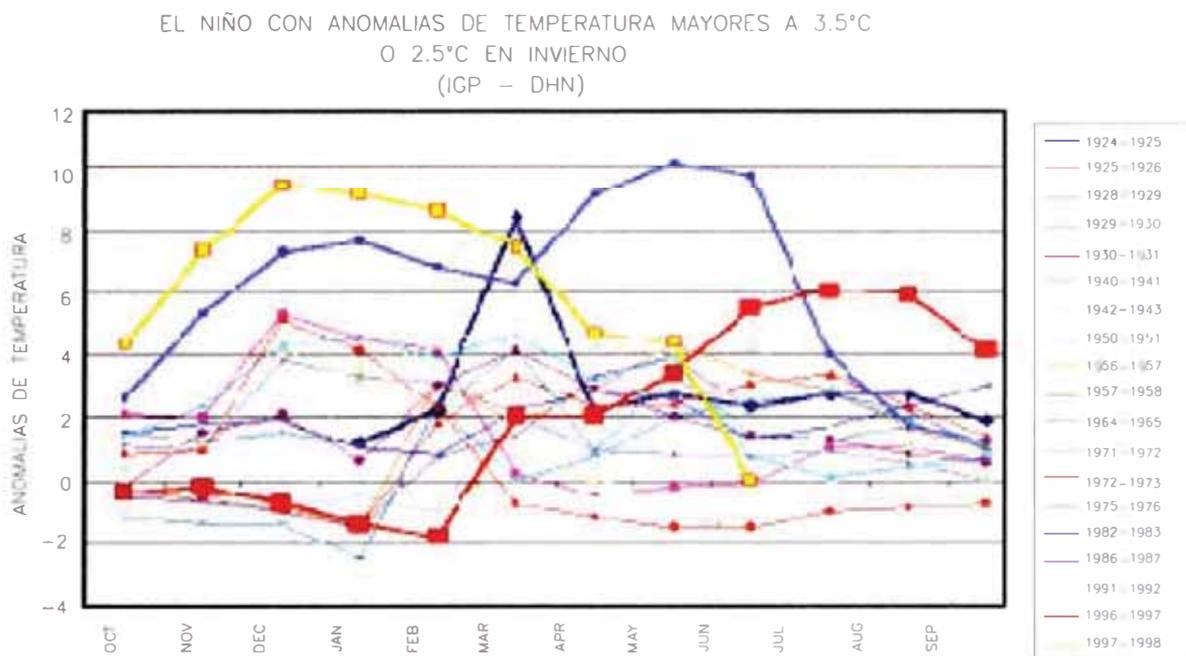


**Fig.2.5** Temperatura Superficial del Mar en Huanchaco, frente al área de estudio



Fuente: Dirección Regional de Agricultura

**Figura 2.6** Temperatura del mar en el puerto de Chicama durante los fenómenos de El Niño mas importantes de los últimos 75 años.



En la figura 2.6 se muestran sólo, por claridad, aquellos correspondientes a Niños importantes, aquellos que durante algún mes hayan sobrepasado los 3.5°C de anomalía, o 2.5°C en invierno. Se grafica el promedio mensual de la anomalía de la temperatura mes a mes. Notar que los gráficos se inician en octubre de un año hasta septiembre del año siguiente. En esta forma se muestra en forma continua y central la época más interesante del año que es el verano. Un año normal se muestra con valores cercanos al cero. La mayoría de los otros años que no se muestran aquí se mantienen dentro de un rango de más o menos 1 a 1.5°C. De los mostrados, aquellos que sobrepasan los 4°C podemos calificarlos como Niños intensos, y como medianos los que sobrepasan los 3°C.

También sobresalen en forma muy conspicua las temperaturas que tuvo el mar en Chicama el año 82-83 (en azul). Mientras las temperaturas de los Niños fuertes, como los correspondientes a los años 72, 87, el 92 y muchos otros que llegan a duras penas a los 4, a veces 5 °C, en abril de 1983 en Chicama la temperatura del mar excedió los 10°C por encima de lo normal, varias veces la anomalía en temperatura experimentada en muchos de los años que "El Niño" se hizo presente, incluyendo los que consideramos como El Niño fuertes. Otra temperatura que se destaca es la correspondiente al año 1925, año que hasta la ocurrencia de El Niño de 1983 rompía todos los records de lluvias en los recuerdos de nuestros mayores en la zona norte del país.

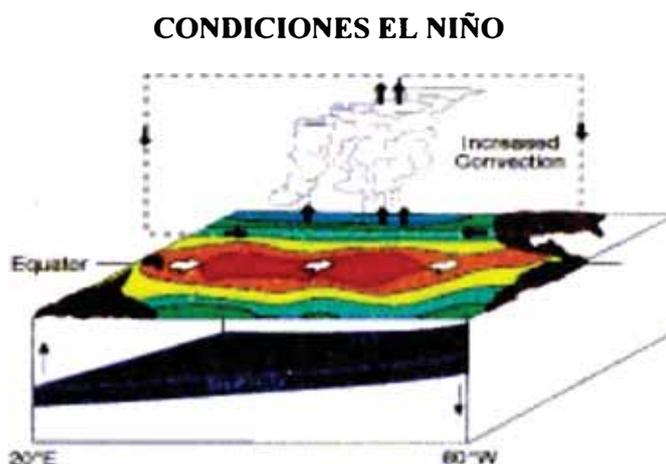
Además podemos apreciar en el gráfico que efectivamente el año 1925 fue un año excepcional, pero solamente por un mes, abril, donde las temperaturas alcanzaron los 8°C sobre lo normal. Abril fue efectivamente el mes más lluvioso.

## 2.2.2 INDICE DE OSCILACION SUR (IOS)

Este Índice indica la diferencia de presiones a nivel del mar entre un centro de alta presión ubicado en el Pacífico Ecuatorial central (Tahití) y un centro de baja presión ubicado en la costa norte de Australia (Darwin). Actualmente es uno de los indicadores más usados para cuantificar y predecir un ENOS ("El Niño", Oscilación del Sur). Valores negativos de este índice indican condiciones de Niño. Estos valores negativos del IOS, indican que los vientos Alisios del Sur y Sureste en el Pacífico Sur Oriental, frente a las costas de Perú y Chile se debilitan y en algunos casos colapsan, anulando al transporte de aguas frías (de Sur a Norte), que realiza la corriente peruana o de Humboldt, permitiendo la invasión de aguas calientes.

Cuando la presión atmosférica en el Pacífico Oriental (cerca de Tahití) tiene valores por debajo de lo normal, le corresponde valores por encima de lo normal a la región Occidental (cerca de Darwin). Esta situación está asociada con valores negativos de IOS. La débil presión cerca de Tahití sólo es capaz de producir vientos alisios ecuatoriales de Este a Oeste menos intensos que lo normal, lo cual es ilustrado en la figura 2.5

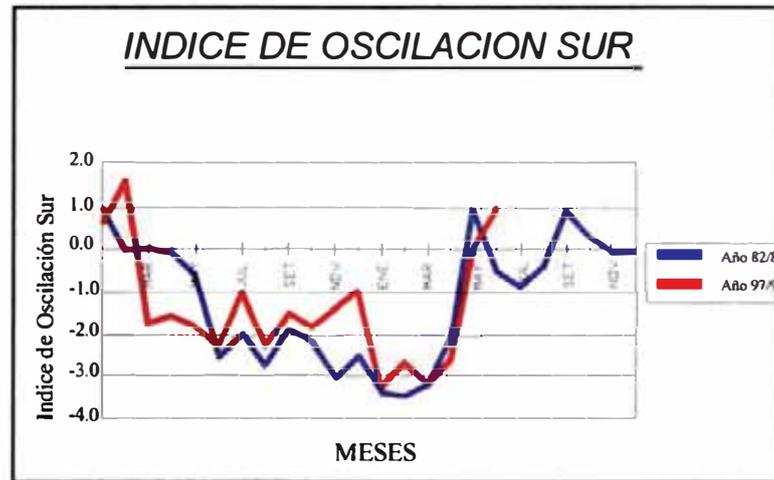
Fig. N°2.7



Además podemos enfatizar el hecho de que Tahití y Darwin tienen comportamientos opuestos. Estos son eventos contrarios, cuando Tahití colapsa se dan eventos "niños", y cuando Darwin colapsan son eventos "niñas" caracterizados por el enfriamiento de las aguas costeras.

En resumen, el colapso de las presiones atmosféricas en Tahití y el aumento de presión en Australia es típico de un evento de "El Niño". Este fenómeno se le denomina Oscilación Sur mientras que, el fenómeno de "El Niño" es un fenómeno local definido, y cuando, es asociado con el de oscilación del sur de mayor escala se le denomina "El Niño - Oscilación del Sur".

Fig. N°2.8



En el figura N° 2.8 se muestra la variación del IOS en los años 1982 - 83 y 1997 - 98, observándose que la anomalía del último evento empezó el mes de marzo de 1997 (-1.0 mm.b), sin embargo el de 1982 se inició el mes de junio (-2.5 mm.b).

Los valores negativos aumentaron con el pasar de los meses de 1982 y 1983. Similar situación ocurrió en 1997 con valores relativamente altos. En un mes, hubo un decaimiento muy brusco correspondiente al mes de julio de 1997(-1.0 mm.b), y los valores que continuaron en los meses siguientes fueron similares al de 1982, aunque en diciembre, mostró un debilitamiento del crecimiento del fenómeno llegando a -1.0 mm.b.

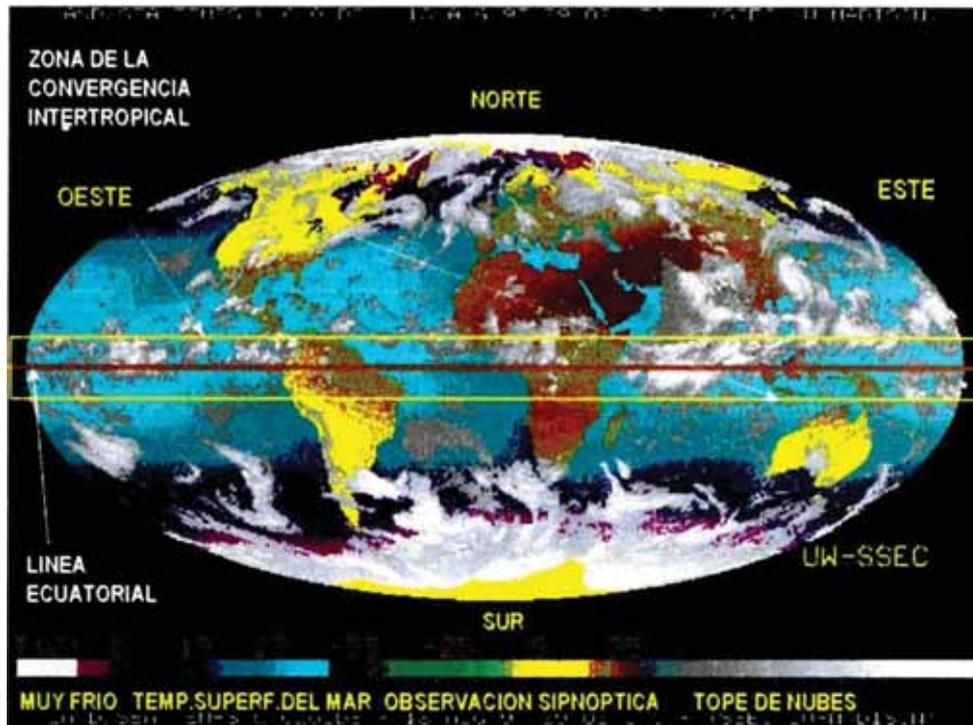
En enero de 1998, el fenómeno se acentuó llegando el índice a -3.3 mm.b mostrando anomalías típicas de un evento "El Niño" de intensidad FUERTE a MUY FUERTE, con manifestaciones específicas muy fuertes, con temperaturas de agua de mar elevadas, con sus anomalías más altas frente a la costa de Sudamérica (+8.0 °C); luego, fue variando en ese rango hasta el mes de abril, para decaer a 0.0 mm.b en el mes de mayo.

### 2.2.3 ZONA DE CONVERGENCIA INTERTROPICAL (ZCIT)

La ZCIT, Zona de Convergencia Intertropical, es la banda de perturbación tropical (alrededor del globo terrestre y próximo al Ecuador geográfico), caracterizada por la formación de grandes masas de nubes de desarrollo vertical, cúmulos cúmulo – nimbos, que son fuente de las precipitaciones torrenciales en la zona tropical. En el mes de agosto de 1997, la ZCIT, se ubico aproximadamente en al latitud de Colombia y Venezuela, para luego desplazarse hacia el sur, a las costas de Ecuador y costa norte del Perú.

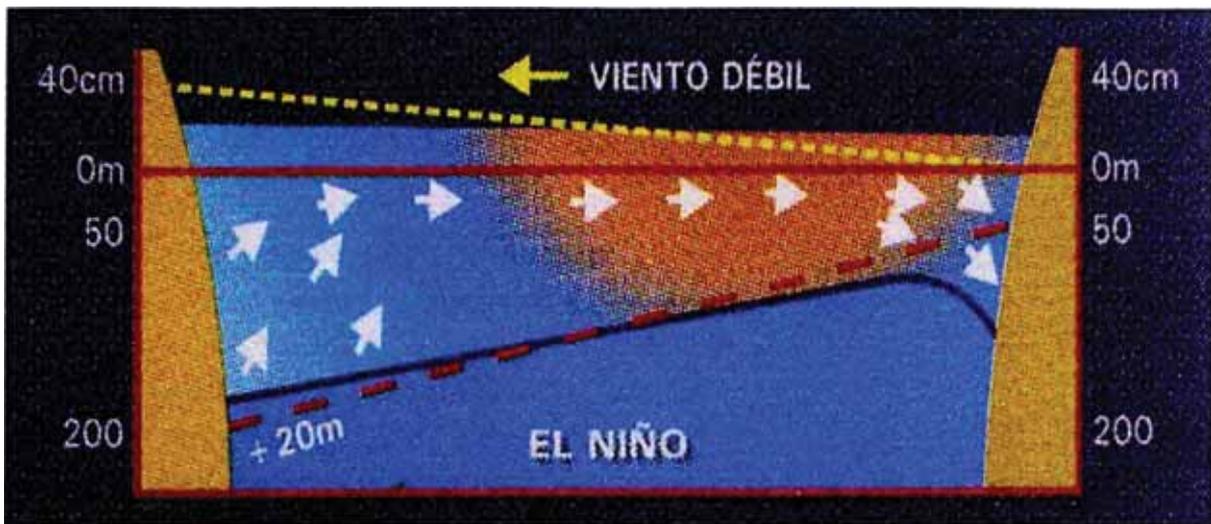
Este elemento atmosférico tiene especial importancia en el fenómeno de "El Niño", por su estrecha relación con las posibles e intensas precipitaciones, en combinación con las anomalías térmicas superficiales del Océano Ecuatorial.

Figura N° 2.9: Delimitación de la Zona de Convergencia Intertropical.



#### 2.2.4 PROFUNDIZACION DE LA TERMOCLINA.

Es la capa oceánica de transición entre la capa llamada de mezcla y la capa de agua profunda. La definición de estas capas está basada en su temperatura. La capa de mezcla se localiza cerca de la superficie, donde la temperatura se aproxima a la temperatura superficial. En la termoclina, la temperatura de la capa de mezcla baja bruscamente y alcanza la temperatura mucho más fría de la capa profunda. En otras palabras, tanto la capa de mezcla como la capa profunda son relativamente uniformes en temperatura; la termoclina representa la zona de transición entre ambas capas. Su espesor normal es de 30 a 50 m en la zona Ecuatorial frente a nuestras costas, pero con la evolución de las anomalías de la temperatura superficial del mar, se profundiza, habiéndose registrado durante el mes de julio del 97, profundidad próxima a 200 m. Lo que implica estimar un gran volumen de agua Oceánica anormalmente caliente, en la zona Ecuatorial del Pacífico y frente a nuestras costas.



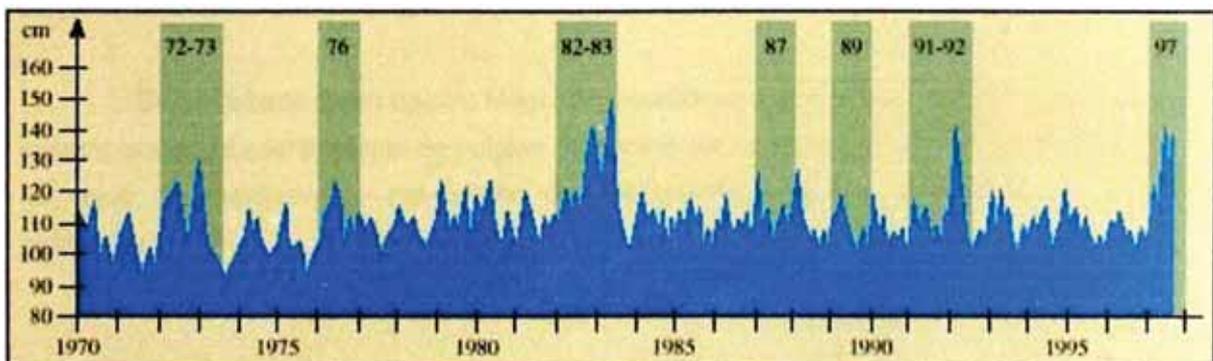
**Fig. 2.10** Cuando se manifiesta un período "El Niño", el nivel del mar aumenta en la costa Sudamericana y la termoclina se profundiza, como respuesta al debilitamiento de los vientos alisios.

### 2.2.5 VARIACIONES EN EL NIVEL DEL MAR.

Uno de los factores por los cuales el nivel del mar varía se debe a los desplazamientos de las aguas cálidas, en forma de ondas, aparentemente no en forma de corriente sino con cierto volumen.

Los niveles de mar son obtenidos en estaciones costeras con instrumentos llamados mareógrafos. En el Perú, la Dirección de Hidrografía y navegación de la Marina, es la responsable del control de estaciones mareográficas que están distribuidas en la siguiente forma: El Salto, Paita, Talara, Pimentel, Chimbote, La Punta (Callao) y Matarani.

En el evento de 1982/83 se produjeron los más altos registros del nivel del mar hasta hoy conocidos, tal como se muestra en la Fig. 2.11



**Fig. 2.11** Elevación del nivel medio del mar (Callao - Perú)

El Nivel Medio del Mar, registrado en las estaciones mareográficas a lo largo de nuestro litoral, después de haberse incrementado significativamente en el mes de Junio y Julio de 1997 +20cm, descendió paulatinamente hasta llegar en el mes de agosto a +17cm por encima de su nivel normal.

En el siguiente cuadro se muestra el comportamiento mensual del nivel del mar con anomalías promedio del mes, en la estación mareográfica de la Punta – Callao.

Cuadro : Variación del nivel mar (estación Callao)

MES	OCT 97	NOV 97	DIC 97	ENE 98	FEB 98	MAR 98	ABR 98	MAY 98
NIVEL(cm)	+26	+28	+39	+28	+18	+16	+15	+13

FUENTE IMARPE

## 2.3 CRONOLOGÍA Y EFECTOS DEL FENÓMENO

### 2.3.1 ANTECEDENTES Y CRONOLOGIA DEL FENOMENO

En lo que respecta a "El Niño", la Arqueología nos brinda informaciones de hace miles de años, que los datos empleados para la elaboración de proyectos civiles se basan en registros de 100 años <sup>5</sup>. Los efectos de los eventos del fenómeno "El Niño", han dejado huellas en nuestra historia, los arqueólogos investigan sus rastros en la geomorfología y en los monumentos arqueológicos.

Según los estudios arqueológicos, el Meganiño más antiguo se presentó entre los años 1700 a 1800 A. C, los testimonios de este evento quedaron registrados en el Monumento de Sechín, en el Valle de Casma, y, especialmente en las salinas de Chao, un extenso asentamiento precerámico de la misma época. Se encontraron construcciones afectadas y cauces en el desierto como evidencias de este desastre<sup>6</sup>.

Se ha hallado rastro de otro Meganiño ocurrido alrededor de los años 1200 a 1300 antes de nuestra era, en el asentamiento de pululen. Por entonces, en la desembocadura del Valle de Saña se ubicó un asentamiento pre-urbano de aproximadamente dos mil a dos mil quinientos habitantes.

<sup>5,6</sup> ALVA, WALTER. PREDES "Rescatar el Pasado para Prevenir el Futuro" Lima 1998

Como resultado del Meganiño algunos templos no se terminaron y los materiales de construcción fueron abandonados. Posteriormente, se descubrió que en la parte baja del valle ocurrió un cambio de cauce del río Saña, pues, se desplazó casi 5 km al norte, en consecuencia los campos de cultivo se quedaron sin sistema de riego, colapsando su base económica y obligándolos a volver de un patrón urbano a otro de aldeas dispersas.

Dos mil quinientos años después, otro Niño catastrófico volvió a inundar la zona, el pueblo tuvo que migrar mas al Norte. Luego en 1891, un Niño catastrófico los obligo nuevamente a desplazarse del lugar, esta vez no tanto por las lluvias si no por las plagas inmediatamente desatadas.

Entre los siglos II y III DC, poco antes del reinado del señor de Sipán, otro Niño fuerte afectó las paredes de las construcciones, asimismo, dejó una Capa de sedimento muy clara en los estratos.

A decir del arqueólogo Walter Alva, el Meganiño del año 1100 DC "fue el más destructivo de toda la prehistoria, quizá hasta el presente" Este Meganiño marcó la decadencia de la cultura Lambayeque, creadora de casi todas las manifestaciones las arquitectónicas de la Costa Norte y una de las más ricas del antiguo Perú. En aquella época los sistemas de riego fueron destruidos, los campos de cultivo quedaron arrasados y trajeron como consecuencia un arenamiento de los mismos. El desastre quedó tan marcado que pervivió en la leyenda de Naylamp, en la que se relata el diluvio de 30 días seguidos de una sequía.

En la época colonial, en el año 1578, otro "Niño" hace su aparición. Su registro queda evidenciado en los reclamos que hace las poblaciones indígenas ante la imposibilidad de pagar tributos a la corona, debido a la pobreza extrema en que vivían por la ausencia total de lluvias e inundaciones.

De esta manera, la historia nos enseña que el fenómeno de "El Niño", es un fenómeno recurrente que se presenta en periodos irregulares de tiempo y con características siempre cambiantes. Es decir no es ni cíclico ni periódico; es estocástico. Ocurre en cualquier momento, a veces con intervalos muy grandes y, otras veces, muy pequeños. No hay periodicidad ni ciclo alguno. El carácter estocástico del FEN tiene que examinarse desde el punto de vista de la Ingeniería y a la luz de la oceanografía, la meteorología y la hidrología.

Cada evento de "El Niño" presenta características diferentes, distinguiéndose las categorías de Niño Débil (ND) como en 1969, Niño Moderado (NM) Como en 1976, Niño fuerte o intenso (NI) como en 1972-73 y Extraordinario o Catastrófico (NE) como en 1982-83.

**CUADRO N°2 : RESUMEN CRONOLOGICO FENOMENO "EL NIÑO" 1700- 1997.**

	INTENSIDAD	AÑO
I	DEBIL	1932, 1951, 1963, 1969
II	MODERADO	1791, 1804, 1814, 1854, 1877/78
III	INTENSO	1828, 1845, 1871, 1940/41, 1957, 1958, 1978
IV	MUY INTENSO	1891, 1925
V	CATASTROFICO	1982 / 83, 1997/98

**2.3.2 EL FENOMENO "EL NIÑO" DE 1982-83.**

En el presente siglo en el Perú se han presentado dos niños de intensidades muy fuertes: en 1925 y en 1982-83. El Niño de 1982-83, sin embargo, ha sido catalogado como extraordinario, tanto por su intensidad como por su duración, 8 meses que produjo una alteración del clima en todo el mundo.

El Niño 82-83 produjo una secuela de efectos en toda la región tropical de la tierra que se reflejaron en pérdidas económicas del orden de 8000 millones de dólares tuvo un impacto tan fuerte en todo el mundo que dio lugar a un gran esfuerzo científico internacional que permite, hoy en día, a detectar la generación y evolución de este fenómeno.

Actualmente existen muchos modelos de predicción que permiten pronosticar con cierta anticipación, aunque con limitaciones, la evolución del fenómeno. Estos pronósticos pueden ser utilizados, con cautela debida, para prevenir los efectos de "El Niño" y planificar las actividades económicas con 3 a 6 meses de anticipación.

En el Perú este fenómeno será recordado como uno de los más devastadores, ya que afecto la pesquería, la agricultura y en especial la infraestructura de las ciudades del norte del país.

En el mapa que se adjunta, se indican las zonas afectadas y las pérdidas totales ocasionadas en la producción, infraestructura y áreas sociales que alcanzaron, en el Perú, los 1000 millones de dólares.

La población afectada ascendió a 6 millones de peruanos representando cerca de la tercera parte de la población nacional de 1983 estimada en 18 millones de habitantes.

El impacto económico de este desastre se reflejó en la disminución significativa del producto bruto interno que descendió hasta -12%. Estos daños condujeron a estancamiento en la actividad productiva, el deterioro del nivel de ingreso y calidad de vida de la población, el desabastecimiento de productos alimenticios, de bienes y de insumos básicos y la pérdida de empleos, entre otros.

La situación económica se agravó por la magnitud de los daños. La reconstrucción de las zonas devastadas por el fenómeno "El Niño" 82-83 ha tardado varios años y aún hay varias obras que no han concluido, el costo de la reconstrucción ha superado los 10 000 millones de dólares.

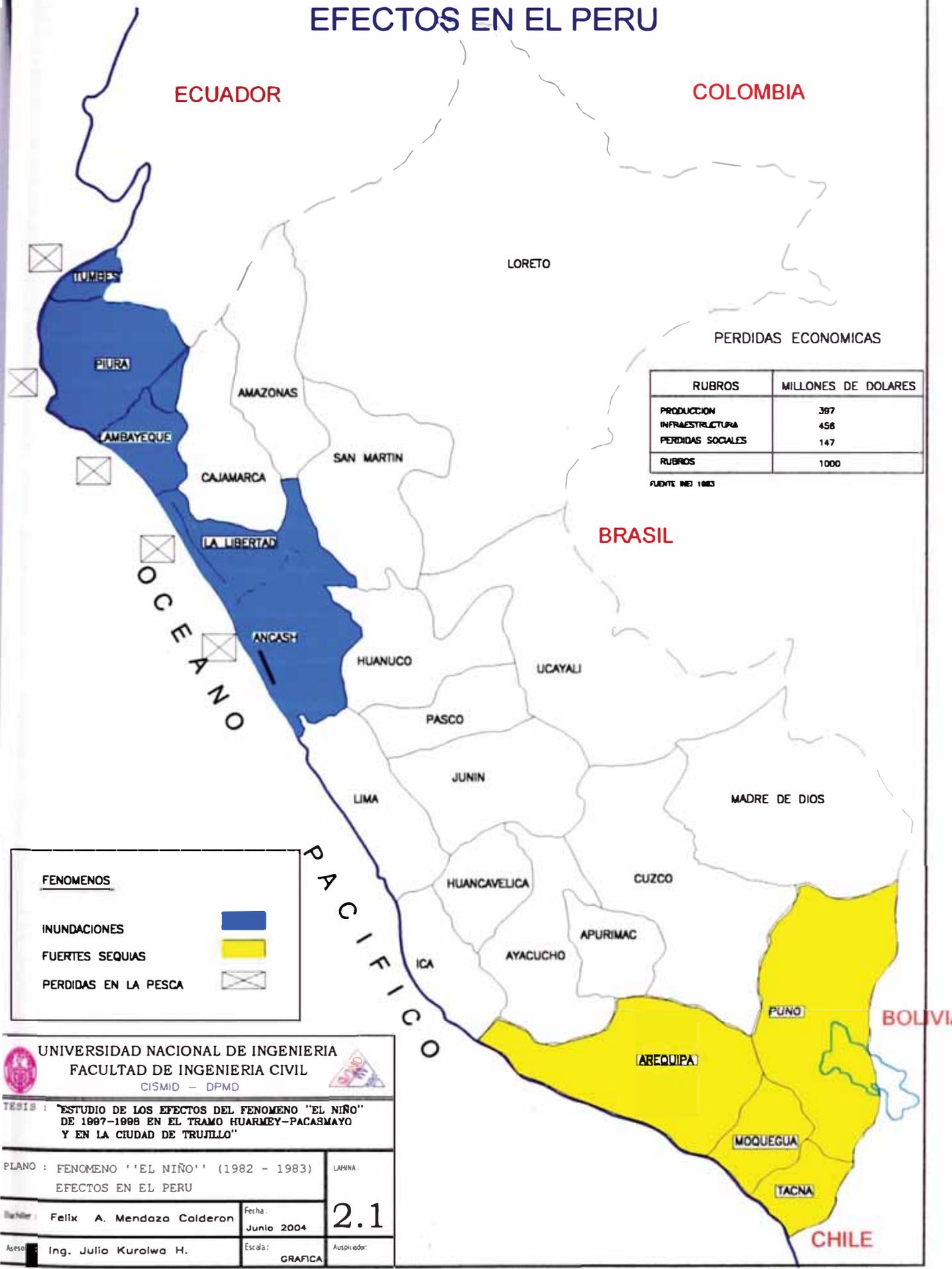
Por ello el fenómeno del 82-83 es considerado como un evento extraordinario que causó daños cuantiosos.

**CUDRO N°3: PERDIDAS ECONOMICAS**

<b>RUBROS</b>	<b>MILLONES DE DOLARES</b>
a) PRODUCCION	398
b) INFRAESTRUCTURA	456
c) PERDIDAS SOCIALES	147
<b>TOTAL DE PERDIDAS</b>	<b>1000</b>

# FENOMENO "EL NIÑO" 1982 - 1983

## EFFECTOS EN EL PERU



PERDIDAS ECONOMICAS

RUBROS	MILLONES DE DOLARES
PRODUCCION	397
INFRAESTRUCTURA	456
PERDIDAS SOCIALES	147
<b>RUBROS</b>	<b>1000</b>

FUENTE: INEI 1983

**FENOMENOS**

- INUNDACIONES
- FUERTES SEQUIAS
- PERDIDAS EN LA PESCA X

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
CISMID - DPMD

---

TESIS : "ESTUDIO DE LOS EFECTOS DEL FENOMENO "EL NIÑO" DE 1997-1998 EN EL TRAMO HUARMEY-PACASMAYO Y EN LA CIUDAD DE TRUJILLO"

---

PLANO : FENOMENO "EL NIÑO" (1982 - 1983)	LAMINA
EFFECTOS EN EL PERU	
Elaborador : Felix A. Mendoza Calderon	Fecha : Junio 2004
2.1	
Asesor : Ing. Julio Kuralwa H.	Escala : GRAFICA

### 2.3.3 EL FENÓMENO "EL NIÑO" DE 1997-98.

El fenómeno "El Niño" que afectó en el año 1997-98 la costa norte peruana, ha tenido características muy especiales que lo convierten en un "Niño" atípico.

A pesar de que no existen dos Niños iguales, todos tienen un mismo patrón de generación y evolución en el tiempo, sin embargo el fenómeno ocurrido en 1997 se desvió de este patrón, tal como se indica en el siguiente gráfico.

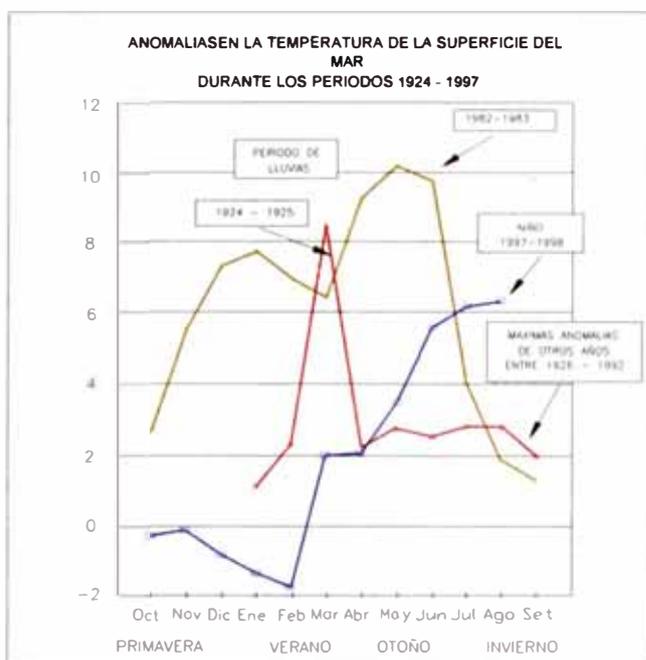


Grafico.2.2

Su gestación se remonta a fines de 1996 y se manifiesta abiertamente en mayo de 1997, se desarrollo durante el invierno y primavera del hemisferio sur para desencadenar finalmente las más intensas lluvias, crecidas de ríos e inundaciones durante el verano(diciembre a marzo 98). A partir de abril empezó a decrecer en intensidad y terminar en junio de 1998.

El Niño ha tenido un periodo de manifestaciones más extenso que el de 1982-83. Teniendo una duración de 14 meses (mayo 97 a junio 98), mientras que el anterior duró 7 meses(diciembre 82 a junio 83).

Algunos cambios climáticos no ocurrieron como exactamente como lo hablan previsto los expertos. Si bien llovió en la costa norte, incluso más de lo esperado, sin embargo, en la sierra no hubo sequía, llovió en cantidades suficientes para llevar adelante la campaña agrícola grande.

Las lluvias e inundaciones se concentraron en una primera etapa en los departamentos de Tumbes Piura y la provincia de Lambayeque, casi exclusivamente, los que fueron afectados continuamente. Podemos distinguir tres etapas en el proceso de afectación del fenómeno "El Niño".

a) **Primera Etapa.** (Entre el 15 de diciembre 97 y fines de enero 98)

Se iniciaron las lluvias y cayeron durante las primeras semanas casi exclusivamente sobre Tumbes, Piura y el norte de Lambayeque. En este período se produjeron los desbordes de los ríos Tumbes, Zarumilla, Piura, La Leche y Cascajal. No se desbordó el río Chira.

Según los Institutos Científicos, durante los meses de diciembre 97 y enero 98, llovió mucho más que en los mismos meses de 1982 - 83. En 1983 las lluvias se concentraron en marzo, abril y mayo.

Los mencionados departamentos estuvieron inundados todo el tiempo y el daño en las viviendas, cultivos e infraestructura básica y vial fue permanente y acumulativo. No fue un solo evento el que destruyó masivamente todo, sino que el total de daños es consecuencia de las continuas lluvias e inundaciones que fueron destruyendo las viviendas progresivamente por el efecto de la erosión y el remojo.

Hay zonas que estuvieron bajo el agua permanentemente, algunas de las cuales abarcaron barrios pobres con precarias viviendas, ahora desaparecidas. En muchos casos la vivienda, por su ubicación o por el tipo de uso, estaba asociada a la actividad económica de la familia.

Esta etapa se cierra con el desastre de Ica.

b) **Segunda Etapa.** (Entre febrero y marzo 98)

Las lluvias y desbordes de ríos abarcaron un territorio mayor dentro de la costa. Entre el 9 y 14 de febrero se inundaron tres grandes ciudades por eventos únicos que no se repitieron en los siguientes días. Estas ciudades fueron Trujillo, Chimbote y Chiclayo. El nivel de pérdidas en cada caso es comparable con las de Piura, y superó ampliamente las pérdidas de Tumbes. El impacto violento y catastrófico en dichas ciudades, no tanto porque en ellas se hubiese precipitado un diluvio mayor que en Piura y Tumbes, sino porque eran ampliamente más vulnerables que éstas.

En marzo los eventos que causaron mayor impacto fueron: la caída de tres puentes en la ciudad de Piura, donde murieron 20 personas y la caída de un avión que cumplía servicio especial de transporte de personas entre Tumbes y Piura, dado que la carretera estaba cortada desde febrero. Allí murieron 60 personas.

Este mes también se produjeron nuevos desbordes del río Rimac en Chosica y en Chaclacayo (Lima). Fue bastante notorio al aumento del número de huaicos en la sierra.

c) **Tercera Etapa.** (de abril del 98 a junio 98)

A partir de abril, las lluvias e inundaciones empezaron a disminuir de sur a norte. Para abril se produjeron aún lluvias en Piura y Tumbes pero caían con intervalos de tiempo más amplios. El caudal de los ríos en esos departamentos descendió, pero de vez en cuando sufría crecidas súbitas el río Tumbes durante ese mes.

Las estimaciones Económicas a consecuencia del fenómeno de "EL NIÑO" 1997-98 se presentaron cifras en diversos medios periodísticos, los cuales indican que las pérdidas económicas ascenderían a unos US \$ 2,000 millones (un 3% del PBI oficial de 1997). Dichas pérdidas se estimaron de acuerdo a las caídas de producción sectoriales (especialmente en los sectores primarios) y a la destrucción de infraestructura pública y privada.

## 2.3 CONCLUSIONES.

- El fenómeno de "El Niño" es un evento natural océano – atmosférico. Se caracteriza, entre otros elementos físicos y atmosféricos, por un calentamiento intenso anormal de las aguas superficiales del mar frente a las costas del Perú y Ecuador y por los cambios climáticos que genera a nivel regional y global.
- Se han hecho grandes avances científicos especialmente oceanográficos y meteorológicos para lograr su comprensión. Subsisten muchas dificultades científicas como tratar de desarrollar modelos que ayuden a comprender el fenómeno. Los modelos desarrollados, estadísticos y numéricos, especialmente por agencias de los Estados Unidos de América representan un buen avance, pero todavía no pueden explicar una realidad regional como en el Pacífico Sudeste. Aun más, dichos modelos han mostrado limitaciones para pronosticar los eventos de 1982-83 y el último de 1997-98.
- El Fenómeno "El Niño" no tiene relación con la corriente del Niño, solamente son similares en el calentamiento anómalo del agua de mares y la atmósfera y con el desequilibrio total de la fisiografía terrestre.
- Los principales indicadores oceanográficos, meteorológicos y atmosféricos con los cuales se puede caracterizar y tipificar técnicamente a un fenómeno de "El Niño" son:
  - Calentamiento en la Temperatura Superficial del Mar.
  - Índice de Oscilación Sur (IOS)
  - Influencia de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT)
  - La profundización de la Termoclina
  - Variaciones en el nivel del Mar
- Como Indicador, la Temperatura Superficial del Mar se manifiesta por el calentamiento por encima de lo normal de las aguas superficiales. Las anomalías se obtienen de la diferencia entre la temperatura del día y la temperatura promedio de varios años de observación.
- Durante la fase caliente del ENSO llamado "El Niño", la temperatura de la superficie del Mar es caliente, los vientos colapsan y los patrones de precipitación en la zona norte supera los valores normales.
- Basta un incremento anómalo de temperaturas de sólo 2 °C para definir la presencia del fenómeno océano–atmosférico del Pacífico Sur, aunque débil. Puede calificarse como

eventos "medianos" los que sobrepasan los 3 °C de anomalía, e "intensos" aquellos en que la temperatura superficial del mar muestra anomalías de más de 4 °C.

- La zona de Convergencia Intertropical es una banda de perturbación tropical, alrededor del globo terrestre y próximo al ecuador geográfico por la formación de grandes masas de nubes de desarrollo vertical, y que son fuentes de las precipitaciones torrenciales en la zona tropical. Este elemento atmosférico tiene especial importancia en el fenómeno de "EL NIÑO", por su estrecha relación con las posibles e intensas precipitaciones en combinación con las anomalías térmicas superficiales del Océano Ecuatorial.
- El Índice de Oscilación Sur indica la diferencia de presiones a nivel del mar entre un centro de alta presión ubicado en el Pacífico Ecuatorial central (Tahiti) y un centro de baja presión ubicado en la costa norte de Australia (Darwin). Actualmente es uno de los indicadores más usados para cuantificar y predecir un ENSO. Valores negativos de este índice indican condiciones de Niño.
- La Termoclina representa la zona de transición entre la capa llamada de mezcla y la capa de agua profunda. La definición de estas capas está basada en su temperatura. La capa de mezcla se localiza cerca de la superficie, donde la temperatura se aproxima a la temperatura superficial. En la termoclina, la temperatura de la capa de mezcla baja bruscamente y alcanza la temperatura mucho más fría de la capa profunda.
- Otro indicador es la variación en el nivel del mar, ocasionado por el desplazamiento de aguas cálidas en forma de ondas, aparentemente no en forma de corriente sino con cierto volumen.
- Las precipitaciones excepcionales en el norte del país, mas que un indicador es el efecto de la ocurrencia del fenómeno de "EL NIÑO", es decir su presencia es a consecuencia de que la ZCIT se acerca a esta parte del país, como la temperatura superficial del mar se eleva, la presión atmosférica disminuye por debajo de lo normal, por tanto las lluvias se intensifican, produciendo efectos devastadores en las diferentes infraestructuras de la ciudad y el campo.
- A "El Niño 1925", catalogado como uno de los más intensos, le sucedió "El Niño 1982/83"(calificado de Catastrófico), después de 57 años "El Niño 1997/98", posiblemente calificado como El Niño del Siglo, ha ocurrido 14 años después.
- En los típicos eventos "El Niño", el calentamiento anómalo de la temperatura superficial de agua de mar(TSM) empezaba en las costas del Perú y Ecuador (áreas de agua de fría) extendiéndose hacia el oeste, caso los eventos "Niños" 1957,1965,1968,1972,1976

y el último 1997/98. "El Niño 1982/83", rompió el esquema típico de estos eventos, el incremento de la temperatura del agua de mar comenzó a producirse en el Pacífico Ecuatorial Central (área donde el agua es más cálida) desplazándose hacia las costas de Perú y Ecuador.

- En el ámbito mundial, el año 1997, está catalogado como el más cálido en los últimos 100 años.
- El fenómeno "EL NIÑO" de 1997-98 considerado de fuerte magnitud, fue diferente al de 1983: en duración, intensidad y efecto. Los efectos en Agricultura, Pesquería e infraestructura civil fueron menores al de 1983 debido a que se tomaron medidas de prevención especialmente en la infraestructura civil de las ciudades del norte.
- Los efectos del fenómeno de "EL NIÑO" abarcó mayor área al de 1983, anteriormente los efectos fueron en los departamentos de Tumbes, Piura y parte de Lambayeque; en cambio esta vez, abarcó los departamentos ciudades antes citados y la Libertad, Cajamarca, Ancash, Lima e Ica.

# *CAPITULO III*

## *ASPECTO FISICO DEL TRAMO EN ESTUDIO*

### **3.2 UBICACIÓN DEL PROYECTO**

La zona de Estudio se ubica en la costa peruana abarcando los departamentos de Ancash y la Libertad. El tramo atraviesa las provincias de Huarney, Casma, Santa, Viru, Trujillo, Ascope, Pacasmayo. Pertenece a la panamericana norte y esta comprendida entre el km.250+000 al km.667+000 (ver laminas 3.1,3.2, 3.3, 3.4).

Por su ubicación a lo largo de la costa peruana, atraviesa varios departamentos y capitales de departamento captando todo lo que las ciudades costeras producen y lo que llega hacia estas por las rutas de empalme.

El destino de la carga se orienta principalmente hacia Lima, que capta el 35% de los flujos nacionales, a los que se deben añadir los flujos de exportación con los que llegaría a un 41%. Las regiones Norte y Sur captan 15% aproximadamente cada uno luego la región central con el 11% y el oriente con menos de del 5%.

El Perú presenta un marcado flujo de transporte costero siendo el predominante el terrestre por carretera.



**ECUADOR**

**COLOMBIA**

LORETO

**TRAMO DE ESTUDIO**

**BRASIL**

OCEANO  
PACIFICO

**BOLIVIA**

**CHILE**

**LEYENDA**

CARRETERA PANAMERICANA ———

TRAMO EN ESTUDIO ———

 <p><b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA</b>  <b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL</b>          CISMID - DPMD</p>			
<p><b>TESIS : "ESTUDIO DE LOS EFECTOS DEL FENOMENO DE "EL NIÑO" 1997-1998 EN LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE TRAMO HUARMEY-PACASMAYO Y EN LA CIUDAD DE TRUJILLO"</b></p>			
<p>PLANO : UBICACION DE ZONA DE ESTUDIO</p>		<p>LAMINA : <b>3.1</b></p>	
<p>Bachiller : <b>Felix A. Mendoza Calderon</b></p>		<p>Fecha : <b>Junio 2004</b></p>	
<p>Asesor : <b>Ing. Julio Kuroiwa H.</b></p>		<p>Estado : <b>GRAFICA</b></p>	

### 3.2 CARACTERISTICAS GEOMETRICAS Y TOPOGRAFICAS

La carretera es de primer orden, por sus características geométricas de diseño y su importancia dentro de la Red Vial Nacional, se desarrolla dentro de un área de topografía predominante plana, típico de nuestras costas, con tramos puntuales de terreno ondulado - accidentado.

La vía actual, en general, se adecua a la sinuosidad topográfica del terreno y se desarrolla con tangentes largas y radios amplios.

Se observa que en zonas de cultivo la carretera ha sido construida sobre terraplenes con utilización de material transportado, debido ha que el material predominante a lo largo de la carretera es la arena, donde gran parte de la carretera se ha construido en relleno cuyas alturas fluctúan entre los 0.80m y 1.20m.

#### **Tramo Huarmey – Ovalo Industrial.**

Categoría:	= Primera Clase.
Velocidad Directriz	= 100km/h.
Superficie de rodadura	= 7.20m
Bermas c/l	= 3.0 m
Tipo de Pavimentación:	= Asfaltada
Carpeta asfáltica	= 0.05mt.
Base granular	= Variable con un promedio de 0.10m. a 0.20m.
Sub - base	= 0.30m

#### **Tramo: Ovalo Industrial de Trujillo - Pacasmayo**

Categoría:	= Primera Clase.
Velocidad Directriz	= 100km/h.
Ancho de calzada	= 12.00m.
Superficie de rodadura	= 7.20m
Bermas c/l	= 2.40m
En cuanto a su estructura:	
Carpeta asfáltica	= 0.075m
Base granular	= 0.20m
Sub - base	= 0.20m

### 3.3 GEOMORFOLOGÍA.

El área de la zona, por donde se emplaza el mencionado eje vial ecológicamente pertenece a la formación identificada como Desierto Pre-Montano, morfológicamente está caracterizada por presentar un sector plano o ligeramente ondulado que comprende los valles agrícolas y pampas eriazas, factibles de riego, y así como un sector ondulado a semi-accidentado constituido por pampas y colinas sin factibilidad de riego. Los materiales del área son arenas, arcillas, limos, grava, guijarros y conglomerados semiconsolidados, interceptados por rocas volcánicas y sedimentarias.

El paisaje morfológico conformados por escarpas y acantilados, restos de barras y cordones litorales, restos de albuferas y depresiones pantanosas endorreicas. Son superficies características de este conjunto las denominadas:

- Pampas áridas denominada Los Pancitos entre Chao y Coscomba.
- Laderas y cañadas que constituyen el alto de Salaverry, río Seco y Uripe.
- Montes isla, como los cerros Campana, Mocollape y Otros entre Trujillo y Chicama.
- Sistemas de colinas como los Cerros Compositan en Virú y de Coscomba entre Chao y la Pampa de Salinas.
- Depresiones Endorreicas, como la que existe entre el Milagro y Puerto Chicama.
- Pampas y colinas de arenas migrantes, como la pampa de las dunas en Chao y las
- Pampas de Pur–Pur entre el valle de Virú y el Valle de Moche.
- Valles irrigados y utilizados de Chao, Virú, Moche Y Chicama

El área geomorfológicamente es una superficie de activo intemperismo sub –aéreo de ambiente árido a semi-árido, importante modelado originado por remoción, acumulación y sedimentación eólica; activo modelado fluvial, torrencial y marino; activo modelado antropogénico y bioquímico. En consecuencia es una superficie tipificada como sensiblemente modificable en períodos de tiempo relativamente cortos.

### 3.4 METEOROLOGIA

Los requerimientos del estudio demandan conocer la precipitación de la zona. La estación representativa para el tramo Trujillo – Pacasmayo es Virú para subcuencas que están a una altitud por debajo de los 800 m.s. n. m y Cascas para la quebrada Cupisnique.

#### CLIMATOLOGIA

En el Perú la palabra costa comprende las zonas desérticas de la clase de los climas B, es decir las zonas climáticas BW(clima desierto) y Bs (Clima de estepa), los oasis de neblina o las lomas de la costa, según clasificación de W. Koppen (fuente Senamhi).

Es notable además la presencia aislada del clima de sabana periódicamente sin lluvias en el norte del Perú especialmente en las vertientes de la cordillera que desagua al Pacífico, en la parte oriental de los Departamentos de Tumbes y Piura, esto nos indica que el periodo seco bien pronunciado nos causa un impedimento en el crecimiento de la vegetación. Pero esto varía de año en año, depende por un lado de la intensidad con la cual el fenómeno de "El Niño" avanza hacia el sur originando un posible retroceso de las aguas frías de la profundidad de la corriente peruana, que por otro lado depende del desplazamiento de la zona intertropical de convergencia.

Además es una característica típica de la costa del Perú el techo gris perla de nubes de estratos que cubren cientos de kilómetros sobre el litoral y el mar, a una altura no menor de 200 metros que empieza a desaparecer entre los 500 a 800 metros de altitud, reapareciendo el cielo radiante y azul. El Techo de nubes cubre la costa desde Mayo hasta Octubre ó Noviembre, con variaciones locales en cuanto a la duración de la nubosidad, según la latitud ó proximidad al mar y otros factores geográficos.

A continuación se describen algunas de las características de los fenómenos meteorológicos más que definen el clima en la región.

#### **Vientos.-**

La dirección predominante de los vientos en la región costera del Norte es, en la zona de Chimbote de SW con una velocidad máxima registrada de 23 Km /hora; en la zona de Trujillo de SSW, con una velocidad máxima de 42 Km / hora.

#### **Precipitación**

La precipitación en la zona de costa es casi nula, salvo en los meses de invierno donde se producen pequeñas lloviznas. En los meses de verano se producen fuertes lluvias en la cuenca alta de los ríos que abarca la zona de Estudio. Este fenómeno meteorológico es registrado en el área de estudio por estaciones como: Huarmey, Buena Vista, Laredo etc.

Las estaciones meteorológicas situadas en distintos lugares de la faja costanera registran precipitaciones muy bajas; la estación de la ciudad de Trujillo señala una media anual de 1.7 mm. Pero esto cambia, cuando ocurre eventos como el fenómeno de "El Niño", donde las precipitaciones diarias se incrementan como lo registrado en los tres primeros meses del año 98 por la estación de Laredo siendo las precipitaciones Máximas de 7mm, 28.3mm y 8.6mm ocurridos en los días 16, 10, 3 de los meses de Enero, Febrero, Marzo de 1998 respectivamente (Ver anexo).

**Temperatura**

Este parámetro meteorológico determina el tipo de clima propio de cada región. También incide directamente en otros parámetros meteorológicos tales como la evaporación y humedad relativa que son elementos importantes para mantención del ciclo hidrológico.

La temperatura media mensual en la ciudad de Trujillo varía de 17°C (Julio) a 24°C (Marzo). Y la temperatura en la zona en estudio es controlada por las siguientes estaciones: Estación Casagrande, Estación Cartavio, Estación Laredo, Estación Virú.

### 3.5 OBRAS DE ARTE Y DRENAJE

Hidrográficamente, la ruta es atravesada por cursos de agua de régimen estacional marcados con períodos de avenidas y estiaje, como en toda la costa peruana, encontrándose los ríos Huarmey, culebras, Río Seco, Casma, Sechin, Nepeña, Lacramarca, Santa, Chao, Viru, Moche y Chicama que drenan elevados volúmenes de agua en épocas de avenida y muy escasos o nulos en épocas de estiaje a excepción el río Santa.

Los cursos de agua que atraviesan a la carretera Panamericana Norte en el tramo Huarmey - Pacasmayo no cuentan con registros de caudales, con excepción de los ríos Santa, Virú, Moche Chicama. Esta situación se da por tratarse de cuencas pequeñas cuya área no supera los 80km<sup>2</sup>, con excepción de la quebrada Cupisnique que tiene un área de cuenca de 555km<sup>2</sup>.

Las alcantarillas existentes fueron calculadas para permitir la conducción de los probables caudales de aguas limpias que eventualmente discurran por las quebradas, más no para la conducción de flujos de escombros. Esto se pudo comprobar en el evento (1997-98) donde el sistema de drenaje resultó ineficiente para evacuar dichos flujos.

Cabe mencionar que son necesarias obras de drenaje a lo largo del tramo en zonas donde antes no existía, esto se presenta donde existen quebradas secas, para que en el futuro la carretera pueda resistir los embates de la naturaleza.

En el cuadro N° 3.1 se muestran las características más importantes del sistema de drenaje y Obras de Arte, del tramo Huarmey - Pacasmayo. Para lo cual la información corresponde a los expedientes siguientes:

- "Mantenimiento Periódico de Carreteras" Panamericana Norte.  
Tramo2: Trujillo(591+408) - Pacasmayo(667+981).  
Autor: Asociación C.R.C - A.I.C - Nov. 1993 - M.T.C.
- Complemento de Evaluación de Carretera Panamericana Norte Tramo del km.247+000 - km.558+00(1997).

### Cuadro N°3.1

## INVENTARIO DEL SISTEMA DE DRENAJE Y OBRAS DE ARTE EN LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE.

Tramo Gramadal(Km247+000) - Ovalo de Trujillo(Km558+000).

N°	Progresiva	TIPO	DIMENSIONES		
			LONGITUD ml	ANCHO ml	ALTURA ml
1	263+900	Alcant. De Marco	2.00	10.20	4.0
2	290+250	Alcant. De Marco	2.00	10.20	2.00
3	291+500	Alcant. De Marco	2.00	10.20	2.00
4	291+600	Alcant. De Marco	2.00	10.20	2.00
5	292+100	Alcant. De Marco	2.00	10.20	2.00
6	292+200	Alcant. De Marco	2.00	10.20	2.00
7	292+300	Alcant. De Marco	2.00	10.20	2.00
8	294+000	Puente de Concreto	2.00	10.20	5.00
9	310+900	Alcant. De Marco	60.00	10.20	2.00
10	331+000	Alcant. De Marco	2.00	10.20	2.00
11	371+200	Alcant. De Marco	2.00	10.20	2.00
12	371+300	Puente carrizal	2.00	10.20	5.00
13	375+00	Puente Sechin.	18.00	10.20	5.00
14	376+500	Alcant. De Marco	2.00	10.20	2.00
15	379+700	Canal	0.70	10.20	0.50
16	440+900	Alcant. De Marco	1.5	10.20	1.00
17	440+950	Alcant. De Marco	1.5	10.20	1.00
18	441+050	Alcant. De Marco	1.5	10.20	1.00
19	441+200	Alcant. De Marco	1.5	10.20	1.00
20	441+300	Alcant. De Marco	1.0	10.20	0.90
21	441+600	Alcant. De Marco	1.0	10.20	0.80
22	443+800	Alcant. De Marco	1.0	10.20	1.00
23	443+900	Alcant. De Marco	1.2	10.20	1.00
24	444+100	Alcant. De Marco	1.2	10.20	1.00
25	444+400	Alcant. De Marco	1.0	10.20	0.50
26	444+900	Alcant. De Marco	1.2	10.20	0.70
27	446+100	Alcant. De Marco	1.2	10.20	1.00
28	446+200	Alcant. De Marco	1.2	10.20	1.00
29	446+250	Alcant. De Marco	1.5	10.20	1.00
30	446+300	Alcant. De Marco	1.5	10.20	1.00
31	447+100	Alcant. De Marco	2.0	10.20	1.00
32	447+800	Alcant. De Marco	2.5	10.20	1.50
33	448+050	Alcant. De Marco	1.5	10.20	1.00
34	449+200	Alcant. De Marco	1.0	10.20	1.00
35	474+700	Alcant. De Marco	2.0	10.20	1.80

**Cuadro N°3.1**  
**INVENTARIO DEL SISTEMA DE DRENAJE Y OBRAS DE ARTE EN**  
**LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE.**

Tramo Gramadal(Km247+000) - Ovalo de Trujillo(Km558+000).

N°	Progresiva	TIPO	DIMENSIONES		
			LONGITUD ml	ANCHO ml	ALTURA ml
36	483+980	Alcant. De Marco	3.50	10.20	1.20
37	486+700	Alcant. De Marco	2.00	10.20	1.00
38	488+800	Alcant. De Marco	2.00	10.20	1.20
39	493+950	Alcant. De Marco	0.80	10.20	0.70
40	494+100	Alcant. De Marco	4.50	10.20	1.00
41	496+080	Alcant. De Marco	1.50	10.20	1.20
42	496+150	Alcant. De Marco	1.00	12.00	1.00
43	508+500	Alcant. De Marco	1.00	12.00	1.50
44	509+850	Alcant. De Marco	1.20	12.00	1.00
45	510+000	Alcant. De Marco	1.20	12.00	1.00
46	510+150	Alcant. De Marco	1.00	12.00	0.30
47	510+500	Alcant. De Marco	1.00	12.00	0.70
48	510+800	Alcant. De Marco	2.00	12.00	0.30
49	511+000	Alcant. De Marco	2.00	12.00	0.30
50	511+100	Alcant. De Marco	2.00	12.00	0.70
51	511+150	Alcant. De Marco	2.00	12.00	0.30
52	511+300	Alcant. De Marco	2.50	12.00	0.50
53	511+600	Alcant. De Marco	3.00	12.00	0.70
54	511+800	Canal	0.60	12.00	0.60
55	511+810	Canal	0.70	12.00	0.50
56	512+000	Alcant. De Marco	1.50	12.00	0.60
57	512+200	Alcant. De Marco	1.50	12.00	0.60
58	512+300	Canal	0.70	12.00	0.70
59	512+500	Alcant. De Marco	1.50	12.00	0.70
60	512+600	Canal	0.60	12.00	0.60
61	513+000	Alcant. De Marco	1.50	12.00	1.20
62	513+200	Alcant. De Marco	1.10	12.00	1.00
63	513+300	Alcant. De Marco	2.00	12.00	0.70
64	513+320	Alcant. De Marco	1.10	12.00	0.60
65	513+450	Canal	0.60	12.00	0.60
66	513+550	Canal	0.60	13.00	0.60
67	513+800	Canal	0.60	13.00	0.60
68	513+900	Alcant. De Marco	1.50	13.00	0.80
69	513+950	Alcant. De Marco	1.10	13.00	0.30
70	515+100	Canal	0.70	13.00	0.30

**Cuadro N°3.1**  
**INVENTARIO DEL SISTEMA DE DRENAJE Y OBRAS DE ARTE EN**  
**LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE.**

Tramo Gramadal(Km247+000) - Ovalo de Trujillo(Km558+000).

N°	Progresiva	TIPO	DIMENSIONES		
			LONGITUD ml	ANCHO ml	ALTURA ml
71	515+200	Canal	0.70	13.00	0.70
72	515+300	Canal	0.60	13.00	0.50
73	515+400	Canal	0.50	13.00	0.50
74	515+800	Alcant. De Marco	3.50	13.00	1.50
75	516+300	Alcant. De Marco	1.60	13.00	1.60
76	517+000	Alcant. De Marco	1.20	20.00	1.20
77	518+000	Alcant. De Marco	0.60	12.00	0.60
78	552+700	Alcant. De Marco	2.00	32.00	0.40
79	552+940	Alcant. De Marco	2.50	15.00	0.60
80	553+040	Alcant. De Marco	1.50	18.00	0.60
81	553+380	Alcant. De Marco	2.00	23.00	0.60
82	553+340	Alcant. De Marco	1.50	23.00	0.10
83	553+480	Alcant. De Marco	1.20	23.00	0.60
84	553+900	Alcant. De Marco	1.90	23.00	0.90
85	553+920	Alcant. De Marco	0.80	20.00	0.30
86	554+210	Alcant. De Marco	1.00	20.00	0.30
87	554+300	Alcant. De Marco	0.80	20.00	0.50
88	554+300	Puente de Concreto	1.10	30.00	0.40
89	554+540	Alcant. De Marco	1.10	21.00	0.20
90	554+970	Alcant. De Marco	0.70	23.00	0.60
91	554+600	Alcant. De Marco	0.60	18.00	0.20
92	554+300	Alcant. De Marco	0.60	18.00	0.20
93	554+500	Alcant. De Marco	2.00	100.00	0.40

**Cuadro N°3.1**  
**INVENTARIO DEL SISTEMA DE DRENAJE Y OBRAS DE ARTE EN**  
**LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE.**

Tramo Parque Industrial de Trujillo(km591+000) - Pacasmayo(668+000).

N°	Progresiva	TIPO	DIMENSIONES		
			LONGITUD ml	ANCHO ml	ALTURA ml
1	591+408	Losa	12.40	2.0	1.0
2	593+100	Losa	11.75	0.50	0.50
3	593+404	Losa	12.00	0.60	0.50
4	593+760	Losa	10.00	4.10	1.00
5	594+387	Losa	9.70	1.85	0.60
6	594+931	Losa	9.40	1.80	0.30
7	595+004	Losa	10.20	1.80	2.00
8	595+664	Losa	9.00	1.60	1.60
9	595+992	Losa	12.40	1.60	1.60
10	595+999	Losa	9.50	2.60	2.30
11	596+011	Losa	9.50	5.50	1.50
12	596+094	Losa	9.40	2.00	1.00
13	596+532	Losa	14.50	1.40	0.60
14	596+972	Losa	16.00	1.50	0.60
15	597+085	Losa	15.50	3.60	1.60
16	597+100	Losa	15.30	1.50	0.60
17	597+386	Losa	13.90	6.00	6.75
18	597+440	Puente Chicama		235.75	4.00
19	598+070	Losa	15.30	1.60	0.60
20	599+221	Losa	9.70	4.60	1.50
21	599+530	Losa	9.50	4.00	1.00
22	599+430	Losa	9.50	3.00	3.00
23	600+293	Losa	24.00	1.00	1.00
24	600+706	Losa	9.65	2.00	1.00
25	600+830	Losa	10.40	1.50	0.60
26	601+940	Losa	9.50	2.00	0.70
27	602+376	Losa	12.00	1.50	1.00

**Cuadro N°3.1**  
**INVENTARIO DEL SISTEMA DE DRENAJE Y OBRAS DE ARTE EN**  
**LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE.**

Tramo Parque Industrial de Trujillo(km591+000) - Pacasmayo(668+000).

N°	Progresiva	TIPO	DIMENSIONES		
			LONGITUD ml	ANCHO ml	ALTURA ml
28	602+385	Puente			
29	602+407	Losa	12.00	1.50	1.00
30	603+460	Losa	29.00	3.00	1.00
31	605+128	Losa	9.70	3.00	2.00
32	605+383	Losa	9.50	1.00	1.00
33	606+395	Losa	9.50	2.00	1.00
34	608+185	Losa	14.10	2.00	0.30
35	608+329	Losa	9.90	2.00	1.00
36	609+210	Losa	9.60	2.00	1.00
37	610+179	Losa	9.80	3.10	1.66
38	610+377	Losa	9.60	2.00	0.74
39	611+590	Losa	9.55	3.20	1.40
40	611+726	Losa	9.70	2.10	1.23
41	611+909	Losa	9.60	1.00	1.35
42	612+199	Losa	10.55	1.20	1.74
43	612+309	Losa	9.60	2.00	0.86
44	612+332	Losa	10.30	0.50	0.50
45	612+465	Losa	10.80	0.40	0.40
46	612+578	Losa	11.60	1.10	0.90
47	612+715	Losa	10.60	1.20	0.90
48	612+754	Losa	10.50	4.90	3.26
49	613+120	Losa	11.70	0.40	0.40
50	613+208	Losa	11.60	0.50	0.50
51	620+784	Losa	13.60	0.55	0.55
52	621+034	Losa	11.20	1.90	1.23
53	621+517	Losa	9.67	1.40	0.59
54	621+583	Losa	9.55	24.85	2.25

**Cuadro N°3.1**  
**INVENTARIO DEL SISTEMA DE DRENAJE Y OBRAS DE ARTE EN**  
**LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE.**

Tramo Parque Industrial de Trujillo(km591+000) - Pacasmayo(668+000).

N°	Progresiva	TIPO	DIMENSIONES		
			LONGITUD ml	ANCHO ml	ALTURA ml
55	621+803	Losa	11.00	1.80	0.79
56	621+941	Losa	10.00	1.65	0.98
57	622+231	Losa	9.00	0.50	0.50
58	622+396	Losa	10.80	3.10	1.13
59	646+154	Losa	13.30	3.00	1.56
60	646+257	Losa	12.85	12.55	1.41
61	649+283	Losa	12.80	42.55	1.72
62	650+078	Losa	12.80	6.60	1.68
63	656+208	Losa	12.80	6.60	2.50
64	660+047	Losa	8.60	5.00	2.85
65	660+129	Losa	12.40	2.70	1.64
66	660+156	Losa	14.00	2.70	0.50
67	660+288	Losa	12.00	0.65	0.84
68	660+531	Losa	12.00	1.00	0.96
69	662+659	Losa	17.70	2.45	1.18
70	663+351	Losa	9.77	3.80	0.80
71	665+100	Losa	16.10	2.95	0.90
72	667+981	Losa	10.00	2.15	1.10

### 3.6 CONCLUSIONES

- La zona de Estudio se ubica en la costa peruana abarcando los departamentos de Ancash y la Libertad. El tramo atraviesa las provincias de Huarmey, Casma, Santa, Viru, Trujillo, Ascope y Pacasmayo. Pertenece a la panamericana norte y esta comprendida entre el km.250+000 al km.667+000
- La carretera es de primer orden, por sus características geométricas de diseño y su importancia dentro de la Red Vial Nacional, se desarrolla dentro de un área de topografía predominante plana, típico de nuestras costas, con tramos puntuales de terreno ondulado - accidentado.
- Hidrográficamente, la ruta es atravesada por cursos de agua de régimen estacional marcados con períodos de avenidas y estiaje, como en toda la costa peruana, encontrándose los ríos Huarmey, culebras, Río Seco, Casma, Sechin, Nepeña, Lacramarca, Santa, Chao, Viru, Moche y Chicama que drenan elevados volúmenes de agua en épocas de avenida y muy escasos o nulos en épocas de estiaje a excepción el río Santa.

# *CAPITULO IV*

## *ESTUDIO DE LOS EFECTOS DEL FENOMENO "EL NIÑO" EN LA INFRAESTRUCTURA VIAL*

### **4.1 ANTECEDENTES**

En el área de estudio se han registrado precipitaciones, altas como en el año 1983. Estas superaron durante los meses de diciembre de 1982 a Abril de 1983 el acumulado de las precipitaciones totales de mas de 20 años en Trujillo, y en Chicama con 4 mm por año a 394mm en esos 7 meses.

El fenómeno "El Niño" es el responsable de las alteraciones atmosféricas que no tienen un carácter regular. Precipitaciones similares a las de 1983 han ocurrido en 1891, 1925, 1953, 1965 y 1972, pero en el año de 1983 fue la perturbación más fuerte de este siglo.

Las lluvias de 1891 fueron muy fuertes en el norte. En Trujillo y Chiclayo hubo lluvias torrenciales que duraron más de dos meses y hubo tempestades, truenos y relámpagos. Chimbote quedó destruido en un 95%; Casma quedó en ruinas y Supe desapareció por el embate de febrero.

"El Niño" de 1983 causo daños a la estructura de la carretera no solamente en áreas cercanas a los ríos si no también en zonas consideradas desérticas, no se localizo reportes de evaluación señalando tales áreas. Para considerarlas como zonas potenciales de daños en caso de producirse este fenómeno nuevamente.

## 4.2 ACCIONES DE PREVENCIÓN ANTE LOS EFECTOS DEL FENOMENO "EL NIÑO 1997-98".

El sistema Nacional de Mantenimiento de Carreteras(SINMAC) dependencia del Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción programó acciones de prevención de obras en las carreteras comprendidas en el Decreto Supremo N° 031 - 97 - PCM, que involucró a los departamentos de Tumbes, Piura, Lambayeque, La Libertad, Ancash, Arequipa, Moquegua, Tacna y Puno.

Para cumplir con los objetivos trazados esta entidad coordinó con los Directores Regionales de los departamentos antes indicados, determinándose y priorizando las obras a ejecutar, entre los que se encontraban Construcción de alcantarillas, Drenes agrícolas y badenes, que por experiencias de fenómenos pasados se comprobó la deficiencia de los proyectos y se determino la necesidad de implementar con obras de drenaje que permitan fluidez y escurrimiento de las aguas, asimismo, se programaron descolmataciones de alcantarillas que al transcurrir del tiempo sedimentaron material obstruyendo parte de la sección, presentando problemas de represamiento.

A consecuencia de los fenómenos del Niño de años anteriores se generaron problemas en los cauces de los ríos, motivo por el cual en previsión se proyectaron y ejecutaron los encauzamientos, protección y reforzamiento con muros secos y gaviones según la necesidad habiéndose determinado las zonas que a continuación se indican y precisan los trabajos a enero en el cuadro 4.1. y en las figuras N°4.1, N°4.2.

NI Ejecución presupuestal al Niño I (meses Julio, Agosto, Septiembre.)

NII Ejecución presupuestal al Niño II (meses octubre, Noviembre, Diciembre Enero 1998)

**A.- Encargo.** : Mantenimiento y Rehabilitación

**B.- Contrato:** Construcción.

**Cuadro N°4.1: Ficha Informativa Fenómeno El Niño 1997-98**

Departamento	Ancash			La Libertad
Tramo	Km210.0 - Puente Santa			Puente Santa - Trujillo - Pacasmayo
Asignación	NI	A	160000.00	80000
		B		451863.00
	NII	A	501840.68	649654.86
		B		1005120.00
Invertido	NI	A	160000.00	22917.00
		B		274088.31
	NII	A	271286.94	202725.35
		B		
Metas	NI	A	Limpieza de alcantarillas Encausamiento 32800 m3	Limpieza de 130 alcantarillas. Limpieza 250 ml. Cunetas. Encausamiento 73350 m3.
		B		Const. 4 alcantarillas. Const. Un badén.
	NII	A	Limpieza. Encausamiento	Encausamiento: 7000 m3.
		B		Construc. 3 alcantarillas. Construc. 1 badén + Desvío acceso. Construc. 150 muros.
Logros	NI	A	Limpieza 2 alcantarillas. Encausamiento tramo las Zorras y San Miguel 50352.00 m3	Limpieza de 135 alcantarillas 103.8%. Limpieza 250 ml. Cunetas 100%. Encausamiento 59550 m3 82.2%.
		B		Construc. 3 alcantarillas 100%.
	NII	A		
		B		

Fuente: MTC - SINMAC

# UBICACION DE OBRAS Y ACCIONES DE EMERGENCIA

## ANCASH

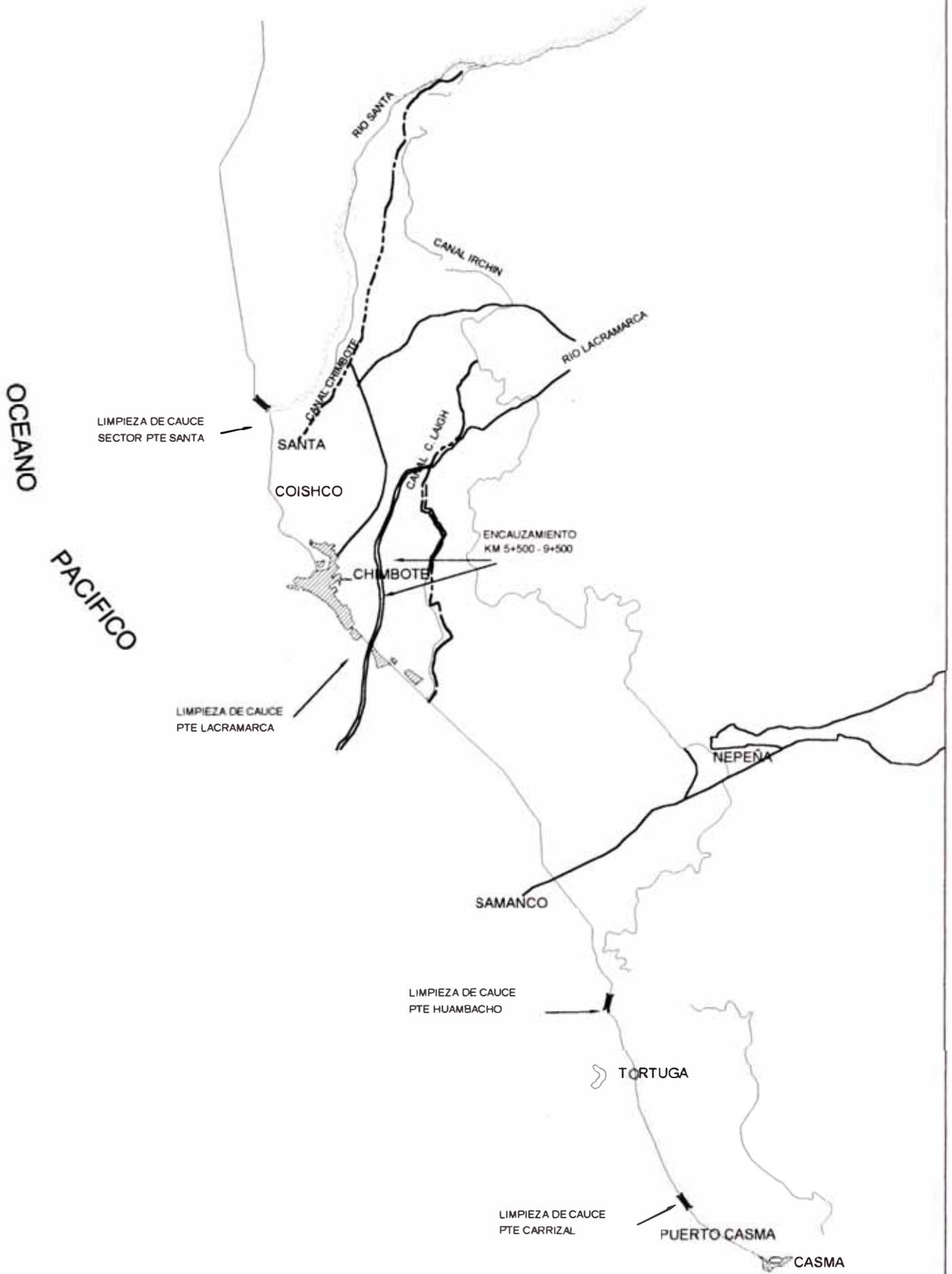


Fig. 4.1

# UBICACION DE OBRAS Y ACCIONES DE EMERGENCIA

## LIBERTAD

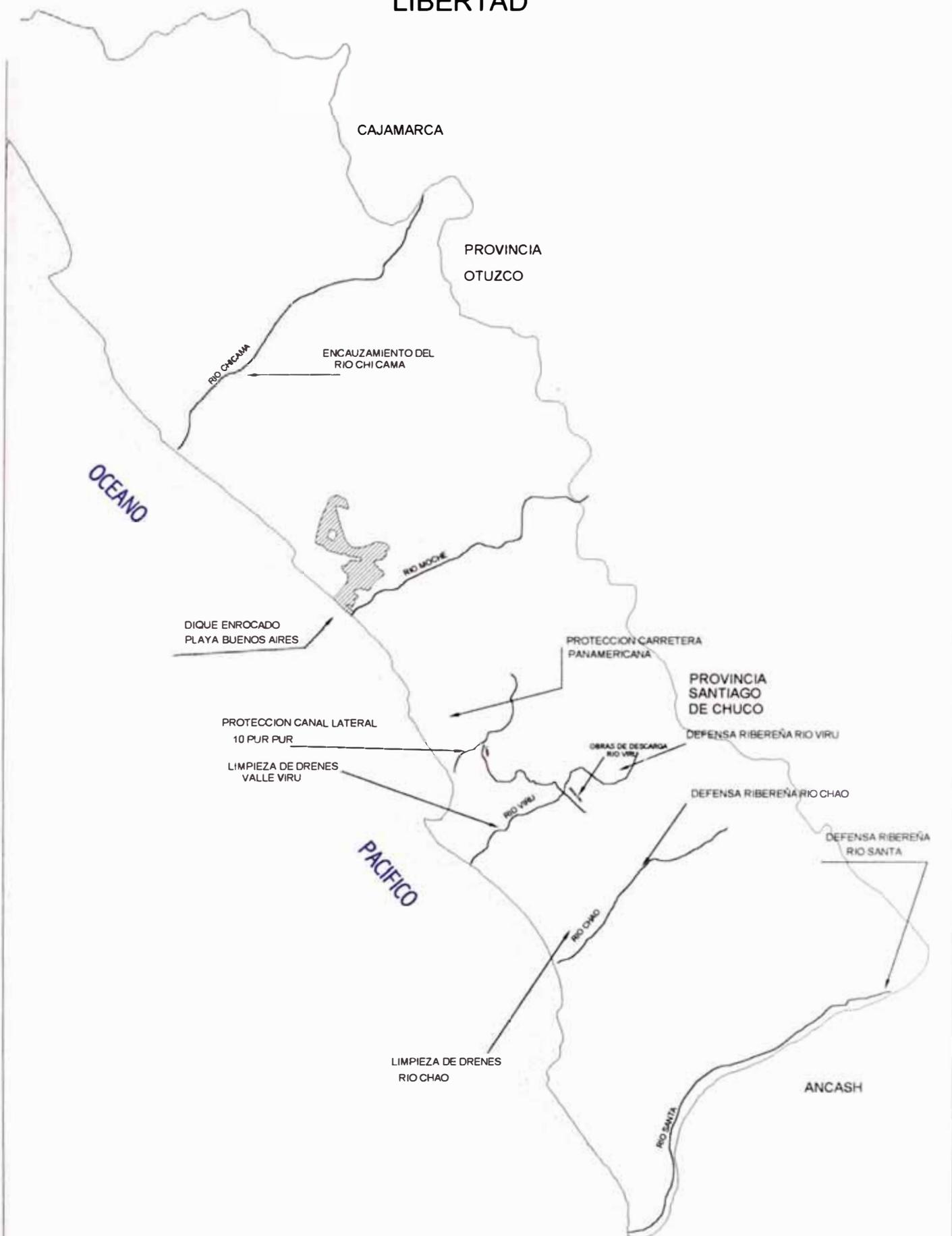


Fig. 4.2

## 4.3 EFECTOS DEL FENOMENO "EL NIÑO" 1997-98

### 4.3.1 INTRODUCCION

La siguiente evaluación complementaria, se realizó con la finalidad de determinar los efectos del fenómeno "El Niño" que se produjeron en la carretera Panamericana.

El tramo de evaluación está comprendido entre los km250+000 al 668+000. Es decir desde la zona del Gramadal (Dpto. de Ancash), hasta la Ciudad de Pacasmayo (Dpto. de la Libertad). En este tramo la vía no ha sufrido los deterioros por haber fallado el pavimento en sí, sino; por que al producirse el fenómeno del El Niño y presentarse precipitaciones extraordinarias en cortos periodos de tiempo, las secciones de las obras de drenaje como alcantarillas, canales, pontones y puentes resultaron insuficiente con el consiguiente desborde del agua que al venir con caudales extraordinarios y fuerzas inusuales han arrasado partes del pavimento de la carretera. Así mismo se observó que las obras de cruce tienden a estrechar los cauces ubicando alcantarillas que muy pronto quedan obstruidas ante la presencia de un eventual flujo por la quebrada al igual que los puentes y pontones.

Los efectos que se produjeron en la vía fueron: Efecto de la quebrada en la vía, Efecto de los ríos en los puentes, Efecto en la vía por inestabilidad de taludes, Efecto directo de las precipitaciones pluviales en la vía.

### 4.3.2 CONCEPTOS BASICOS

#### 4.3.2.1 CICLO HIDROLOGICO

Es el movimiento del agua a través de la atmósfera, la superficie de la tierra y los estratos superiores de la corteza terrestre. Este ciclo ocurre de manera continua y por lo tanto no tiene principio ni fin. ( Ver fig 4.3)



Fig. 4.3 Ciclo del agua.

Se define el concepto de Ciclo Hidrológico, para poder entender y tener presente que el agua al cumplir su ciclo natural es alterado por la acción del hombre. El hombre interviene al cerrar o reducir los cauces naturales de las quebradas o ríos, colocando terraplenes y obras de cruce, los cuales en su mayoría son arrasados parcial o totalmente. Por tanto el hombre al construir las carreteras y obras de cruce debería de adaptar las estructuras a la forma de los cauces naturales de las quebradas, respetando su área de inundación; por ende, obstruir en lo mínimo el curso natural que sigue el agua, al cumplir una de sus etapas durante el ciclo Hidrológico<sup>1</sup>.

A continuación se describen los procesos de manera secuencial, aunque es necesario advertir que en general, éstos ocurren simultáneamente.

**a. Evaporación y Precipitación**

El sol es la fuente de energía que permite la evaporación del agua y su traslado de los mares o cuerpos de agua menores hacia la atmósfera. Las pequeñas moléculas de vapor de agua se elevan hacia las capas exteriores de la atmósfera. La temperatura disminuye con la altitud en la troposfera y, cuando la masa húmeda de aire se eleva, provoca que las moléculas se junten. El paso del agua del estado gaseoso al estado líquido ocurre como consecuencia de una menor temperatura y de la presencia de sustancias nucleantes que facilitan la condensación. Se han realizado experimentos en los cuales la temperatura desciende muy por debajo de 0 °C sin que ocurra el paso del estado gaseoso al líquido, si no hay presencia de nucleantes. Estas sustancias son partículas muy pequeñas que se encuentran en la atmósfera y están constituidos por arcillas, cenizas y residuos de combustible fósil, como los emitidos por los automóviles.

La precipitación del agua en la atmósfera no es inmediata, aunque la actividad dentro de las nubes es intensa. Las pequeñas gotas de agua se juntan formando gotas cada vez más grandes y caen por acción de la gravedad; simultáneamente la radiación solar vaporiza parte de su masa. Las corrientes de aire elevan las partículas y este ciclo se repite hasta que alcanzan un tamaño de aproximadamente de 0.1 mm y se precipitan en forma de lluvia, nieve o granizo, según la estación del año y las condiciones atmosféricas reinantes. Por lo general, existe periodos en los cuales las precipitaciones son escasas y otros en los cuales son abundantes. Típicamente en la vertiente de los Andes, por ejemplo, se producen entre los meses de octubre y abril, reduciéndose considerablemente en los meses de mayo a septiembre.

**b. Interceptación, Vegetación y Control de la Erosión.**

La lluvia que cae choca contra la tierra provocando el desprendimiento de partículas del suelo. En algunos casos, la vegetación protege al suelo del impacto inicial, aunque según la especie es posible que las hojas recolecten las gotas de lluvia, produciéndose gotas más grandes que al caer podrían producir un impacto mayor.

---

<sup>1</sup> Chereque Moran, Wender (1990). "Hidrología para Estudiantes de Ingeniería Civil"

Pero, por lo común debajo de los árboles se acumulan sus residuos( hojas marchitas o secas, ramas), los cuales impiden el impacto directo de la lluvia. Además la rugosidad causada por la deposición de dichos residuos retrasa de efectiva el flujo, reduciendo el potencial de erosión. La vegetación contribuye también a evacuar la humedad existente porque las raíces absorben agua para procesar sus alimentos y el excedente es devuelto en forma de vapor a la atmósfera a través de las hojas. Esto permite que la precipitación que caiga posteriormente se infiltre en el suelo con mayor facilidad.

La vegetación ofrece aspectos positivos para el control de la erosión. Así las raíces aumentan la resistencia del suelo al esfuerzo de corte y, en cierto grado a la tensión; por su parte la presencia del follaje impide el impacto directo de las gotas de la lluvia. En relación al control de la erosión, se distinguen dos especies vegetales: herbáceas incluidos los pastos, y arbóreas.

**c. Infiltración y Escorrentía Subsuperficial y subterránea**

Al principio de una lluvia es probable que el suelo no se encuentre saturado. Parte de la lluvia penetra en el suelo, produciéndose infiltración. El agua pasa a través de los intersticios dirigiéndose hacia los estratos inferiores debido a la acción de la gravedad. Si la intensidad de la lluvia es menor a la velocidad de infiltración del agua, entonces toda la lluvia se infiltra. A medida que los intersticios son ocupados por agua, disminuye la facilidad con la que discurre hacia las capas inferiores y la velocidad de infiltración tiende a disminuir, aumentando el potencial de escorrentía. La precipitación contribuye de manera constante al aumento de la humedad del suelo durante la temporada húmeda. Si las capas superiores del suelo se encuentran saturadas o casi saturadas y ocurre una lluvia de gran intensidad, la escorrentía aumenta de manera más rápida. Las condiciones previas a la ocurrencia de precipitación juegan un rol importante en el desarrollo de los eventos causados por la misma.

Los terrenos rocosos poseen una permeabilidad muy baja que impide la infiltración del agua proveniente de la lluvia, por la que la emisión del agua es súbita, aumentando su caudal en la mayoría de casos.

Parte del movimiento del agua ocurre bajo la superficie. Cuando el flujo se mueve a través de un medio no saturado la escorrentía se denomina subsuperficial. Si se produce la percolación profunda, el agua se almacena en grandes depósitos que se mueven muy lentamente. Dicho flujo es denominado flujo subterráneo.

**d. Escorrentía Superficial.**

El flujo superficial producto de una lluvia, ocurre después que las capas superiores del suelo se han saturado y la intensidad de la lluvia supera la velocidad de infiltración del agua, produciéndose el encharcamiento. Al principio aparecen pequeñas acumulaciones de agua en las

depresiones del terreno, posteriormente el agua cubre porciones más amplias del suelo y se produce el escurrimiento hacia zonas más bajas.

Es importante que el tipo de suelo influye en la calidad de flujo esperado en la superficie. Un suelo con partículas más grandes como grava o arenas tiene un potencial de infiltración muy alto. Un suelo arcilloso, que es prácticamente impermeable, permite una mayor escorrentía debido a que impide la penetración del agua al subsuelo. El agua fluye concentrándose en las zonas más bajas del terreno. Esta concentración produce esfuerzos cortantes mayores que potencialmente forman surcos pequeños al principio y posteriormente cárcavas, que son canales más grandes. Las partículas que se desprenden del terreno son arrastradas por la corriente y se depositan cuando la capacidad de transporte del flujo es menor que la tasa de transporte de los sedimentos.

Las quebradas recolectan el agua, y aumentan su caudal, conduciéndolas a cursos de dimensiones cada vez mayores en dirección aguas abajo.

La velocidad de transporte del agua está en función de la rugosidad de los elementos del lecho de los cursos, la forma de los cauces y las pendientes. Mayores pendientes implican también mayores velocidades y mayor potencial de erosión. Es por este motivo que en las zonas accidentadas, en las cuales las pendientes son fuertes, las avenidas ocurren de manera muy rápida sin producir señales que permitan la evacuación de los habitantes de la zona afectada. Esto contribuye al aumento del número de víctimas.

La escorrentía es mayor en los meses en los cuales la precipitación es también mayor. Durante la temporada lluviosa el contenido de humedad de los suelos aumenta, reduciéndose el potencial de infiltración.

El flujo superficial también puede ocurrir como producto del deshielo. Grandes masas de deshielo. Grandes masas de nieve y hielo acumuladas en las partes altas de la cordillera (en las cuales la temperatura permanece por debajo del punto de congelación la mayor parte del tiempo), se derriten debido a la radiación solar.

En algunos casos el flujo superficial se deposita en lagunas, las cuales forman pequeñas cuencas aisladas superficialmente de masas de agua. Si el agua recolectada dentro de la hoya de una laguna no tiene una salida, el nivel de la laguna aumenta hasta que comienza a disminuir cuando el volumen de agua que ingresa es menor al que se evapora.

### 4.3.2.2 FLUJO DE QUEBRADAS

#### a. Definición

Una quebrada es una forma topográfica producto de la fuerza erosiva de la precipitación en una región de terreno erosionable, bajo condiciones climáticas que le confieren un caudal con bruscas variaciones, en las que alternan fuertes estiajes con repentinas crecidas. En estructura son similares a los ríos, poseen una cuenca de recepción, un cauce de transporte (talweg) y un cono de deyección al llegar a un río o al mar (ver Fig. 4.4); a diferencia de los ríos, las quebradas en nuestro país se caracterizan por tener pequeñas cuencas de recepción<sup>2</sup> (Área < 150 km<sup>2</sup>).

En el proceso de formación de una quebrada, ésta atraviesa por cuatro etapas diferentes. En la primera etapa, debido al efecto de la lluvia, se inicia el proceso erosivo y un lavado superficial que involucra un transporte de material de material y la escorrentía superficial; como efecto de éste lavado superficial se forman pequeños canales sin un curso definido<sup>3</sup>.

En la segunda etapa, continúa el lavado superficial formándose un curso definido de sección similar a la de un río; se inicia una erosión regresiva producto de la cual la quebrada comienza a crecer longitudinalmente. En la tercera etapa, continúa el proceso erosivo la quebrada sigue creciendo longitudinalmente y se ensancha. En la cuarta etapa, la quebrada, ya cuenta con un cauce definido y alcanza cierta estabilidad<sup>4</sup>.

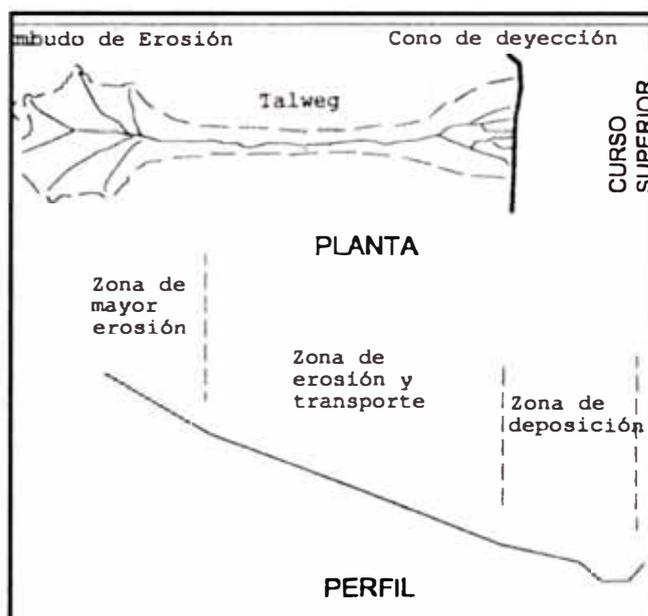


Fig. 4.4 Esquema Típico de una quebrada.

2.3.4 ARANCIBIA, A; Tesis UNI-FIC, 1998

**b. Tipos de Flujo que discurren por una quebrada.**

La importancia del tipo de flujo que discurre por la quebrada, esta dada por el daño que puede ocasionar en su entorno. Los flujos que discurren por las quebradas son general intermitentes y pueden ser<sup>5</sup>:

- Flujo de agua poco o nada turbia o Avenida ( flood), pueden ser de flujo permanente o intermitente, se presenta generalmente en zonas altas (cordilleras) y cerca a nevados.
- Torrentes o avenidas de lodos (Mud floods), son típicamente hiperconcentraciones de partículas no cohesivas (por ejm: La arena). Ellos muestran un comportamiento muy fluido para el rango de concentración de sedimentos por volumen Cv tan altos como el 40%.
- Flujo de lodos (Mudflows), caracterizados por una concentración suficiente alta de fango y arcillas (tamaño del sedimento < 0.0625mm). Los flujos de lodo se comportan como una gran masa fluida viscosa. Exhiben gran viscosidad y esfuerzo de fluencia, pueden viajar grandes distancias en pendientes suaves a velocidades bajas. La concentración volumétrica de sedimentos de una matriz de fluido de flujo de lodo fluctúa aproximadamente entre  $45% < C_v < 55%$ .
- Los Huaycos, fenómeno debido al cual una gran masa de material compuesto de suelos, rocas, arbustos y en muchos casos grandes troncos, etc., son arrancada de la parte alta de las laderas de una quebrada o una montaña por efecto de lluvias torrenciales. El material es Transportado en forma violenta, a velocidades variables. Es uno de los fenómenos de mayor frecuencia y que más daños han causado en nuestro país.

**c. Factores que influyen en el tipo de Flujo**

Estos factores no solo influyen en el tipo de flujo, si no que son parámetros que ayudan a definir la probabilidad de ocurrencia del flujo que mayor daño causa, en nuestro caso los huaicos. Podríamos resumirlos en:

- ❖ **Área de la cuenca de recepción.**- Zona luego de la precipitación, las aguas no infiltradas discurren y por concentración comienzan a formar torrentes. A mayor área, mayor será la cantidad de agua que recepcionará y mayor el volumen del flujo.
- ❖ **Pendiente.**- Como existen tres zonas bien definidas, cada zona presenta posee una pendiente, según las cuales a mayor pendiente mayor será la velocidad del flujo; y habrá mayor posibilidad de erosión e inestabilidad de la zona.
- ❖ **Clima.**- Para condiciones climáticas adversas en las que se presentan frecuentes lluvias o alternan intensas sequías, con intensas precipitaciones, ocasionarán la activación de la quebrada.

- ❖ **Tipo de Suelo.-** Dependiendo del tipo de suelo, la capacidad para soportar el efecto erosivo, la permeabilidad, cobertura vegetal, será mayor o menor el aporte de material (orgánico e inorgánico) al flujo.

### 4.3.3 EFECTOS DEL FENÓMENO EN EL TRAMO DE ESTUDIO.

Los efectos en la vía a lo largo de la Panamericana Norte se debieron a la activación de quebradas, desbordes de los ríos, a las fuertes precipitaciones y a los deslizamientos. Estos efectos fueron analizados por el equipo de evaluación del CISMID, conformado por egresados y asesorados por los profesores de la facultad de Ingeniería Civil en 1998, como herramienta de análisis fue definida una clasificación de fallas. A continuación se describen los agentes externos causantes de la destrucción de la vía según esa clasificación.

#### 4.3.3.1 Efectos de las Lluvias en la Vía.

Producido por efecto de las lluvias o del escurrimiento de las aguas sobre la plataforma y los taludes de relleno, provocando desgaste (**Erosión Laminar (Efecto Tipo 1)**) de la capa de rodadura, grietas, etc.

La zona de Coscomba, fue afectada por las intensas lluvias que originaron escorrentía sobre la plataforma de la carretera, y que al desembocar en los puntos de entrega natural dañaron los taludes, debido a la acción de la erosión laminar, como se aprecia en la vista fotográfica.

**Foto N°4.1:** Km.481+000, deterioro del talud y carpeta asfáltica.



### 4.3.3.2 Efectos de las Quebradas en la vía.

Los efectos de la activación de las quebradas en la vía se debieron a las fuertes precipitaciones que originaron grandes flujos, que en su recorrido natural causó daños a los elementos de la infraestructura vial, como son: Alcantarillas, pontones, badenes, terraplenes etc.

En esta clasificación no se considera a los puentes por ser estructuras de mayor envergadura, pero el mecanismo de las erosiones en la estructura es similar, y que por cuestión de orden es que se la ha separado de esta clasificación.

Dada la magnitud de los efectos destructivos producidos por estos flujos de quebrada, es que se procedió a clasificarlos de acuerdo al tipo de daño.

#### a. Erosión Local (Efecto Tipo 2)

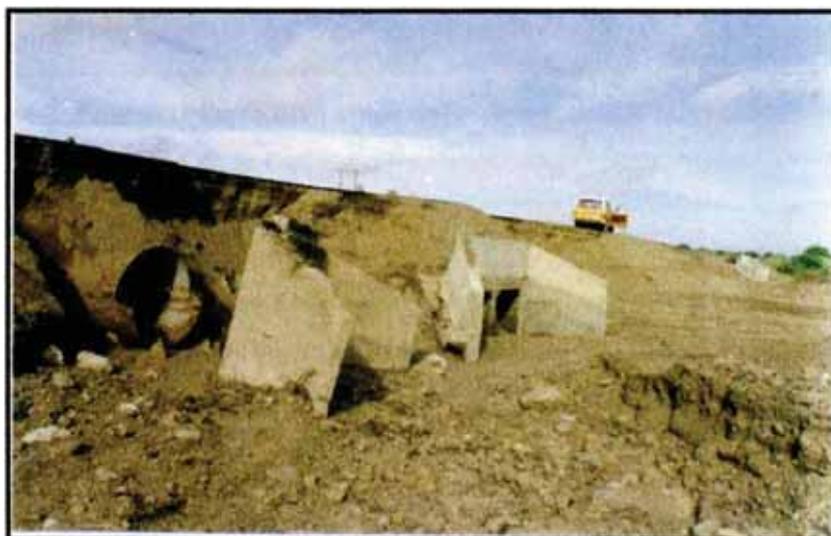
Este tipo de erosiones se produce al pie y alrededor de las estructuras de drenaje (alcantarillas y pontones), es decir se produce los remolinos por importantes cambios de dirección del flujo. Las causas más importantes de la erosión local son las fluctuaciones de fuerzas de presión, sustentación y de corte.

En el caso particular de los pilares, la erosión local es causada por la vorticidad del flujo que resulta del ascenso del nivel aguas arriba y la consiguiente aceleración del flujo alrededor del frontis de la pila.

La erosión local se ha producido en la zona de estudio de la siguiente manera:

- Socavación local en pilas (pontones).
- Socavación local en aleros y cabezales (Alcantarillas y pontones).

**Foto N°4.2:** Alcantarilla ubicada en el tramo Sullana – Desvío Talara.



**b. Erosión Transversal (Efecto Tipo 3)**

Este tipo de erosión se produce en los terraplenes de acceso, es decir, a la entrada y salida de la obra de cruce; esto se da cuando la sección natural del cauce se reduce parcialmente ante la construcción de una obra de drenaje.

En la contracción de una corriente ocurre erosión porque el área es menor, la velocidad media del cortante de fondo es mayor, y por tanto hay incremento en la potencia y la turbulencia de la corriente, causando mayor capacidad de arrastre en la sección contraída afectando principalmente los accesos.

Este tipo de erosión es característico de casi todos los puentes que atraviesan las quebradas a partir del Desvío Talara hasta Aguas Verdes. Y se debió a la reducción de la sección transversal natural de la quebrada por efecto de los accesos, lo que a su vez ocasionó el incremento del poder erosivo del flujo de la quebrada.



**Foto N°4.3:** Ponton ubicado 50m antes del puente careaga, corte parcial en el acceso lado izquierdo de la Carretera Panamericana (Tramo Trujillo – Pacasmayo)

**c. Erosión Regresiva. (Efecto Tipo 4)**

Es el tipo de erosión que progresa en el lecho de la quebrada hacia aguas arriba, se presenta cuando los flujos pasan de un nivel mayor a otro menor en forma brusca, provocando remolinos y por consiguiente erosiones a la salida de la estructura de drenaje y al pie de los terraplenes. Esta erosión se da:

- Al pie de terraplén cuando el nivel del flujo de la quebrada supera la rasante de la vía.
- En la losa de fondo a la salida de alcantarillas o pontones.

Daño generado por el flujo de quebrada, el cual arrastra gran cantidad de sedimentos y palizadas obstruyendo la Alcantarilla. Como consecuencia se producen el desbordamiento y, posteriormente, aguas abajo ocasionan la erosión regresiva que afecta la obra de cruce, comprometiendo la Vía.

**Foto N°4.4:** Erosiones regresivas en la alcantarilla km488+000. debido a la activación de quebradas.



**d. Erosión Lateral (En curvas). (Efecto Tipo 5)**

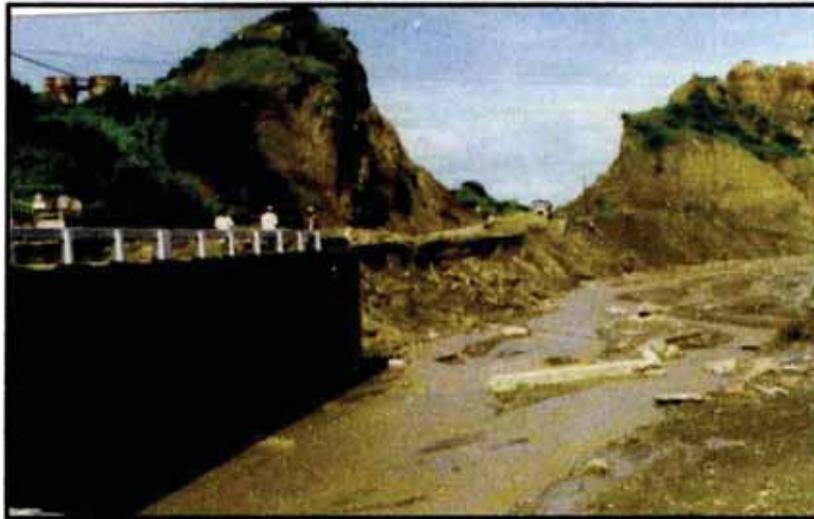
Este tipo de erosión en la carretera, se produce en la parte exterior de las curvas de las quebradas debido a la corriente en espiral que se forma cuando el río cambia de dirección. El flujo espiral se refiere al movimiento de las partículas de agua a lo largo del camino helicoidal en dirección general del flujo. Este flujo existe en canales rectos así como en canales curvos, sin embargo, en un canal curvo el flujo espiral inducido por la fuerza centrífuga es muy pronunciado e irregular a lo largo del codo.

Las corrientes laterales más fuertes aparecen normalmente cerca de la pared externa en la sección media de la curva.

En la vista, se aprecia, el deterioro sufrido en el **terraplén** del acceso norte del puente Tucillal. El cual presenta erosión lateral, por acción de las fuerzas laterales del flujo de la

quebrada, es mayor en la parte externa de la curva.

**Foto N°4.5:** Erosión Lateral de los accesos al puente Tucillal Km.1242.



**e. Erosión Longitudinal. (Efecto Tipo 6)**

Es producto de la activación de un curso de agua al encontrar como obstáculo el terraplén de la carretera. En este caso el flujo discurre en forma paralela a la carretera, ocasionando fuerzas cortantes que erosionan los taludes del terraplén.

El tramo Vía de Evitamiento de Trujillo, fue afectado longitudinalmente debido a los desbordes de la quebrada León, que discurrió paralelo a la vía resultando afectado el terraplén y por consiguiente las bermas.

**Foto N°4.6:** Vía de Evitamiento de Trujillo a la altura de Huanchaquito cerca de 7km erosionados longitudinalmente.



**f. Erosión General (Efecto Tipo 7)**

La erosión general ocurre cuando una avenida en un río o quebrada provoca el colapso de las obras de cruce (alcantarillas, pontones etc.) así como del terraplén de la vía. Se presenta de la siguiente manera:

- Erosión general del acceso de la obra de cruce.
- Erosión general de terraplén y obras de cruce.
- Erosión general del terraplén por ausencia de la obra de drenaje.

Por ejemplo la erosión general del terraplén se presentó en el desborde de la quebrada Cupisnique. Esta quebrada presenta un cauce plano y divagante; los flujos que se produjeron, originaron cortes en la vía en diferentes puntos. Esta quebrada compromete al tramo desde el km646+000 al 650+000 y las zonas afectadas fueron los kilómetros siguientes: km647+800, 649+000, 649+700.



**Foto N°4.7:** Erosión general del terraplén a la altura del km649+700 (El Chilco)

**4.3.3.3 Efectos de las Quebradas o Ríos en Puentes.**

Este tipo de efecto en el tramo de estudio no fue de consideración, ya que los puentes pertenecientes al tramo correspondiente a la Panamericana Norte entre Huarmey y Pacasmayo no sufrieron daños importantes. Por este motivo, a manera de ejemplo nos limitaremos solo a mencionar algunos de estos efectos que se presentaron en los puentes al interior de la Libertad, toda vez que, en el tramo de estudio existen muchos puentes que cuando ocurren eventos como el fenómeno de "El Niño", son los que afrontan este tipo de efecto.

En el mecanismo de estos efectos en los puentes es mediante la Erosión General y Erosión local, es decir, mediante el colapso y el daño del pilar del puente respectivamente. Los conceptos de erosión general y local son similares a lo que significa en la clasificación de efectos en la vía.

A continuación mostramos dos ejemplos de las erosiones mencionadas:

Un primer ejemplo de los efectos de los ríos en los puentes, es el que se sucedió debido a las grandes avenidas del río Chaman, ubicada en la provincia de Chepen distrito de Pueblo Nuevo. Estas avenidas de flujos erosionaron y ejercieron sus efectos en los pilares intermedios del puente que cruza este río, además estas erosiones se agudizaron por el represamiento de las palizadas originando que, progresivamente cedieran los pilares hasta ocasionar la caída de toda la estructura.



**Foto N°4.8:** Puente Pueblo Nuevo, colapso de sus pilares centrales.

Un segundo ejemplo de los efectos de las quebradas en los puentes, es el que se presentó en la quebrada de la vía de penetración a la sierra de la Libertad, ante una avenida importante provocó el colapso del puente ubicado en esta quebrada.



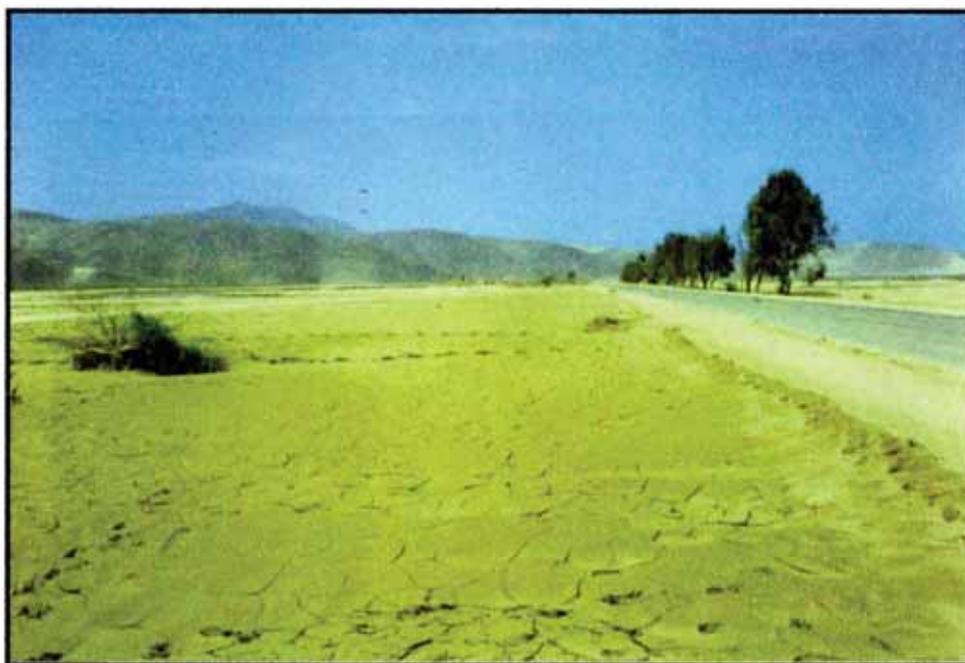
**Foto N°4.9:** Carretera a la sierra, sector Pedregal. La obra de cruce sufrió la erosión general.

#### 4.3.3.4 EFECTOS EN LA VIA DEBIDO A LAS INFILTRACIONES.

Los efectos debido a las infiltraciones, se debieron a que los flujos fueron embalsados a un lado de la carretera, actuando este como dique, lo que originó la infiltración al terreno de fundación, disminuyendo su capacidad de soporte; y ocasionando asentamiento y deterioro del pavimento.

Los flujos embalsados a ambos lados de la carretera se debieron a la insuficiente capacidad o ausencia de las estructuras de drenaje para evacuarlos, así como, por la gran cantidad de materiales de arrastre (flujo de sólidos y palizadas) que obstaculizaron las obras de cruce. A ello habría que añadir, las características topográficas del terreno que no permitieron la evacuación de las aguas hacia ningún lado, ni su movimiento en forma paralela a la vía.

Los efectos que se produjeron en la vía, debido a las infiltraciones, originaron el deterioro de la carpeta asfáltica y la inundación de las zonas adyacentes a ella. Como sucedió en el último evento, en el cual los flujos provenientes de la quebrada río Seco de Jaupa inundaron la vía y las zonas adyacentes a ella, deteriorando el pavimento.



**Foto N°4.10:** Zona inundada los flujos abarcaron grandes extensiones a la altura del Km262+000: Quebrada Río Seco de Jaupa.

#### 4.3.3.5 Efectos de los Deslizamientos en la Vía

Es tipo de efectos no se dieron en el tramo de estudio, por lo que en la presente tesis no se da énfasis a este problema, el cual es tratado en la tesis "Estudio de los Efectos del fenómeno de "El Niño" 1997-98 en la carretera Panamericana Norte tramo Desvió Talara – Aguas Verdes y en la ciudad de Tumbes", por lo que nos limitaremos a mencionar el problema sucedido en el Sector de Mal Paso.

##### a Deslizamiento

Los deslizamientos o derrumbes están íntimamente relacionados con precipitaciones de alta intensidad. La lluvia provoca cambios en los parámetros de resistencia del material, así tenemos, que el esfuerzo cortante disminuye en presencia del agua. Por otro lado, la masa acumulada de agua en el terreno incrementa el peso del bloque ocasionando el rompimiento del equilibrio natural.

En el Sector de Mal Paso ocurrieron deslizamientos debido a las precipitaciones de alta intensidad que provocaron cambios en los parámetros de resistencia. Como se sabe, el esfuerzo cortante disminuye en presencia de la humedad, que unido al peso adicional del agua acumulada provocaron la ruptura del equilibrio natural.

**Foto N°4.11:** Km 1247 Sector Mal Paso.



De acuerdo a lo establecido podemos resumir los tipos de efectos en el cuadro siguiente:

**Cuadro N°4.2**  
**CLASIFICACIÓN DE EFECTOS**

<b>TIPOS DE EFECTOS</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE EFECTOS</b>
1	Erosión Laminar
2	Erosión Local
3	Erosión Transversal
4	Erosión Regresiva
5	Erosión Lateral
6	Erosión Longitudinal
7	Erosión General
8	Daño por infiltración
9	Daño por Deslizamientos

#### **4.3.4 EVALUACIÓN DE DAÑOS DEL TRAMO EN ESTUDIO.**

El siguiente tramo a evaluar se ha dividido en dos tramos:

- ❖ Huarmey – Ovalo Industrial de Trujillo.
- ❖ Ovalo – Industrial de Trujillo – Pacasmayo.

En la evaluación realizada se aplicó los conceptos generales de los diferentes tipos de daño desarrollados en el presente informe, a lo largo del tramo. Mediante el cual podremos determinar las causas que produjeron los diferentes tipos de daño, lo que nos permitirá dar las medidas de mitigación.

##### **4.3.4.1 Tramo Huarmey – Ovalo industrial de Trujillo**

Km247+000 – 248+000,249+200-249+500:

Tipos de daño: 6 y 8

Descripción:

En este tramo al activarse la quebrada los flujos recorrieron paralelo a la Vía(siendo las bermas afectadas: 580m en el primer tramo y 300m en el segundo). Los cuales al superar la plataforma, inundaron la Vía deteriorando el pavimento. Además producto de la inundación, la vía y las zonas adyacentes a ella resultaron cubiertos de sedimentos(limo) a lo largo de este tramo.

Km262+000 –Km272+000.

Tipos de daño: 6

Descripción: Tramo afectado por la activación de Río Seco y Quebrada Pararin. En algunos puntos del trayecto los flujos superaron la plataforma inundándola y erosionando longitudinalmente a la Vía. Estos recorrieron paralelamente a la vía y a lo largo del tramo cubrieron de sedimentos(limos) la plataforma y las zonas adyacentes a ella, afectando a la vía en una longitud de 2320m.

Km290+000+290+650, 291+700-292+000

Tipos de daño: 6 y 8

Descripción: Producto del desbordamiento del río Huarmey, las aguas inundaron la plataforma y erosionaron longitudinalmente la berma(lado izquierdo) en una longitud de 600m y 300m respectivamente.

Km329+600 – km329+760, km330+730 – km330+770.

Tipos de daño: 6

Descripción: Tramos afectados por cauce activado en el km327 el cual recorre paralelo a la vía, provocando erosiones longitudinales en las bermas(200ml).

Km332+100.

Tipos de daño: 6,8

Descripción: Zona inundada, tramo en el cual los flujos provenientes de la Qda la Ramada superaron la plataforma generando el deterioro de la carpeta asfáltica aproximadamente 300m. A la altura del km332+380 los flujos al desaguar aguas abajo, generaron un nuevo cauce(cárcavas), depositando limos a lo largo del área adyacente a la vía, zona carente de drenaje.

Km342+000.

Tipos de daño: 1

Descripción: Siendo afectado el lado derecho de la Vía, donde las escorrentías provenientes de las precipitaciones pluviales recorrieron la plataforma (erosión laminar), las cuales afectaron la berma en 200m.

Km403+340:

Río Nepeña:

Tipos de daño: 6

Descripción: El Río Nepeña al transportar flujos de lodo y palizadas produjo la colmatación de la obra de cruce (Alcantarilla de Ojos Múltiples) la cual resulta ineficiente para drenar este tipo de avenidas, generándose en este tramo inundaciones y erosiones longitudinales en los accesos en una longitud de 900m.

Km424+900 – km426+000.

Tipos de daño: 6

Descripción: Zona de inundación en el cual las precipitaciones provocaron el incremento del nivel de las aguas del bofedal adyacente a la carretera y al río Lacramarca. El incremento del nivel de dicha zona acuífera originó la inundación de la vía y de zonas adyacentes a ella. Siendo la afectada en una longitud de 1416m

km439+940.

Tipos de daño: 6,8

Descripción: En este tramo drena un canal que trabaja básicamente como colector del agua de riego. Este canal es afluente de quebradas que se activaron aguas arriba, Al originarse las precipitaciones trajo consigo flujos, los cuales transportaron palizadas que generaron la colmatación de la alcantarilla; la cual acorta el cauce provocando la inundación de las áreas adyacentes, afectando al pavimento.

Km474+650, 476+300,477+500.

Tipos de daño: 1

Descripción: Tramos que fueron afectados debido a las precipitaciones pluviales, los cuales recorrieron la plataforma, y en los puntos que desaguaron erosionaron el talud de relleno socavándolo y provocando su deslizamiento.

Km478+110 – km478+180.

Tipos de daño: 6, 8

Descripción: Tramo que fue afectado por las quebradas Portachuelo y Simulo, el cual carece de obras de drenaje. Al activarse estas quebradas debido a las precipitaciones, los flujos superaron la plataforma inundándola en una longitud de 70m.

Km478+800 – km478+910.

Tipos de daño: 6

Descripción: Los flujos erosionaron longitudinalmente a la vía (110m) socavando el terraplén, provocando su deslizamiento.

Km480+000 – km480+140.

Tipos de daño: 6

Descripción: Tramo erosionado longitudinalmente (lado izquierdo, 100m).

Km480+830 – km481+540.

Tipos de daño: 6

Descripción: Tramo erosionado longitudinalmente (lado izquierdo, 710m)

Km488+000: alcantarilla tipo losa (15.90\*2.20\*1.25).

Tipos de daño: 4

Descripción: Producto de la colmatación de la alcantarilla, las aguas superaron la vía y al desaguar aguas abajo erosionaron en sentido aguas arriba(regresivamente) afectando los cabezales y al terraplén (720m).

Km514+620 – km521+000.

Tipos de daño: 6

Descripción: tramo afectado por el desborde del río Virú. Los flujos erosionaron longitudinalmente las bermas a lo largo del tramo en una longitud de 1680m.

Km529+400: Alcantarilla.

Tipos de daño: 4 Y 8

Descripción: Colmatación de la alcantarilla e inundación de la plataforma, debido a las crecidas de río seco I. Siendo erosionados regresivamente 110m de berma.

Km556+000 – km558+000.

Tipos de daño: 6,8

Descripción: Zona de inundación, generada por el desborde del río Moche aguas arriba. Las aguas cubrieron la plataforma, deteriorando las bermas y la carpeta asfáltica a lo largo del tramo en una longitud de 1450m.

#### **4.3.4.2 Evaluación del tramo Ovalo Industrial de Trujillo – Pacasmayo.**

La Vía de Evitamiento de Trujillo a lo largo del tramo ha sido afectado por daños que se localizaron entre los km569+000 – km576+000, en el cual bermas(ambos lados), terraplén de la vía y la colmatación de alcantarillas fueron deteriorados debido a la activación de las Quebradas de León y Río Seco.

##### **Vía de Evitamiento.**

Km565+000.

Tipos de daño: 4

Descripción: Los flujos superaron el terraplén y al desaguar en el borde opuesto(aguas abajo) erosionaron regresivamente, socavando el terraplén en una longitud de 80m.

- Km570+000. Tipos de daño: 6 y 8  
Descripción: Tramo en el cual se presentaron erosiones longitudinales (100ml de bermas), e inundación de la plataforma generándose, la rotura de la carpeta asfáltica 80ml.
- Km571+000. Tipos de daño: 6  
Descripción: Tramo erosionado longitudinalmente, siendo afectados 100ml.
- Km572+000. Tipos de daño: 6,8  
Descripción: Tramo inundado, generándose erosiones en la carpeta asfáltica, siendo afectados 150ml.
- Km573+000. Tipos de daño: 8 Y 6  
Descripción: Tramo en el cual los flujos recorrieron paralelo a ambos lados de la Vía y en algunos puntos superaron el terraplén inundando la plataforma, producto de ello resultaron erosionados longitudinalmente las bermas en 200ml (lado izq.) y 280ml(lado derecho). Además 200ml de carpeta asfáltica destruidas, debido a que los flujos recorrieron la plataforma. Del mismo modo se produjo 300ml de corte parcial en la vía debido a las erosiones longitudinalmente(lado derecho).
- Km574+000. Tipos de daño: 7 y 6  
Descripción: Tramo que presenta erosiones generales y erosiones longitudinalmente. En el cual 200ml de Vía fueron cortados y las bermas resultaron longitudinalmente dañadas, en el lado derecho 1080ml, en el lado izquierdo 80ml.
- Km576+000. Tipos de daño: 7, 6 Y 8  
Descripción: Tramo en el cual se generaron erosiones generales, erosiones longitudinalmente e inundaciones. Presentando 800ml afectados por las infiltraciones, 300ml de corte de vía(erosión general) y bermas erosionadas longitudinalmente 700ml a ambos lados de la vía.
- Km577+000. Tipos de daño: 6  
Descripción: Tramo erosionado longitudinalmente(bermas) tanto izquierdo como derecho(500m).
- km578+000, km579+000. Tipos de daño: 6  
Descripción: Tramos erosionados longitudinalmente a ambos lados de la Vía, 1000ml y 800ml respectivamente.

Km580+000. Tipos de daño: 6,8  
Descripción: Tramo erosionado longitudinalmente e inundado, siendo afectada longitudinalmente 300m y en la carpeta asfáltica(200ml).

#### **Continuación de la Panamericana Norte.**

Km574+500: Tipos de daño: 4  
Descripción: Los flujos, superaron la plataforma en estos tramos y al desbordar aguas abajo generaron erosiones regresivas que provocaron la rotura parcial del borde de la Vía (400m).

Km576+540 – km576+884. Tipos de daño: 1  
Descripción: Tramo afectado por precipitaciones pluviales, generando erosiones laminares (280m)

Km593+00-Km595+00: (Chiclin). Tipos de daño: 8,7  
Descripción: Zona inundada, en este tramo la rasante de la vía esta a nivel del terreno del área agrícola. Las aguas provinieron del desbordamiento del río Chicama, resultando 2km de carrera afectados de los cuales 150m de pavimento destruido.

km597+350. Tipos de daño: 4  
Descripción: Erosiones regresivas que se dieron ante la crecida del río Chicama, generándose la socavación y corte del terraplén 20m (aguas abajo) ubicada entre el puente y el Pontón Careaga que son las obras de cruce del río en mención.

Km618+530. Tipos de daño: 1  
Descripción: Las escorrentías superficiales producto de las precipitaciones pluviales erosionaron laminarmente afectando los bordes de la vía en 50m.

Km621+460 – km621+530. Tipos de daño: 6  
Descripción: Erosiones longitudinales provocadas por los flujos de activación de quebrada que generaron desgastes en los bordes de la vía que carece de drenaje (70m).

Km621+627 – km621+720, Km636+550 – km636+660. Tipos de daño: 6

Descripción: Erosión longitudinal en bermas(lado izquierdo) 203m.

Km646+000 - 646+272. Quebrada Cupisnique

Tipos de daño: 4,6, 7 y 8

Descripción: Los flujos provinieron de la activación de la quebrada Cupisnique, la cual se caracteriza por presentar aguas arriba un cauce no bien definido, donde su margen derecha es prácticamente llana. Es uno de las zonas por donde se produjeron los desbordes que causaron la inundación y deterioro de la vía. Estos flujos originaron la colmatación de la alcantarilla tipo losa de dimensiones 13.30\*3.0\*1.56 (L x A x H). Del mismo modo superaron al terraplén debido a su poca altura; aproximadamente 1m. Estos a lo largo del tramo produjeron erosiones regresivas, longitudinales, generales e inundaciones.

Estos efectos de la quebrada hacia la carretera se produjeron desde el Km.646 – 650+000

km649+280 – 649+450.

Tipos de daño: 6 y 8

Descripción: Tramo afectado por los flujos provenientes de la quebrada Cupisnique, los cuales transportaron palizadas y debido a la escasa área de drenaje genero la colmatación de la Alcantarilla tipo losa 12.80\*42.55\*1.41(L x A x H) tres secciones ubicada el km649+283, lo que produjo la obstrucción al paso de los flujos y al no ser drenado estos continuaron su recorrido produciendo erosiones longitudinales cortando a la vía en una longitud de 170m e inundación de la vía y las áreas adyacentes.

Km649+450 – km649+700.

Tipos de daño: 7

Descripción: Tramo en el cual los flujos erosionaron progresivamente hasta ocasionar el corte en el terraplén en una longitud de 250m.

Km649+700 – km650+000.

Tipos de daño: 6

Descripción: Tramo afectado por las erosiones longitudinales resultando la berma del lado izquierdo erosionada en 300m.

Km650+ 000.

Tipos de daño: 6

Descripción: Los flujos colmataron la alcantarilla tipo losa de dimensiones 12.80\*6.60\*1.68(LXAXH) los cuales recorrieron paralelo a la vía erosionándolo longitudinalmente, afectando la berma(lado izquierdo) en una longitud de 190m.

Km653+240–653+360, 653+640 – 653+740,

Tipos de daño: 6

Descripción: Tramos erosionados longitudinalmente, resultando afectadas las bermas del lado derecho 220m.

km654+540-654+740.

Tipos de daño: 6

Descripción: Tramos erosionados longitudinalmente, resultando afectadas las bermas del lado derecho en 160m.

Km656+000.

Tipos de daño: 6

Descripción: Tramo erosionado longitudinalmente donde la berma izquierda resulto afectada en una longitud de 350m.

Km656+520 – km656+530.

Tipos de daño: 7

Descripción: En este Tramo los flujos afectaron a la Vía en una longitud de 10m, debido a que los flujos al no poder drenar aguas abajo, fueron erosionando progresivamente a la vía hasta provocar su colapso.

### 4.3.5 Determinación de los tramos críticos.

Para la determinación de los tramos críticos se consideró:

- I. La intensidad y magnitud de los daños observados.
- II. La deficiencia de los sistemas de drenaje.

#### I. INTENSIDAD Y MAGNITUD DE LOS DAÑOS

La metodología aplicada en la evaluación del tramo nos permitió determinar el comportamiento de la vía ante los efectos del evento esto se resume en el cuadro N°4.3.

**Cuadro N°4.3**

TIPO	DESCRIPCION DE EFECTOS	UNIVERSO			POBLACIONES			Total	%
		Unid.	Cant.	Total %	Huarmey Chimbote (195 Km.)	Chimbote Trujillo (113 Km.)	Trujillo Pacasmayo (110 Km)		
Tipo1	Laminar	Km	418	100	0.20	0.59	0.33	1.12	0.27
Tipo2	Local	Ptos	-	100	-	-	-		
Tipo3	Transversal	Ptos	-	100	-	-	-		
Tipo4	Regresiva	Km.	418	100	-	0.83	0.84	1.67	0.40
Tipo5	Lateral	Km	-	100	-	-	-		
Tipo6	Longitudinal	Km	418	100	4.26	8.10	8,01	20.37	4.90
Tipo7	General	Km.	418	100	0	0	1.23	1.23	0.29
Tipo8	Infiltración	Km	418	100	1.96	1.74	2.32	6.02	1.44
Tipo9	Deslizamiento	Ptos	-	100					
					<b>6.42 Km.</b>	<b>11.76 Km.</b>	<b>12.73 Km.</b>	<b>30.91 Km.</b>	<b>7.4%</b>

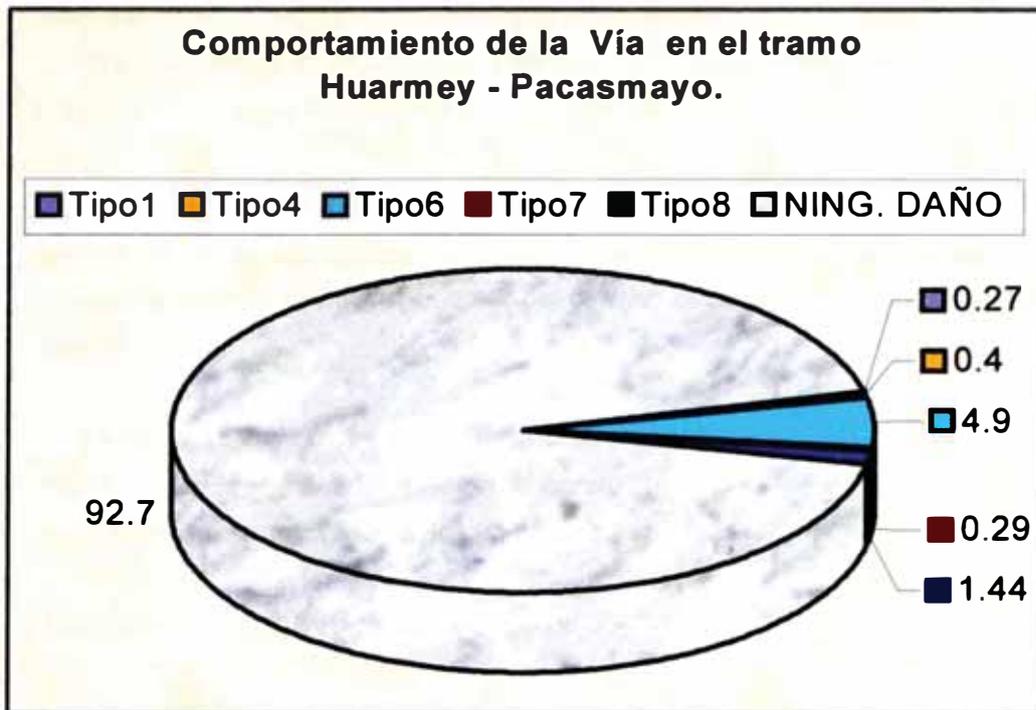


Fig.4.3 En el esquema se muestra el porcentaje de afectación de acuerdo al tipo de daño.

De acuerdo al cuadro N°4.3 y a las consideraciones mencionadas se determino que el tramo más afectado fue el de Trujillo - Pacasmayo, en el cual están inmersos los sub tramos: Vía Evitamiento de Trujillo, Chiclin - Careaga, Sector La Arenita y El Chilco. Donde los tipos de erosiones que más predominaron fueron las erosiones longitudinales, generales e infiltraciones.

## II. DEFICIENCIA DEL SISTEMA DE DRENAJE

En todo el tramo, las obras de drenaje se caracterizaron por su insuficiencia para evacuar los flujos de quebradas y las grandes avenidas de los ríos; siendo en mayor proporción en el tramo comprendido entre Trujillo y Pacasmayo. En este tramo se caracterizaron por el uso de obras de drenaje como: Alcantarillas de celdas múltiples, Pontones con poca altura libre (1.5-2m), Obras de drenaje que estrechaban el ancho natural del cauce, falta de protección a la entrada y salida de las obras de drenaje etc. Así mismo si consideramos que en este tramo se produjo la mayor afectación debido a las quebradas y desbordes de río con respecto al tramo Huarney – Trujillo, por lo que determinan al tramo Trujillo – Pacasmayo como crítico.

### 4.3 CONCLUSIONES:

- Se establece que las zonas afectadas por el fenómeno son las siguientes: El Gramadal, Las Zorras, Huarmey, San Miguel, Huambacho, Bruce, Lacramarca, Coshco, Coscomba, Curva Jiménez, Moche, Vía Evitamiento de Trujillo, Chiclin - Puente Careaga y el Chilco.
- Los efectos en la vía a lo largo de la Panamericana Norte se debieron a la activación de quebradas, desbordes de los ríos, a las fuertes precipitaciones y a los deslizamientos. De acuerdo a esto los agentes causantes del colapso de las estructuras y elementos de la vía fueron:
  - Efecto de las quebradas en el terraplén de carretera.
  - Efectos de las quebradas o ríos en puentes.
  - Efectos de las quebradas o ríos en alcantarillas.
  - Efectos de las lluvias en la vía.
  - Efectos de los deslizamientos en la vía.

Presentándose en el tramo Huarmey - Pacasmayo: Efectos de la quebrada en el terraplén, efectos de las quebradas o ríos en alcantarillas y efectos de las lluvias en la vía.

- Los ríos que se desbordaron fueron: Huarmey, Lacramarca, Moche y Chicama; y las quebradas que se activaron fueron: Río seco de Jaupa, Pararín, El León, La Arenita y Cupisnique. De los desbordes más perjudiciales producidos, fue hecho por el río Chicama, el cual afectó a la vía y al poblado de Chiclin a la altura del km.595+000.
- El tipo de erosión que más predominó a lo largo del tramo Huarmey - Pacasmayo fue la erosión longitudinal, el que se presentó en los tramos Huarmey - Chimbote, Trujillo - Pacasmayo en mayor grado y en menor proporción entre Chimbote - Trujillo. Lo que se debió a la insuficiencia hidráulica de las obras de cruce que se colmataron ante el pase de los flujos de escombros, estos flujos recorrieron la vía longitudinalmente erosionándolo en su recorrido.
- El tramo que presentó los mayores porcentajes de daños fue entre la vía Evitamiento de Trujillo - Pacasmayo, donde las erosiones laminares, longitudinales, generales e infiltraciones destruyeron la vía provocando la paralización vehicular y el aislamiento de la zona Norte del país. Los sectores afectados en el tramo en mención fueron: Vía de Evitamiento de Trujillo, Chiclin- Puente Careaga, sector La Arenita y el sector Cerro el Chilco, siendo este último el sector más afectado.

- El tramo en estudio ( Huarmey – Pacasmayo) fue afectado en 30 Km. Aproximadamente, con un porcentaje de afectación de 7.4%, correspondiendo a Huarmey – Trujillo, 18 Km.; vía de Evitamiento de Trujillo, 7km; y Trujillo – Pacasmayo, 5km.
- Es también necesario destacar la insuficiencia de canales o drenes agrícolas en estas circunstancias, al sobrepasar su capacidad malogran cultivos e inundan las poblaciones como Casma, Huarmey, Chiclin.
- Una de las causas del colapso de los terraplenes en zonas planas anegadizas como el Chilco, donde el trazo de la carretera es perpendicular a la quebrada, se debió al embalse de las aguas por presencia del terraplén, que en su mayor parte fue construido en relleno.
- Las alcantarillas de ojos múltiples a sí como los puentes con pilares intermedios son susceptibles a colmatarse, debido a, que provocan el estancamiento de las aguas por las palizadas, como quedó demostrado en el último evento. Estas son características de las obras de cruce en el tramo de estudio, como el puente Huambacho (río Nepeña), el puente Arenita(quebrada Arenita) entre otros, las cuales se colmataron y generaron los desbordes que afectaron a la vía.
- Los trabajos de prevención a lo largo del tramo consistieron en limpiezas de alcantarillas, limpieza de cunetas, encauzamientos y construcción de algunas obras de drenaje. Los que aminoraron los efectos del Fenómeno de "El Niño".

# *CAPITULO V*

## *MEDIDAS DE MITIGACION EN LOS TRAMOS CRITICOS*

### **5.1 GENERALIDADES**

Cada vez que se presenta el fenómeno de El Niño, la carretera Panamericana Norte es afectada; siendo el tramo entre Piura y Tumbes el que mas sufre estos efectos. Pero en este último evento los efectos a la vía en mención se extendieron hasta los departamentos de la Libertad y Ancash. En estos departamentos la carretera Panamericana sufrió los efectos del fenómeno que paralizaron esta parte del Norte. Y es en estos tramos donde el Niño nos ha dejado lecciones, ya que nos enseña que es tiempo de aprender a convivir con este tipo de fenómenos naturales. Por lo cual las enseñanzas dejadas deberá hacernos reflexionar sobre lo que sucedió, de manera que en el futuro nos encontremos mejor preparados para hacer frente a este fenómeno, por lo tanto es indispensable plantear las medidas de mitigación ante futuros embates del fenómeno.

Son las medidas de mitigación el motivo del presente capítulo, que plantearemos en los tramos críticos determinados en el acápite anterior, tramos que fueron severamente afectados tanto por la activación de quebradas así como por los desbordes de los ríos, y que fue el comprendido entre Trujillo y Pacasmayo, en el cual están inmersos los tramos de Evitamiento de Trujillo, Chiclín-Puente Careaga y El Chilco. Es en estos tramos donde plantearemos las medidas de Mitigación a fin de reducir los efectos del fenómeno de "El Niño". Así mismo las medidas planteadas consideran las eventualidades ligadas a las características del evento, como también las limitaciones económicas de un país como el nuestro.

### 5.1.1 CAUSAS DE LOS DIVERSOS TIPOS DE DAÑOS

Las fuertes precipitaciones; producto del fenómeno "El Niño", ocasionaron fenómenos como: Inundaciones, Huaycos etc. Estas precipitaciones ocurridas en la zona saturaron y erosionaron los materiales de sustentación, produciendo el colapso de la plataforma actual y obras de drenaje, en parte estos perjuicios se debieron a demasiada agua y drenaje insuficiente.

De acuerdo a la clasificación realizada en el capítulo anterior, los agentes externos causantes del colapso de la vía se clasificaron como tipos de daños y son los siguientes:

- a. **Erosión de la vía por efecto de las quebradas.**
  - Efecto tipo 2 - Erosión Local.
  - Efecto tipo 3 - Erosión Transversal.
  - Efecto tipo 4 - Erosión Regresiva.
  - Efecto tipo 5 - Erosión Lateral.
  - Efecto tipo 7 - Erosión General.
  
- b. **Infiltración en la vía por efecto de la formación de lagunas.**

Efecto tipo 8 - Infiltración.
  
- c. **Derrumbes en la vía por efecto de los deslizamientos.**

Efecto tipo 9 - inestabilidad de taludes en corte y relleno.
  
- d. **Efecto directo de las lluvias en la vía.**

Efecto tipo 1 - Erosión Laminar.

#### 5.1.1.1 Causas de la erosión por efecto de las quebradas.

Las causas más importantes de la erosión fueron las siguientes:

- a. **Aumento de caudal.**- cuando ocurre una avenida o simplemente un aumento de caudal, también aumenta: la velocidad media de la corriente, la fuerza tractiva y la capacidad de transporte. Esta origina colmatación de las obras de drenaje, erosión general, erosión local en determinados puntos; erosión regresiva y transversal en los terraplenes.  
Cuando el aumento de caudal se combina con otras circunstancias, los fenómenos de erosión pueden ser muy grandes. El aumento del caudal es causa frecuente de erosión.
  
- b. **Interrupción del Transporte Sólido.**- Un río o quebrada tiene una tendencia hacia el estado de equilibrio. Si por alguna circunstancia se disminuye, el aporte sólido, el río o quebrada conserva su capacidad de transporte, pero como posee menos sólidos, obtiene éstos del lecho fluvial. La consecuencia es la erosión generalizada y la consiguiente profundización del cauce.

- c Estrechamiento del cauce.-** Muchas veces, por diversas circunstancias, se produce el estrechamiento del ancho de un tramo fluvial. Esto ocurre, cuando se ha ejecutado un encausamiento del río en el que se ha exagerado la disminución de su ancho. Otras veces los estrechamientos excesivos tienen que ver con la construcción de puentes, pontones o alcantarillas. Cualquiera sea el origen del estrechamiento, siempre determina una disminución de la sección transversal, lo que implica el aumento de la velocidad y de la capacidad de transporte de la corriente. El resultado es la profundización del cauce.

#### 5.1.1.1.1 Causas de la erosión Local

La erosión local en estribos, aleros y pilas se genera por perturbación locales en el flujo, tales como vórtices y remolinos.

La erosión local ocurre en regiones de flujo uniforme, donde la mezcla agua sedimento es acelerada o desacelerada. Las causas más importantes de la erosión son las fluctuaciones de fuerza cortante como: Presión, sustentación y cortantes.

Asimismo, la erosión local se produce por el aumento del caudal. El cambio de flujos de la quebrada, al encontrar reducida su área de drenaje en la zona de contacto, falta de encausamiento y obras de protección de los pilares, aleros y estribos de las estructuras.

#### 5.1.1.1.2 Causas de la erosión transversal

La erosión transversal se produce por:

- Aumento del caudal en el río o quebradas.
- Aumento de la velocidad originada por la disminución de la sección transversal.
- Interrupción del transporte sólido.
- Estrechamiento del cauce, producido por la construcción de terraplenes de acceso.
- Falta de encausamiento y obras de Protección en los terraplenes de acceso.
- Ineficiencia de la obra de cruce al drenar el flujo superficial.

#### 5.1.1.1.3 Causas de la erosión regresiva.

Las causas más importantes fueron:

- Aumento del caudal de río o quebrada, produciendo que el flujo pasara por encima de la rasante del pavimento.
- Interrupción del transporte sólido, que produjo la colmatación del sistema de drenaje y en consecuencia el paso del flujo por encima de la rasante de la vía.
- Por la inexistencia del sistema de drenaje, donde el flujo pasó por encima del terraplén de la vía.
- Por la falta de colchón dissipador de energía en el lecho de la quebrada, aguas debajo de la obra de cruce.

- Por falta de protección de enrocado u otras defensas del talud de los terraplenes, compuestos de material fino y erosionable.

#### **5.1.1.1.4 Causas de la erosión lateral o longitudinal**

Las causas fueron:

- Por la activación de las quebradas, como consecuencia de las fuertes lluvias que discurrieron paralelo a la vía.
- Por el cambio de dirección en el flujo de las quebradas.
- Inexistencia del sistema de drenaje, donde la quebrada discurrió paralelo a la vía.
- Por ser flujo de la quebrada paralela a la vía.

#### **5.1.1.1.5 Causas de la erosión general**

Las causas más importantes de la erosión general son:

- La socavación general del cauce y obra de cruce, producida durante el flujo de una avenida, por aumento de la capacidad de transporte del río.
- Por ser la zona topográficamente plana y ondulada, el curso de agua fue divagante, provocando el cambio de flujo de la quebrada.
- Por ineficiencia en el diseño hidráulico de las obras de cruce.

#### **5.1.1.2 Causas de los problemas de Infiltración.**

Las causas de la infiltración en los terraplenes, fueron:

- Por la formación de "Lagunas artificiales" adyacentes a la carretera, producidas por las intensas lluvias, desbordes de ríos y quebradas, etc.
- La formación de lagunas por la incapacidad de drenaje de las aguas pluviales en zonas topográficamente planas.
- Falta de protección contra la infiltración en los terraplenes, etc.

#### **5.1.1.3 Deslizamientos.**

Las causas se debieron a la presencia de humedad excesiva, que vuelve inestable la masa de tierra.

También se produce, cuando el agua se desliza por los taludes de corte o de relleno, provocando la erosión y deslizamiento del material.

#### **5.1.1.4 Causas de la Erosión Laminar.**

Las causas se debieron a:

- La precipitación pluvial directa en la plataforma.
  - Sobresaturación en la vía por falta de mantenimiento de cunetas y alcantarillas o por ausencia de ellas. Sistema de drenaje inadecuado.

## 5.1.2 MEDIDAS CORRECTIVAS A LOS DIVERSOS TIPOS DE EFECTOS.

Ante los efectos del fenómeno de El Niño, surge la necesidad de dar las medidas que la controlen. En el caso de la vía, como es la carretera Panamericana Norte, las erosiones afectaron sus elementos, destruyendo de esta manera cientos de km a lo largo de ella, constituyéndose así en un problema su control.

Para solucionar el problema de la erosión existen varias soluciones, como pueden ser:

- Utilización de cubierta vegetal (cobertura)
- Tratamientos de drenaje
- Emulsiones bituminosas
- Obras de intervención (Cunetas de guarda)
- Revestimiento de taludes etc.

Actualmente se pueden utilizar materiales sintéticos diversos que pueden solucionar el problema, dentro del campo de los geosintéticos.

### 5.1.2.1 MATERIALES PARA EL CONTROL DE EROSION Y SEDIMENTACION

A continuación se describe en forma genérica algunos materiales utilizados para el control de la erosión. Estos materiales han evolucionado y continúan su expansión a una gran velocidad. En la actualidad representan la espina dorsal, de la industria para el control de la erosión y sedimentación, transformadores del paisaje, que en algunos casos son provocados por el hombre.

#### a. GEOTEXTIL

Es un filtro, napa ó lamina formada por fibras sintéticas y unidas de diversas formas formando un filtro homogéneo, donde una de las funciones principales es dejar pasar el agua y retener finos. Por tanto y como consecuencia de esto, los geotextiles se pueden utilizar para evitar la erosión en diversas aplicaciones, confinando los finos y dejando una libre circulación de agua, revistiendo posteriormente estos geotextiles con algún material. (ejm. Riveras de ríos, Taludes etc.). De la misma manera se pueden utilizar en sistemas de drenaje debido a esta capacidad de retener finos y dejar pasar el agua (ejemplo, Zanjas de drenaje rodeadas de geotextil). También pueden formar parte de un muro verde de contención utilizando geotextiles de alta resistencia a tracción para resistir el empuje del terreno.

Los geotextiles pueden ser de dos tipos:

- Tejidos: Con dos direcciones de fibra (trama y urdimbre)
- No tejidos: las fibras ó filamentos están unidas de manera aleatoria, no teniendo ninguna dirección de fibra definida. Estos tipos de geotextil se utilizan mucho más en el control de la erosión y el drenaje, debido a tener una mayor permeabilidad que los geotextiles tejidos.

**b. GEOGRIDS O GEOMALLAS**

Los geogrids o geomallas han tenido un rápido crecimiento dentro del área de los geosintéticos. Los geogrids son mallas plásticas formados de una configuración muy abierta (estos tienen grandes aberturas). Los geogrids son tensados tanto por propiedades físicas mejoradas o hechas en máquinas tejedoras por métodos únicos. Existen al menos 25 áreas de aplicación, pero generalmente estas funcionan como materiales de refuerzo.

**Aplicaciones:**

- Su aplicación principal es para refuerzo y para trabajos de Refuerzo de concreto

**Estabilización de:**

- Taludes
- Gaviones
- Obras marinas
- Terraplenes y otros

**c. GEONETS O GEORED**

Las geomallas o algunas veces llamadas "geospacers " constituye otra especialidad dentro del área de los geosintéticos. Ellos están formados usualmente de listones o barras de polímero, colocados en forma paralela o con cierto ángulo. Cuando las barras forman entre sí grandes aberturas originan una configuración parecida a la red. Su función de diseño esta completamente dentro de la actividad del drenaje. Donde ellos están siendo usados para hacer converger fluido de todo tipo.

**d. GEOMEMBRANAS :**

Las geomembranas representa al otro grupo de los geosintéticos. Esta hecho de material no poroso, su representación es de hojas delgadas de plástico o caucho, se usa principalmente para revestir y cubrir estructuras de almacenamiento de agua. Ahora bien, su función elemental es la ser una barrera ante el agua o gas. Sin embargo el rango de aplicación es amplio y al menos treinta aplicaciones individuales han sido desarrolladas en la Ingeniería Civil.

**Aplicaciones:**

La Geomembrana cumple la función principal de impermeabilización en obras civiles, geotécnicas y ambientales en trabajos de:

- Manejo de desechos sólidos
- Lagunas de oxidación
- Reservorios
- Proyectos hidráulicos

- Canales de conducción
- Almacenamiento
- Lagunas de tratamiento de desechos de crudo

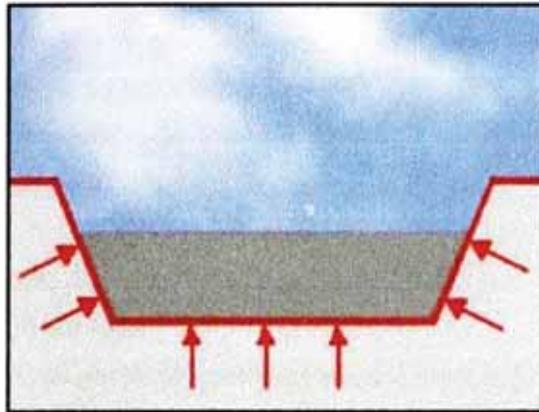


Fig. 5.1. aplicación de las geomembranas en canales de Conducción.

#### e. **GEOCOMPUESTOS:**

Están formados por uno ó dos geotextiles unido a un producto relacionado, cumpliendo diversas funciones. A continuación describimos los geocompuestos drenantes.

**Geocompuestos drenantes:** están formados por un geotextil uno de los siguientes productos:

- Georred de polietileno
- Lámina de nódulos
- Poliamida

La función de los tres es la misma, dejar pasar el agua a través del Geotextil conduciendo esta por el producto relacionado anteriormente indicado. Es un drenaje superficial tanto en superficies horizontales, taludes o superficies verticales. El utilizar unos u otros depende de su transmisividad, sus resistencias mecánicas, la inclinación de la superficie a tratar y la profundidad en caso de ir vertical.

#### f. **GEOCELDAS**

La forma como este geosintético trabaja, se debe a la forma como esta construido a partir de celdas tridimensionales que unidas entre sí dan la apariencia de un panel. La altura de estas celdas es de 20cm aproximadamente, estas celdas se rellenan con gravas, arena o inclusive concreto, dependiendo de su aplicación; cuando se desea revegetar, el suelo que aloja en cada celda es fertilizado y se adicionan semillas. El suelo no puede escapar y luego podrá cubrirse con técnicas temporales o permanentes. Como se puede requerir una cobertura de la superficie expuesta del suelo, la vegetación no puede desarrollar un volumen radicular extenso, por que las

paredes de cada celda impiden el crecimiento. El sistema de geoceldas tienen un límite en la velocidad del agua a pasar sobre ella de 2 a 3 m/seg., a mayores velocidades tiende a lavarse el material o inclusive bajo condiciones de mayor esfuerzo cortante en la superficie del revestimiento (Chen y Anderson, 1986).

Cuando los esfuerzos son grandes, entonces las geoceldas pueden rellenarse con mortero o concreto, así no se verá afectado por las fuerzas de corte y altas velocidades del agua. Para evitar problemas en la fundación del sistema, se coloca usualmente un geotextil que cumpla adecuadamente su función de filtro.

- La instalación de un sistema de geoceldas incluye:
- Preparación del lugar
- Colocación del geotextil y colocación de la Geocelda, o ensamble.
- Bombeo del mortero estructural o concreto.
- Inspección de las costuras de campo, cremalleras, conectores, etc.



Fig.5.2 Utilización de las Geoceldas en el revestimiento de canales

#### **g. GAVIONES**

Los gaviones son contenedores rectangulares elaborados con mallas eslabonadas en forma hexagonal para ser rellenas con piedra de mano. Estos contenedores se hacen bajo un proceso industrial y en el que se puede adicionar un revestimiento de PVC para proteger el metal de los ambientes corrosivos. De igual forma pueden tener diafragmas para aumentar su resistencia y mantener la forma durante el proceso de llenado.

La ventaja del gavión es su flexibilidad, duración, permeabilidad y economía según sea el lugar del proyecto frente a estructuras rígidas. El desarrollo de plantas puede ser beneficiado en la medida que el gavión favorezca el depósito de sedimentos en los vacíos del gavión. Un alto

porcentaje de gaviones posee en su contacto con el suelo, un geotextil que sirve como elemento filtrante, los que pueden ser No Tejidos o tejidos monofilamento. Las funciones principales de estos geotextiles son las de reducir las presiones hidrostáticas, evitar el lavado de finos por movimientos del agua y facilitar la captura de sedimentos.



**Fig.5.3** Aplicación de los Gaviones en canalizaciones

#### **h. GEOBOLSA**

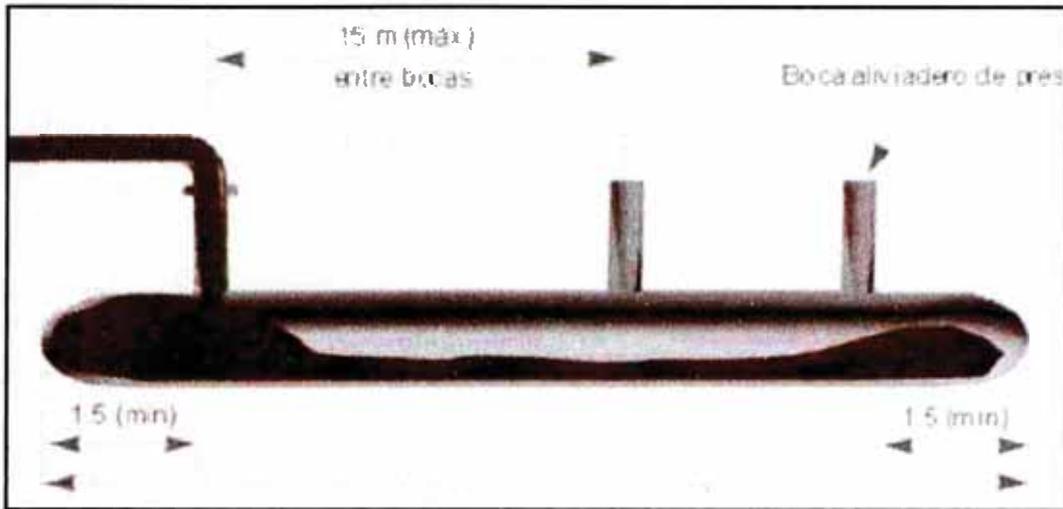
Una geobolsa es un tubo fabricado con un geotextil permeable al agua pero impermeable al paso del material del suelo, llenado con arena o material de drenaje. La geobolsa tiene orificios de entrada y salida a lo largo del mismo (ver fig). El tubo puede llenarse en tierra, por ejemplo en forma de polders para ganar terreno al agua, terraplenes, o bajo el agua, por ejemplo en escolleras offshore, zócalos de playas elevadas, polders de islas artificiales o para interrumpir canales formados por corrientes (de marea). Cuando se instala un tubo bajo el agua, antes de llenarlo debe considerarse el efecto de boyado que actúa sobre el geotextil del tubo, como también las características de decantación del material de dragado.

En cuanto a la fabricación de las geobolsas que es en base a geotextiles de alto módulo con filamentos tridimensionales, esto permitirá dar soluciones en menor tiempo y minimizar al máximo los daños ambientales, ya que se trata de inyección a presión de materiales dragados o succionados del sitio, directamente a la geobolsa.

Así mismo la geobolsa es un contenedor estructural que confina el material creando una solución altamente flexible, de excelentes características físicas y mecánicas para el control de los más variados fenómenos que se pueden presentar en el medio ambiente.

Las geobolsas, llenadas por medios hidráulicos y/o mecánicos con materiales de dragado, se han utilizado con éxito en aplicaciones de ingeniería hidráulica y costera tales como protección de costas y escolleras.

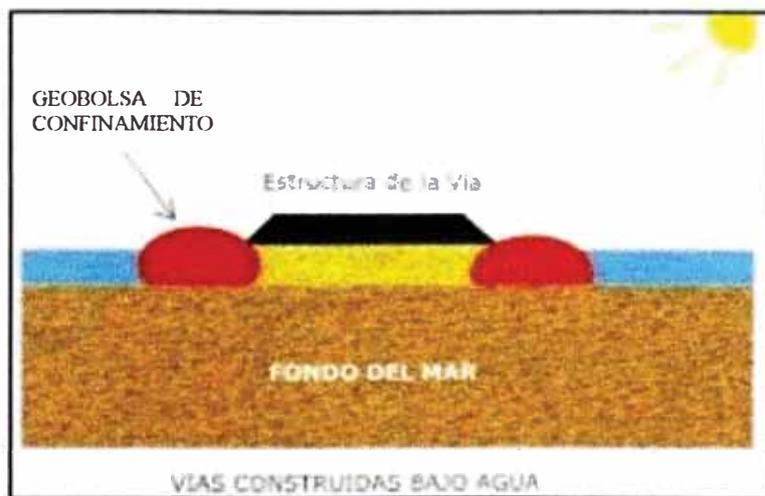
También puede usarse para almacenar y aislar materiales contaminados, por ejemplo los que se obtienen del dragado de los puertos, y/o para utilizar estas unidades como terraplenes en obras de recuperación.



**Fig. 5.4** Esquema de una Geobolsa, en el que se muestra los orificios de entrada y salida y la distancia entre ellas.

**Aplicaciones:** Geobolsas para el control de:

- Inundaciones o desbordamientos
- Crecientes de ríos
- Mareas altas
- Direccionamiento de flujos
- Rompeolas
- Muros altamente flexibles



**Fig. 5.5** Aplicación de los Geobolsas, vías construidas bajo agua

### 5.1.2.2 MEDIDAS CORRECTIVAS.

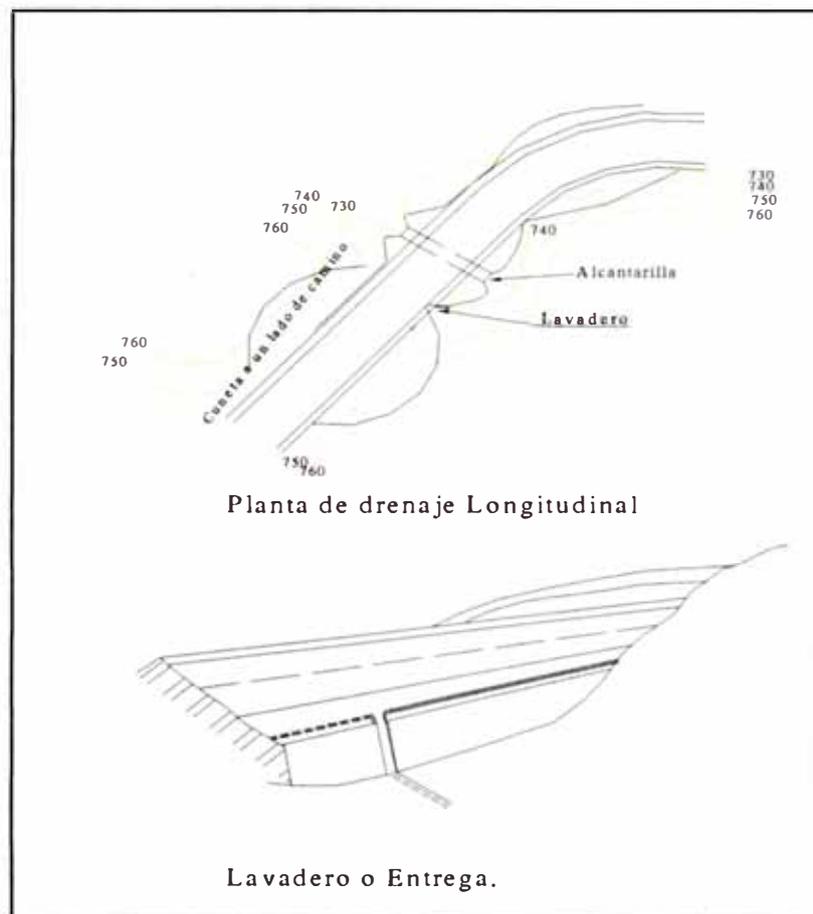
A continuación mencionaremos algunas medidas correctivas para minimizar o prevenir los diversos tipos de daños de acuerdo a la clasificación realizada en el estudio.

#### I. Erosión Laminar

El problema se presenta por la presencia de excesiva agua (agua superficial) y al drenaje insuficiente o inexistente, generando grietas, peladuras en la superficie de pavimentada.

Las medidas correctivas al problema que origina el agua a la carretera debido a las precipitaciones son las estructuras de drenaje, cuya función y objetivo es atrapar conducir y evacuar el agua de la zona de interés, siendo estas estructuras las siguientes:

- ❖ Estructuras de recojo de agua pluvial cunetas.
- ❖ Estructuras de evacuación de aguas.



**Fig. 5.6** Estructuras de drenaje Longitudinal y lavaderos que evitan los efectos del agua superficial en la superficie pavimentada.

## II. Erosión Local

En general se pueden usar tres métodos básicos para la protección de estructuras contra la erosión local.

La primera es prevenir el desarrollo de vórtices dañinos; el segundo es proporcionar protección para detener el desarrollo del hueco de erosión; y tercero es reemplazar la cimentación de la estructura a la misma profundidad del hueco de erosión más profundo.

Estas medidas protectivas, tanto para minimizar la socavación y prevenir en las cimentaciones, consideran pilares con diafragmas base(collar horizontal o vigas collarín) y pilares del tipo múltiple cilíndrico los cuales minimizan considerablemente la socavación. La protección de la cimentación se realiza mediante capas gruesas de piedra o losas alrededor de los pilares y la construcción de diques de encausamiento.

Deben de evitarse los encauzamientos que no tienen "uña" de cimentación y los que se hacen con piedras de poco tamaño y peso.

## III. Erosión Transversal

El estrechamiento del cauce en la zona de contacto origina la socavación transversal, generalmente a los accesos de las obras de cruce. Para evitar este tipo de erosión no se debe de reducir el ancho del cauce, las obras de cruce a proyectarse deben permitir el paso natural de las palizadas y flujos de escombros.

Además se debe de proteger las márgenes al ingreso y salida de la obra de cruce mediante el uso de gaviones.

## IV. Erosión Regresiva

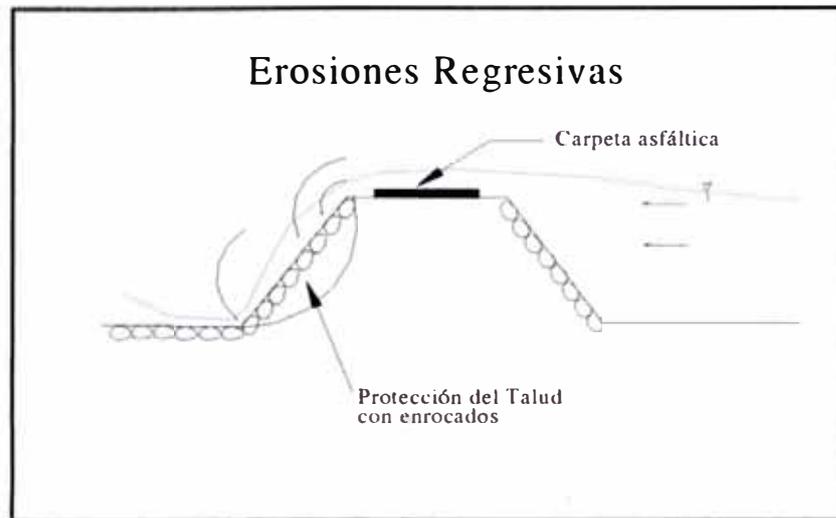
Para el caso de terraplenes la construcción de un muro de contra talud, ya sea de concreto o con enrocado evitan este tipo de erosiones(Ver fig. 5.7).

En caso de pontones y alcantarillas, la reposición de la losa de fondo para que disipen los flujos que se presenten.

En los casos de inexistencia del sistema de drenaje, se deberá colocar la obra de cruce respectiva.

En caso de colapso de las obras de cruce, diseñar obras de cruce que permitan el paso normal de las palizadas y flujos de escombros.

**Fig.5.7** Protección de los taludes de terraplenes con enrocados.

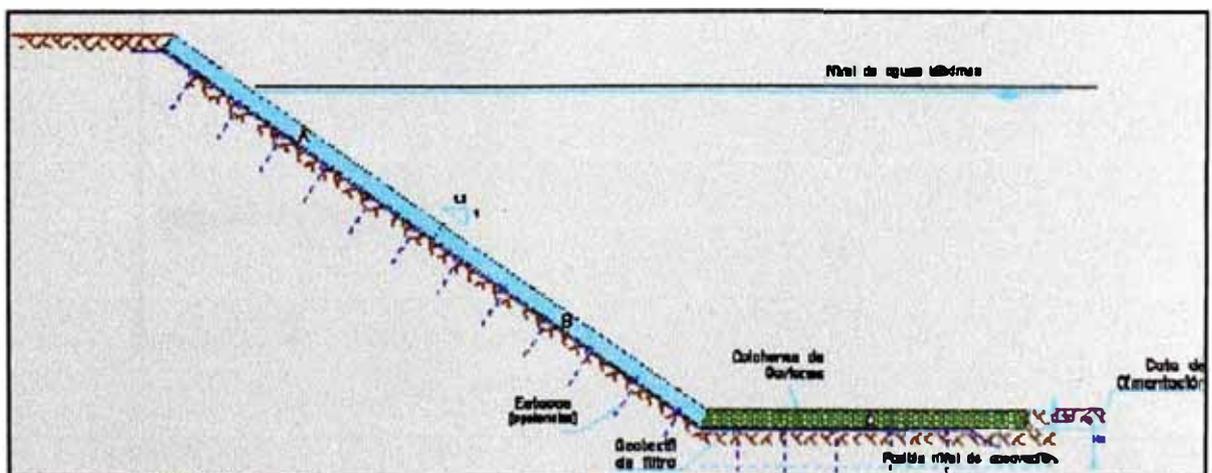


**v. Erosión Lateral, Longitudinal**

Debido a que el terraplén de la vía es directamente afectada se plantea la protección del talud del terraplén, contra las erosiones causadas por el agua, esto se puede lograr mediante el empleo de:

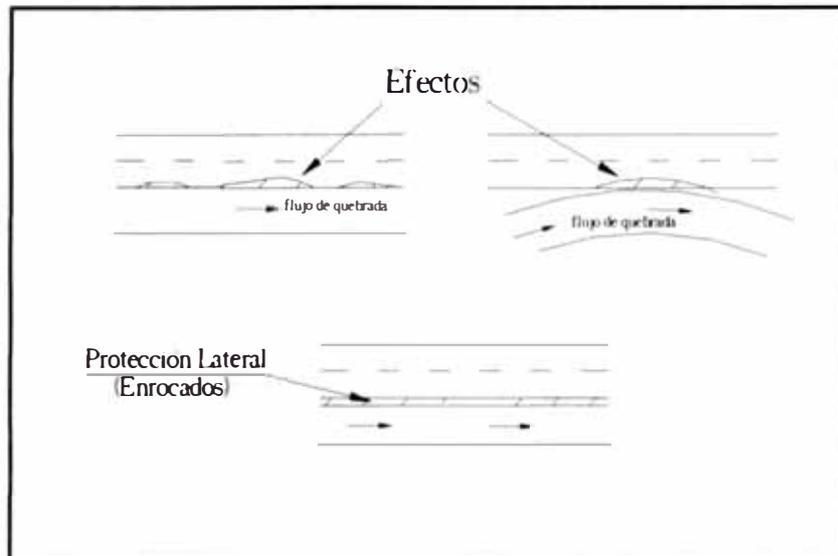
- Revestimiento de piedra o concreto
- Revestimiento con Geoceldas con incorporación de vegetación de la zona, y ante esfuerzos mayores con incorporación de concreto.
- Colchones flexibles de ramas
- Muros de sostenimiento de metal o concreto.

En caso de usar enrocado o muro de gaviones se debe reforzar con materiales geosintéticos, tal como geotextil (Ver fig.5.8)



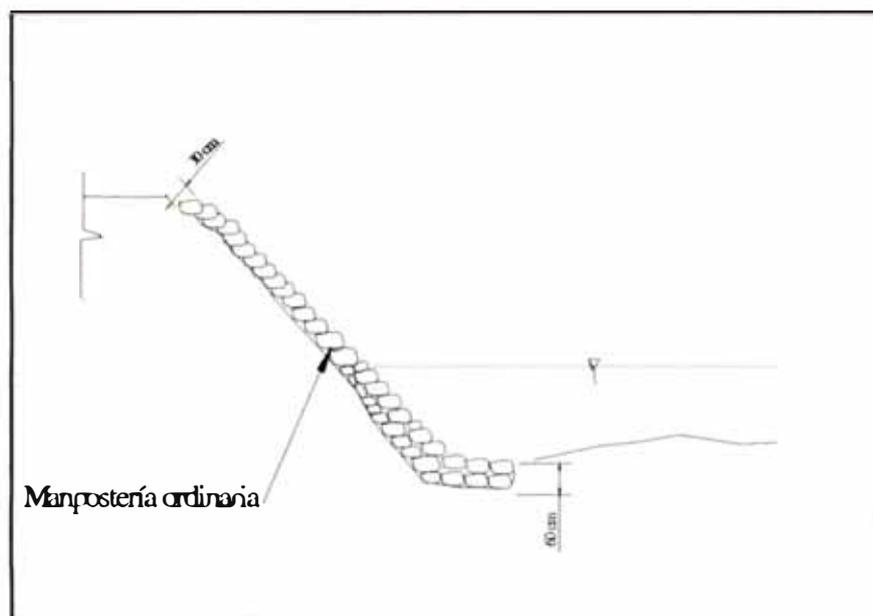
**Fig. 5.8** Revestimiento de Talud con Colchones de Gaviones

**Fig.5.9** Efectos de la erosión longitudinal, lateral y protección del terraplén con enrocados.

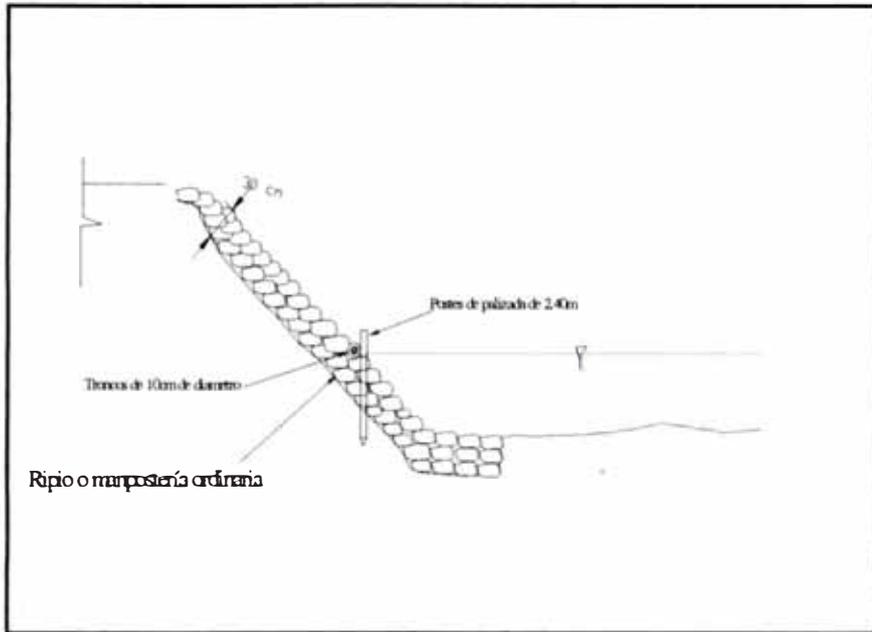


A continuación se presenta tres formas de corregir las erosiones por corrientes:

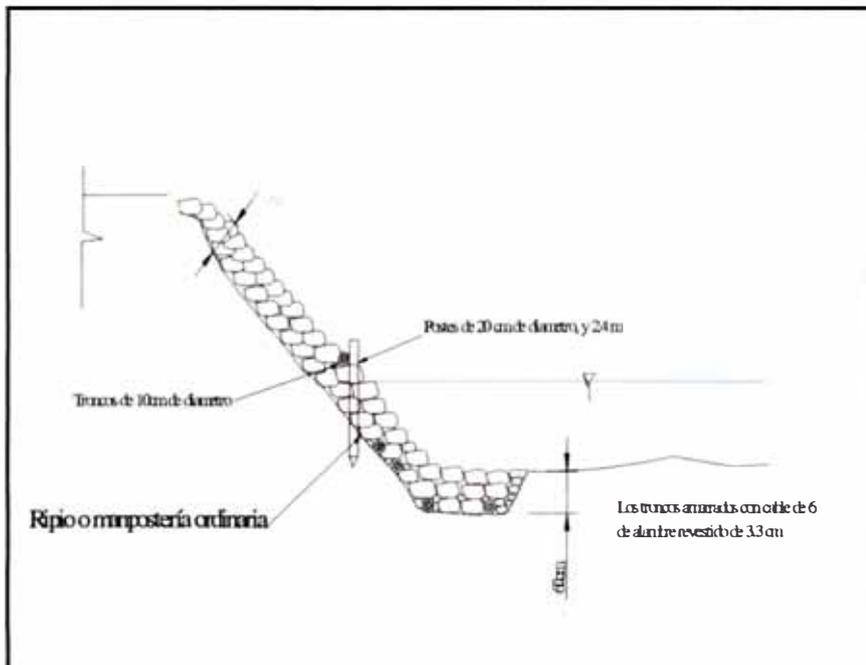
**Fig.5.10** apropiado para corrientes pequeñas, y condiciones débil erosibilidad, en lugares donde se dispone de piedra.



**Fig.5.11** Revestimiento del mismo tipo pero para condiciones de moderada erosibilidad.



**Fig.5.12** Revestimiento combinado de piedra y tronco. Para condiciones de fuerte erosibilidad.



## VI. Erosión General.

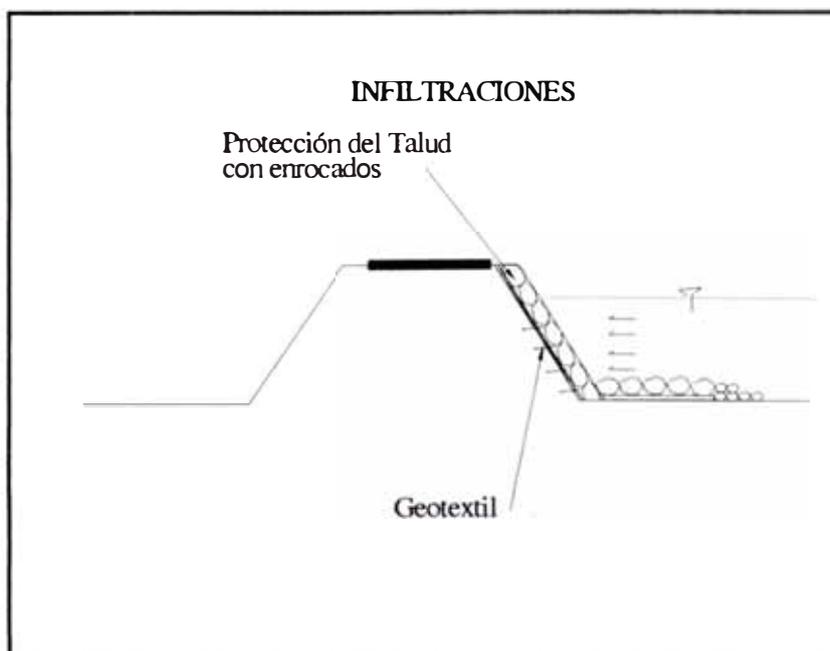
- ❖ Cuando la rasante del camino esta por encima de la rasante de la quebrada entonces las medidas correctivas que minimizan estos problemas son:
  - Incremento de la capacidad de las secciones de drenaje (alcantarillas, puentes y pontones) para evitar la obstrucción al paso de los flujos.
  - Protección del terraplén ante las erosiones con enrocados, Geoceldas en combinación con el concreto soportan grandes velocidades del agua.
- ❖ Cuando la rasante de la quebrada coincide con la superficie terminada del camino, el uso de badenes es la alternativa más adecuada.

## VII. Infiltraciones

Debido a las zonas potenciales de enlagueamiento adyacentes a la vía, generan en esta la disminución de la capacidad de soporte del terreno de fundación lo que origina el asentamiento y deterioro del pavimento.

Para contrarrestar este tipo de efecto, es primordial la impermeabilización y protección de los taludes contra las infiltraciones y erosiones. El uso de los geotextiles viene siendo usado para solucionar este tipo de problema, acompañado de una capa de enrocado sobre el talud del terraplén.

**Fig.5.13** Protección del talud contra la infiltración por la formación de lagunas.



**VIII. Deslizamientos.**

Puesto que una de las causas básicas de los deslizamientos consiste en el exceso de humedad, uno de los procedimientos para remediarlo o evitarlo, consiste en el drenaje. Para esto se requiere interceptar tanto las aguas superficiales como la subterránea antes de que pueda llegar a la masa sujeta al deslizamiento.

A continuación presentamos algunos métodos para el control o procedimientos de retención en los caminos.

- ❖ Contrafuertes.
  - Roca
  - Aglutinación de material suelto al pie del talud.
  - Excavar, drenar y rellenar al pie del talud.
  - Relocalización; elevación de la rasante al pie del talud.
  - Drenaje al pie del talud.
- ❖ Muros de retención celular de concreto, acero o madera.
- ❖ Muros de sostenimiento de mampostería o concreto.
- ❖ Pilotes de acero concreto o madera.
  - Flotantes.
  - Fijos.
- ❖ Tensores de acero para fijar los taludes.

### 5.1.3 CRITERIOS DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE CRUCE

Los mayores problemas presentados en la Carretera Panamericana Norte ante los efectos del ultimo evento, se dieron principalmente en las obras de cruce; estas se dieron por lo siguiente: estrechamiento la quebrada en la zona de contacto, el uso inadecuado de obras de drenaje con obstáculos intermedios entre otros, que provocaron su colapso.

Por eso es necesario que nuestras obras de drenaje que se adopten deberán de adecuarse a la naturaleza. Para ello será necesario adoptar criterios que ayuden a reducir los problemas en la zona de contacto ante futuros eventos de "El Niño"; por lo que a continuación mencionaremos los criterios desarrollados en la tesis de ARANCIBIA SAMANIEGO ("Criterios para el manejo de Quebradas y su aplicación en el diseño de Obras Civiles"), donde se plantean algunos criterios de diseño en las siguientes obras de cruce:

- Terraplenes con o sin alcantarilla
- Pontones
- Puentes con o sin pilares intermedios
- Badenes

#### 5.1.3.1 TERRAPLENES CON O SIN ALCANTARILLA

Si se opta por esta alternativa, debe tomarse ciertas modificaciones en el trazo de la carretera, y en la sección misma.

##### a. **Modificación longitudinal**

Cuando se elige al terraplén para cruzar la quebrada, se está contradiciendo el principio de no obstruir la quebrada, entonces para menguar el efecto de obstruir y facilitar el transito del flujo, se debe modificar el perfil longitudinal de la vía en esta zona, a la entrada y salida de la quebrada con rampas de acceso, y una depresión en la parte central tal como se muestra en la lamina 5.1.

Esta modificación resultará en forma de vertedero trapezoidal, a través del cual se permitirá el paso del flujo.

##### b. **Modificación Transversal**

Transversalmente la sección debe estar preparada para soportar la abrasión que se producirá al paso del flujo, tanto de taludes aguas arriba y aguas abajo como la carpeta de rodadura sobre todo para el caso de flujo de escombros. El talud de aguas abajo requerirá una protección al pie del talud, como se muestra en la lamina 5.2.

**c. Utilización de una alcantarilla**

Cuando existe un flujo con caudal regular producto de la escorrentía o de agua de riego es necesario colocar una alcantarilla, ya sea rectangular o circular.

Además se debe proteger la entrada y salida de la alcantarilla para evitar la erosión que se produzca por flujos laterales, el terraplén aguas abajo previendo un flujo extraordinario que pasará por encima de la carretera al obstruirse la alcantarilla. La lamina 5.3 ayudará a comprender esta situación.

**d. Utilización del terraplén como una barrera**

En este caso el terraplén permitirá detener el material del flujo en el cauce de la quebrada como si se tratará de un reservorio de escombros, es recomendable contar con una alcantarilla con un filtro para evacuar el agua con un mínimo porcentaje de sedimentos.

Puede también ubicarse un terraplén aguas arriba de la carretera, para contener los sólidos y permitir el paso de un flujo con bajo porcentaje de sólidos sobre la carretera así como por debajo de ella a través de una alcantarilla tal como se muestra en la lamina 5.4.

En ambos casos es necesario contar con un camino de acceso hacia la zona de deposición para la limpieza del material después de cada evento, pues de no hacerse, un próximo evento dañara considerablemente la carretera.

**5.3.1.2 PUENTES Y PONTONES**

Ambas estructuras son similares, la única la única diferencia es por el tamaño de la luz entre sus apoyos, siendo menores para pontones (hasta 10m), y de puentes (mayores a esta dimensión). Ver lamina 5.5 Siendo las consideraciones para el diseño de ambas las mismas:

**a. Borde Libre**

Se debe considerar una altura suficiente para el paso del flujo de escombros, se sugiere un borde libre de 3m, este valor ha sido empleado en estructuras diseñadas en el país del Canadá con buenos resultados.

**b. Consideraciones de Erosión**

También debe considerarse el impacto que puedan producir los granos sólidos que tienen gran variedad de tamaño, para lo cual se sugiere encauzar la quebrada en esta zona con mampostería de piedra de esta manera se evita la erosión en los pilares y en los estribos. De no ser posible el encauzamiento en esta zona, por ser muy grande, se deben considerar el diseño adecuado para evitar la erosión en los pilares y estribos.

**c. Pilares**

Es recomendable emplear el menor número de pilares, para evitar estrechamientos y consiguientes obstrucciones. De disponer el empleo de pilares intermedios debe tenerse en cuenta la forma mas adecuada de estos a fin de evitar una mayor erosión.

**d. Impacto de Rocas**

En el diseño debe considerarse que tanto los pilares como la losa pueden sufrir el impacto de rocas y otro tipo de material que pueda traer el flujo. Por lo que se deberá emplear elementos flexibles ya que estos son mas eficientes en resistir el impacto que los elementos rígidos.

**5.3.1.3 BADENES**

Para el diseño de este tipo de estructura se debe considerar modificaciones al trazo normal de la carretera, en su desarrollo longitudinal, transversal, a sí como en las características de la superficie de rodadura, y de un adecuado control de erosión debido al paso del flujo. Básicamente el badén cuenta con una base, y dos rampas de acceso como se muestra en la lamina 5.6.

**a. Modificaciones Transversales**

Transversalmente debe tratarse en lo posible de mantener la pendiente natural de la quebrada, haciendo coincidir la rasante de la quebrada con la rasante del camino, para lo cual a veces es necesario hacer un desarrollo de la carretera aguas arriba del eje de la carretera para ubicar una zona que nos proporcione esas condiciones además de proporcionarnos un terreno estable y lo más angosto posible (mínimo 20m).

**b. Modificaciones Longitudinales**

Longitudinalmente se debe de acondicionar la carretera con rampas de acceso y salida a la base del badén, las rampas deben de tener como máximo una pendiente de 1:20 para facilitar la circulación de los vehículos

**c. Superficies de Rodadura**

La superficie de rodadura debe ser capaz de resistir la acción abrasiva del flujo de escombros, y contar con la capacidad portante adecuado para soportar el peso de los vehiculos y permitir su fácil circulación. Para lo cual se debe emplear cualquiera de los tipos de superficie que se describe a continuación:

**c1 Mampostería**

El empleo de mampostería como superficie de rodadura proveerá la resistencia adecuada a la abrasión, además, al tratarse de la unión de varios elementos (bloques de roca),

permite el reemplazo de aquellas piezas que pueden averiarse a perderse con el paso del flujo de escombros. Para mantener cierta uniformidad de la superficie, se dispone la colocación de una capa de concreto de remate, aceptando que podrá desaparecer al producirse el flujo de quebrada.

#### **c2 Empleando Losas de Concreto.**

La mayor desventaja del empleo de losas de concreto es su rigidez, ya que al presentarse erosiones debajo de la misma, estas fallan por asentamiento, por lo que su uso es poco recomendable.

De persistir en su uso debe tomarse consideraciones para incrementar su resistencia a la abrasión, para lo cual debe considerarse el empleo de concreto de alta densidad y con baja exudación.

#### **c3 Empleando Geosintéticos.**

En algunas zonas de nuestro país no se dispone de material para emplear la mampostería, así que una alternativa a considerar es el uso de geosintéticos, en forma específica las geoceldas, que vienen a ser unos paneles despleables con celdas de una determinada altura y que pueden ser llenado por el material de la zona, tal como muestra la lamina 5.7

El uso de geoceldas permite confinar el suelo con el fin de mejorar la resistencia al corte de los suelos, lo cual incide en la obtención de una mejor capacidad portante.

A un no se ha investigado su capacidad para resistir la abrasión del flujo transversal de escombros.

#### **5.3.1.4 Control de Erosión**

Se debe disponer de protección para el control de la erosión, aguas abajo del badén así como la erosión lateral al pie del badén. Es recomendable emplear enrocados como elementos de control para la erosión.

#### **5.3.1.5 Control de Saturación**

Para controlar la posible saturación del suelo y consiguiente debilitamiento, es recomendable colocar un geotextil debajo de la superficie de rodadura, para que permita drenar en forma planar el exceso de agua, y mantener lo más seco posible a la subrasante del suelo natural.

## 5.2 DESCRIPCIÓN DE LOS EFECTOS EN LOS TRAMOS CRÍTICOS.

De acuerdo a la evaluación realizada en el ítem 4.3.4 se determinó que los tramos críticos, fueron: Vía Evitamiento de Trujillo, Chiclin – Puente Careaga, Sector La Arenita y El Chilco.

A continuación se describe los efectos en cada tramo crítico así como también las características de las quebradas o ríos que provocaron dichos efectos.

### 5.2.1 Tramo vía de Evitamiento de Trujillo: quebradas “El León”, Río Seco y Encantada.

Los efectos en el tramo se localizaron entre las progresivas 569+000-576+00 (Vía de Evitamiento) en los cuales, las bermas, la calzada y el terraplén de la vía resultaron erosionados así mismo todas las obras de drenaje de este tramo fueron colmatados. Dentro de las estructuras de drenaje, como las alcantarillas se caracterizaron por ser generalmente tuberías metálicas corrugadas y en algunos casos de concreto, cuyas alturas no superaban el metro de altura y debido al transporte de flujos de lodos de la quebrada ubicada aguas arriba resultaron insuficiente para drenar dichos flujos. A continuación en el siguiente cuadro mostramos las características de dichas alcantarillas.

Cuadro N°5.1: Características de las alcantarillas que fueron destruidas y las que las reemplazaron

<b>KM</b>	<b>Alcantarilla</b>	<b>Alcantarilla (Antes del evento)</b>	<b>Alcantarilla (Existente)</b>
569+424	Concreto	Concreto de 48"	Concreto de 48"
573+918	TMC	D=36"	Batería de 4 unidades de 36"
574+204	TMC	D=36"	Batería de 4 unidades de 36"
576+220	TMC	D=36"	Batería de 4 unidades de 36"
576+624	TMC	D=36"	Batería de 4 unidades de 36"
581+000	Losa	Doble cajón de 2mx2m c/u	Doble cajón de 2mx2m c/u

Este tramo fue afectado por la activación de las quebradas El León, Río Seco, y Encantada las cuales están ubicadas hacia el Norte de la ciudad de Trujillo, en la zona de intervalles; limitando por el sur con la quebrada San Ildefonso por el norte con la quebrada la Cumbre, por el Este con la quebrada Katuay, afluente del río Moche y por el Oeste con la quebrada Huanchaco o Río Seco. Son quebradas pequeñas muy bien definidas en sus partes alta y media, pero que en la zona de deyección aluvial, se confunden ocupando una gran extensión, en el **plano hidrológico N°5.8** se observa las cuencas de dichas quebradas y cuyas características fisiográficas se muestran en el cuadro siguiente.

Cuadro N°5.2: Características Físicas de las Quebradas Río Seco, El León, y Encantada.

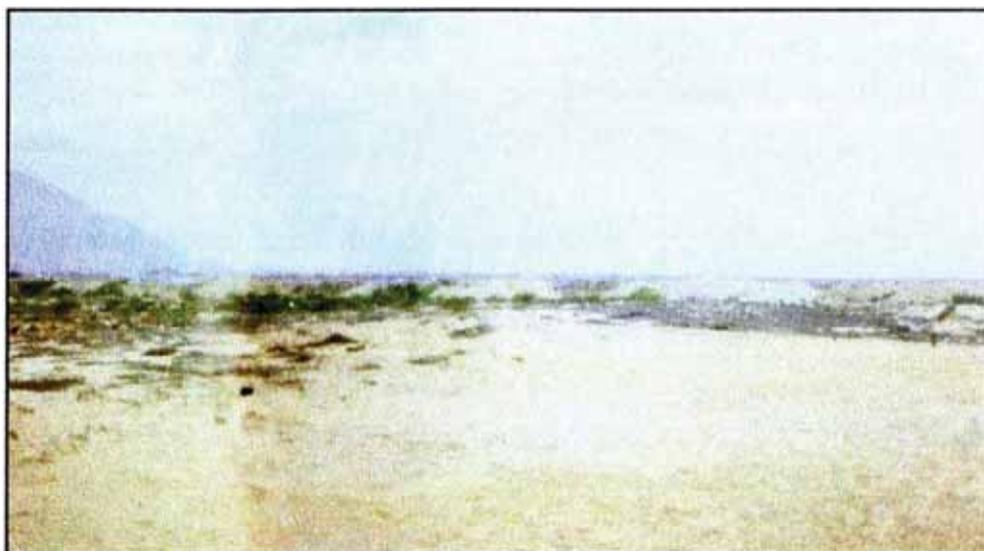
Nombre de Cuenca	A (Km <sup>2</sup> )	Perímetro (Km)	Coefficiente De Compacidad	Factor De Forma	Longitud del Curso Principal (Km)	Pendiente del Curso Principal
Qda. Del León	33.4	26.25	1.27	0.31	10.46	0.114
Qda Encantada	30.8	24.8	1.25	0.73	6.51	0.095
Qda Río Seco.	27	24.3	1.31	0.45	7.72	0.091
Cono de deyección	31	28.5	-	-	-	-

Estos cauces naturales y en general el escurrimiento superficial que se produjo por lluvias intensas, son interceptados por la Carretera Panamericana, la vía de Evitamiento y la carretera a Huanchaco. Otro elemento interceptor del escurrimiento es la muralla Mochica la que presenta diversos tramos averiados, esta atraviesa toda la planicie aluvial situada entre los cerros las Cabras y Campana.

Las características de esta muralla o dique son: 6000m de longitud aprox. con una pendiente mínima de 0,0045 favorable hacia el curso de la quebrada de desfogue, El León (ver lamina 5.9). Dicha muralla está conformada por un muro central construido con piedra grande y barro, de 1.50 de ancho y altura de 3.00m o más sobre el terreno natural, el muro esta recubierto enteramente con enrocado liviano, con taludes de 1.5:1 o más tendidas.

La muralla la Mochica ha cumplido un papel importante en la reducción de los efectos del fenómeno de "El Niño", es decir daños en la población de El Milagro, Panamericana Norte y vía de Evitamiento. Pero que con el pasar de los años ha sufrido en diversos tramos su destrucción lo que requiere su restauración (ver foto 5.1) .

**Foto 5.1** Se muestra los diversos tramos averiados de la muralla la Mochica



En la etapa de prevención el Proyecto Especial Chavimochic (PECHM), realizó las estimaciones de los caudales, mediante métodos empíricos, que sirvieron para determinar las descargas máximas instantáneas. La adopción de estos métodos se debió a la falta total de información hidrometeorológica, en las quebradas arriba mencionadas. Siendo los métodos utilizados el método Racional, y con fines de comprobación el Hidrograma Unitario Sintético de Snyder.

En la utilización del método Racional se consideró el valor de 2 m /s como valor límite de la velocidad de flujo, además se empleó los registros de precipitación máxima en 24 horas de la estación Laredo, para el periodo 1982-1983, que correspondieron a la ocurrencia del fenómeno de "El Niño". El valor máximo precipitado en aquella oportunidad fue de 12.1mm, ocurrido en el mes de marzo de 1983. Además, se asumió que, la duración correspondiente a esa tormenta fue igual al tiempo de concentración de las cuencas, determinándose así la intensidad de precipitación en mm / hora.

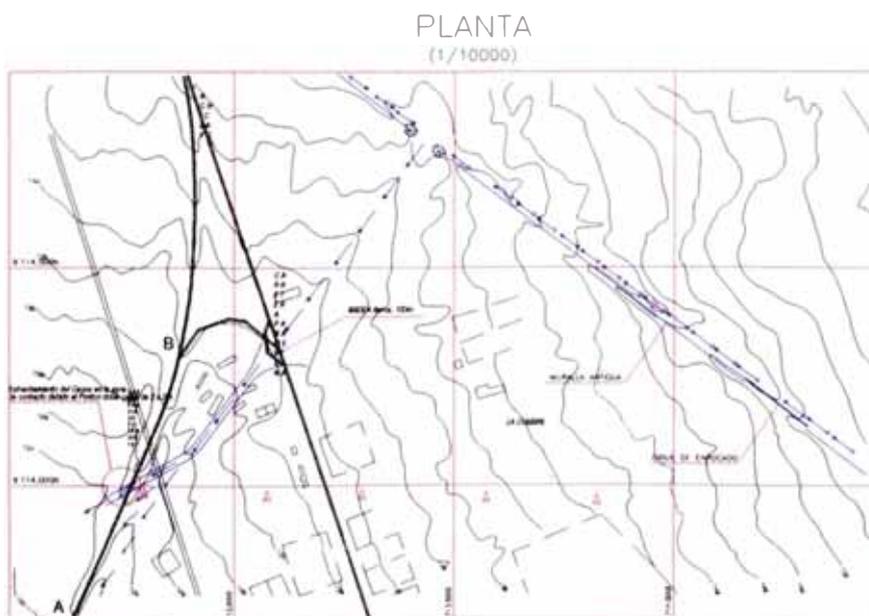
Luego de las consideraciones adoptadas, el resultado de la descarga máxima instantánea total producida en estas quebradas fue de **150m<sup>3</sup>/s** (ver anexo N°4), valor bastante alto, que sucedió según el informe del Proyecto Especial Chavimochic, proporcionado al diario la industria del 25 de febrero de 1998. Además estos flujos fueron atenuados por el dique preincaico que existe en esta zona, construido tal vez con fines de protección ante eventos como El Niño. Este dique tiene cerca de 6000ml de longitud con una pendiente que favorece hacia el curso de la quebrada de desfogue(quebrada Huanchaco), en donde los flujos fueron represados y encausados hacia el cauce de evacuación.

Dada las características de los efectos del fenómeno de "El Niño" en el tramo, podemos decir que las causas y efectos fueron:

**Causas:**

- Incremento del caudal, debido a la activación del conjunto de quebradas León, Encantada y Río Seco.
- Estrechamiento del cauce, en la zona de contacto de la vía de Evitamiento (ver fig 5.14)
- Falta de protección de la margen izquierda, a unos metros antes de la zona de contacto.
- Insuficiencia del pontón, para drenar los flujos provenientes de la quebrada.

**Fig.5.14** La figura muestra una de las causas de las erosiones a lo largo de la Vía de Evitamiento. Esto es el estrechamiento del cauce de la quebrada en la zona de contacto con la Vía en mención, por un pontón del tipo doble cajón de 2x2m. Esta estructura angosta, el ancho del cauce de aproximadamente 10m obstaculizando así el pase de los flujos.



**Efectos:**

- Erosiones Longitudinales
- Erosiones Generales
- Infiltraciones

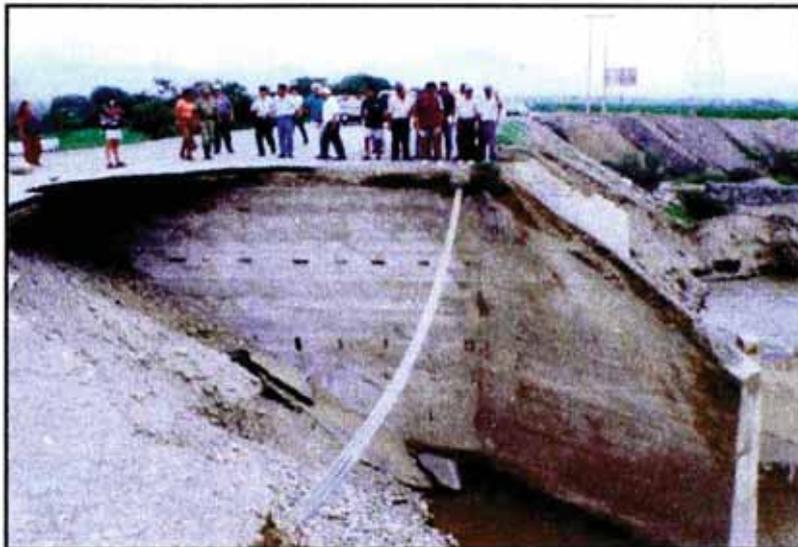
**Foto 5.2** En la siguiente foto se muestra la Vía de Evitamiento de Trujillo, el cual fue afectado por las erosiones longitudinales.



### 5.2.2. Tramo Chiclín (km595+000) - Puente Careaga (km597+400): Río Chicama

Aproximadamente a 50m antes del Pte. Careaga, en la alcantarilla de concreto se originaron **erosiones transversales** debido a las crecientes del río Chicama, comprometiendo al talud de la carretera (lado izquierdo) generándose el corte parcial de la vía, perdiéndose parte de la plataforma y la superficie asfáltica de rodadura.

**Foto 5.3** Corte del talud del terraplén generada por las erosiones transversales debido al estrechamiento del cauce y la falta de protección del talud.



Además los desbordes del río Chicama ubicada en el km597+400, inundaron a la Carretera Panamericana Norte y al poblado de Chiclín a la altura del km595+000, erosionando la superficie de rodadura y provocando la paralización del tránsito (ver Foto 5.4).

**Foto 5.4** Inundación de la Carretera Panamericana Norte (Km. 592+000 – Km595+000)



Cabe recordar que la importante vía quedó interrumpida tras el desborde del río Chicama, a la altura del sector **Voladero (Casa Grande)**, razón por la que se utilizó como carretera alterna la vía industrial de Casa Grande, que también colapsó, debido al humedecimiento del asfalto. Asimismo para evitar que Chiclín y la Panamericana siguieran inundándose, la Dirección Regional de Agricultura en conjunto con el ejército, los técnicos de Casa Grande, ejecutaron el encauzamiento del caudal que se había desbordado por el sector mencionado. Del mismo modo, la Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones, construyó un badén de 180m a la altura de Chiclín que permitió el paso de los flujos y el descenso de su nivel, lo que facilitó el paso de los vehículos.

La Región Agraria de la libertad, reportó que en el año de **1983**, durante el fenómeno de "El Niño" en el río Chicama, habría ocurrido una máxima extraordinaria de aproximadamente **900m<sup>3</sup>/s**, el cual fue adoptado para los trabajos de prevención. Así mismo esta institución presentó la información de estimaciones de caudales que se muestran en el cuadro 5.3, siendo el caudal máximo del orden de **1800 m<sup>3</sup>/s** correspondientes al mes de marzo de 1998. Como podemos ver son valores bastantes altos y que para una mejor precisión en las estimaciones de caudales, las instituciones encargadas de estos registros deberían de priorizar este aspecto para que, de esta manera los caudales estimados sean los mas cercanos a los reales.

Cuadro N°5.3: descargas máxima del río Chicama

Río Chicama	AÑOS			Estación de Aforo se encuentra en el Puente Tambo Alto Chicama.
	82 al 83		97 al 98	
	Meses	Caudal	Caudal	
	Enero	112,35	433,25	
	Febrero	81,80	1200,00	
	<b>Marzo</b>	<b>900,00</b>	<b>1800,00</b>	
	Abril	600,00	496,67	

Fuente: Dirección Regional de Agricultura

De lo descrito del evento del 98, las causas y efectos en el tramo Chiclin-Puente Careaga fueron:

**Causas :**

- Incremento del caudal del río Chicama ( Marzo del 98, 1800 m<sup>3</sup>/s)
- Inundación de vía debido al desborde del río Chicama.
- Estrechamiento del cauce (Alcantarilla ubicado 50m antes del puente Careaga).
- Falta de Protección del talud del terraplén

**Efectos**

- Erosiones transversales
- Infiltraciones, generados por los desbordes del río Chicama

### 5.2.3 Sector La Arenita (km621+500): " quebrada La Arenita".

Tramo afectado por la activación de la quebrada La Arenita, en el cual se originaron erosiones en las bermas y en la superficie pavimentada, esta quebrada se caracteriza por ser pequeña y de flujo esporádico, en el cual predominan los suelos arenosos potentes y muy permeables.

El puente Arenita ubicada en el km621+500, resulta ineficiente hidráulicamente debido a las secciones intermedias y la poca altura de borde libre, que obstaculizan el paso de los flujos. Además los antecedentes muestran que en el año 1972 debido a una gran avenida se destruyó la obra de cruce de ese entonces.

**Foto 5.5** Puente Arenita, se caracteriza por acortar el ancho del Cauce.



De lo descrito, podemos concluir que las causas y efectos del fenómeno fueron:

**Causas:**

- Activación e Incremento del Caudal en la quebrada.
- Estrechamiento del Cauce
- Puente de celdas múltiples que obstaculizan el pase de los flujos.

**Efectos :**

- Erosiones Longitudinales en los accesos

### 5.2.4 Tramo El Chilco(km646+000-650+000): "Quebrada Cupisnique".

Se considera como el más crítico a lo largo de la evaluación el cual fue severamente afectado debido a la activación de la quebrada Cupisnique. Esta quebrada cruza a la carretera Panamericana Norte en el km650+000 la cual no cuenta con registros de caudales. La estación representativa para esta quebrada es Cascas. Las características de la cuenca no aforada son:

Cuadro N°5.3: Características de la quebrada Cupisnique

Localización (Km)	A (Km <sup>2</sup> )	H (m)	L (Km)
650+000	555	2100	50

El tramo comprometido se inicia desde el km646+000 al 650+000, el cual fue inundado produciéndose erosiones generales, longitudinales e infiltraciones.

Las alcantarillas ubicadas en este tramo se caracterizaron por su escasa área para drenar los flujos provenientes de la quebrada mencionada, a continuación se muestran las alcantarillas antes y después del evento.

Cuadro N°5.4: Características de las Alcantarillas del tramo El Chilco, las que fueron reemplazadas y las existentes.

Km	Alcantarilla (Antes del evento)	Km	Alcantarilla (Existente)
646+154	Tipo Losa(13.30x3.00x1.56)		
646+257	Tipo Losa(12.85x12.55x1.41) Dos secciones	646+272	Tres alcant. Abovedadas de 3.75x2.39m, tipo 22PA3-13
649+283	Tipo Losa(12.80x42.55x1.72) Tres secciones	649+270	Dos alcant. Elípticas de 7.01x 4.30m, Tipo 27SE10.
650+078	Tipo Losa(12.80x6.60x1.68)	650+091	Una alcant. Abovedada de 6.26x4.07m, tipo 38PA5-21

Como se puede observar en el cuadro (antes del evento), estas alcantarillas carecían de altura, las cuales resultaron un obstáculo para el paso de los flujos(palizadas), los cuales generaron la colmatación e inundación de la vía y de las zonas adyacentes.

A lo largo de este tramo, se ha podido determinar la falta de obras de drenaje, la quebrada comprometida en este tramo ha generado diferentes cauces(cinco) a través de los años como se puede observar en la foto N°5.7. Los flujos que se generaron comprometieron al terraplén de la vía, el cual sigue siendo vulnerable ante la ocurrencia de un evento similar, debido a que no cuenta con la protección de sus taludes.

Dada las características de los efectos del fenómeno de "El Niño" en el tramo, podemos concluir que las causas y efectos se debieron:

**Causas**

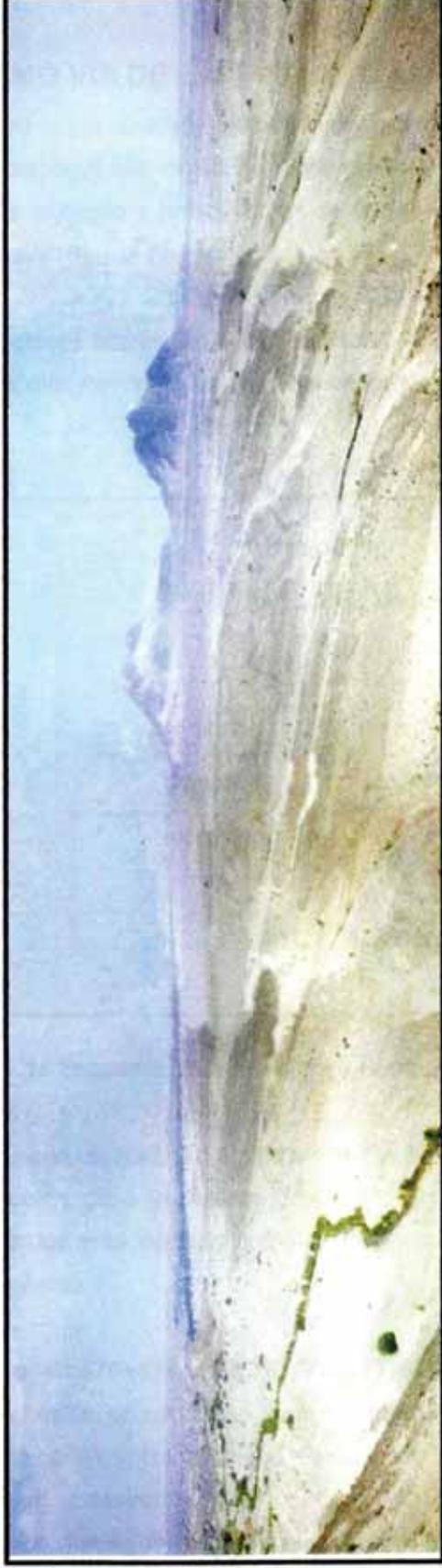
- Activación e Incremento del Caudal de la quebrada Cupisnique
- Insuficiente capacidad de las obras de drenaje para evacuar los flujos
- Falta de protección del talud del terraplén.
- Formación de lagunas debido a los flujos de quebrada.
- Falta de obras de drenaje a lo largo del tramo.

**Efectos:**

- Erosiones Longitudinales
- Erosiones generales
- Infiltraciones

**Foto 5.6** Km 646-650, tramo afectado por la activación de la quebrada Cupisnique  
Originándose erosiones longitudinales, generales e infiltraciones



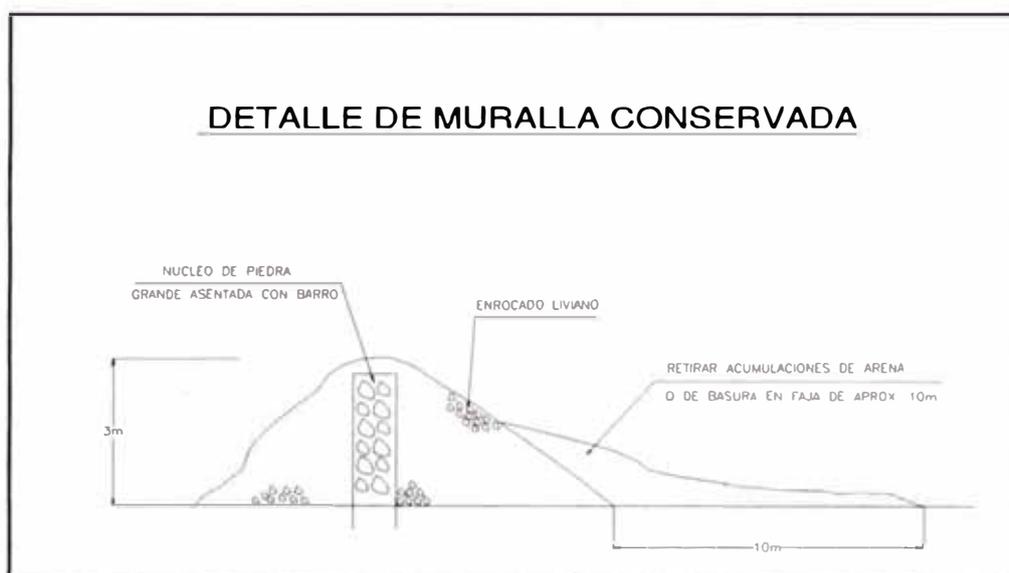


En la Foto 5.7 se muestra la amplitud del cauce de la Quebrada Cupisnique, la cual ante eventos como el fenómeno de "El Niño" ha generado diversos recorridos

## 5.3 LINEAMIENTOS PARA LA MITIGACION DE DESASTRES EN LOS TRAMOS CRITICOS.

### 5.3.1 TRAMO VIA DE EVITAMIENTO DE TRUJILLO.

- Restaurar los diversos tramos averiados de la muralla La Cumbre, la cual atraviesa la planicie, cuya función es de interceptar el escurrimiento superficial que se origina por las lluvias intensas y la activación de las quebradas El León, Río Seco y Encantada (ver lamina 5.10) .
- Se requiere limpiar las zonas adyacentes a la muralla: arenas y basural acumulados al pie de ella; Así como también del cauce principal de la quebrada (Ver fig. 5.15)



**Fig. 5.15** Esquema de la muralla La Cumbre.

- En la zona de contacto aguas arriba (km581), la margen izquierda del cauce, requiere de protección, para lo cual se propone un muro de enrocado, lo que evitará los futuros desbordes ante eventos como lo acontecido en el 98, que comprometieron a la Vía de Evitamiento.
- En los Km576+624, Km574+204 y Km573+918, las alcantarillas ubicadas en estas zonas, están ubicadas en zona de cursos menores, que no han presentado caudales representativos. En el último evento, los flujos que discurrieron por estos tramos se debieron al desborde de la quebrada León en el Km581, los cuales colmataron las obras de cruce que existían; por lo que su configuración se adecua al uso de un terraplén con alcantarilla. Además es necesario, proteger la entrada y salida de las alcantarillas para

evitar las erosiones debido a los flujos laterales y a los flujos extraordinarios los que superan el terraplén de la vía cuando se obstruye la obra de drenaje.

- En el km569+424 se plantea la modificación del perfil longitudinal del eje de la vía, el cual debe tener un trazo tal que permita pasar el flujo de la quebrada por encima de la pista, es decir que esta funcione como un vertedero trapezoidal, y por coincidencia, la sección adoptada es similar al de un badén.
- La zona por donde se originó el desborde de las aguas fue en el Km 581(Vía de Evitamiento de Trujillo ver lamina 5.9), en esta zona de contacto proponemos lo siguiente:

El uso de un pontón de luz igual al ancho del cauce(10m) y con una altura mayor a los 2m (ideal 3m).

El pontón Seleccionado no debe ser de celdas múltiples, debido a que, este tipo de obra de drenaje obstaculiza el paso de los flujos de lodos y palizadas, como quedó demostrado en el último evento.

- Esta alternativa involucra el levantamiento de la rasante, con lo que se conseguirá mayor borde libre, lo que hará posible el paso de los flujos. Este planteamiento se muestra en la lamina N°5.11

- Protección del talud del terraplén a la entrada y a la salida, con enrocado y / o muros de gaviones, para protegerlos de la erosión transversal y regresiva; Así mismo proveer de protección en el lecho de la quebrada a la salida de la obra de cruce, para evitar el efecto erosivo de la quebrada.

### 5.3.2. TRAMO CHICLIN - PUENTE CAREAGA (KM595 - KM597+350)

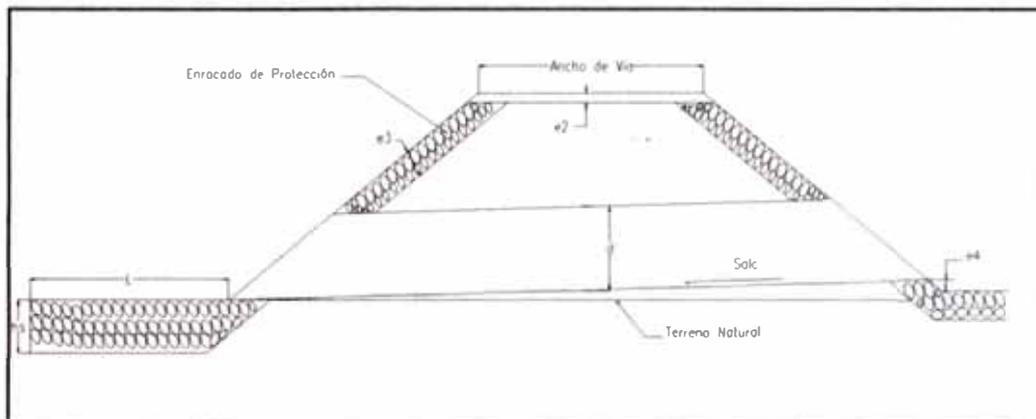
- La alcantarilla ubicada 50m antes del puente Careaga, requiere de una efectiva protección en el talud, junto a ella, mediante el cual se pueda disipar la fuerza del flujo de agua, y además proteger la salida de la misma contra la erosión. Esto se realizará mediante la construcción de un muro de contratalud, ya sea de concreto o con enrocado.
- Las márgenes del río Chicama (aguas arriba y abajo) se deberán de proteger mediante el uso de gaviones, geobolsas etc. Estos controlarán las erosiones de las márgenes. Además los trabajos deberán de considerar el caudal máximo registrado en marzo del 98 que fue 1800 m<sup>3</sup>/s.
- En cuanto a las zonas críticas por donde se originaron los desbordes, como es el caso del sector de Voladero, a la altura de Casa Grande a 4km de la zona de contacto; por donde se generaron los desbordes que inundaron y afectaron la carretera Panamericana y a la población de Chiclin; se propone el uso de las geobolsas que son muy adecuados, ya que estos, prestan una función de estructura de gravedad, que impide durante épocas de crecidas que el río se salga de su cauce, evitando así, la inundación de la población y campos agrícolas.



Foto 5.8 El uso de las geobolsas como defensas ante los oleajes y desbordes.

- Elevar la rasante de la vía a la altura de Chiclín (km595+000) el cual se encuentra por debajo de la cuneta de drenaje, lado izquierdo, lo cual hace a la vía susceptible de ser inundada en cualquier momento, ya que la cuneta de drenaje existente, es utilizada por los regantes, a la vez, como parte de sus sistemas de regadío. Siendo dicha zona inundada con frecuencia por el agua proveniente de los canales, que atraviesan la pista por las inmediaciones (ver Fig. 5.16)

**Fig. 5.16** Terraplén con alcantarilla, ideal para la zona de Chiclín que frecuentemente es inundada por el agua de riego.



### 5.3.3. SECTOR LA ARENITA(Km621+500).

- La opción de reemplazar el puente existente, debido a que presenta desventaja entre ellas.
  - La colmatación por la gran cantidad de material fino y palizadas, que suelen presentarse en temporadas de "El Niño", debido a los obstáculos intermedios.
  - Acortamiento de la sección del cauce.
  - Insuficiente altura (Borde Libre)

De lo mencionado, la obra de drenaje recomendable, es un puente con el menor número de pilares intermedios y con mayor altura que el actual.

- Dado que, la obra de cruce recomendable para esta zona es un puente de luz, igual al ancho del cauce real, con el menor número de pilares intermedios, y para garantizar el buen funcionamiento de la obra de cruce, se deberá realizar obras de defensa; entre las cuales: Protección con enrocado los pilares y estribos, y la construcción de diques de encauzamiento.

- Ver la posibilidad de elevar el nivel de la rasante de la vía, de este modo habrá una altura suficiente, que permitirá el paso de los flujos de lodos y palizadas.

#### 5.3.4. TRAMO EL CHILCO (KM646- KM650).

- Cerca de 4km fueron afectados, debido a las inundaciones generadas por la activación de la quebrada Cupisnique (ver plano 5.12). Esta quebrada compromete al terraplén de la vía, requiriendo para ello, su protección mediante el revestimiento del talud con enrocado, concreto, geoceldas etc. El uso de las geoceldas con incorporación de suelo vegetal de la zona se adecua dada el área a proteger. Una alternativa mas costosa es la incorporación de concreto.

Por lo tanto, recomendamos el uso de revestimiento del talud con geoceldas, con relleno del suelo vegetal (ver fig.5.17), ya que es más factible desde el punto de vista económico y por su facilidad de colocación y maniobrabilidad.



Fig. 5.17 El uso de la geocelda con relleno de diversos tipos de materiales.

- Se ha determinado que, la quebrada Cupisnique, ha generado cinco cauces a través de los años, el cual compromete a la vía desde el Km646+000 al Km650+000, debido a que actualmente existen 3 alcantarillas: la primera en el Km646+272, la segunda en el Km649 y la tercera en el Km650. Entre la primera y segunda alcantarilla, es necesario ubicar una obra de drenaje (Km648+000), que facilite la evacuación de los flujos provenientes de dicha quebrada.

- La obra de drenaje en el km649+270 debe de considerar, el ancho del cauce, que es de aproximadamente 50m. En esta zona se propone, el uso de un puente que considere dicho ancho de cauce y altura de la rasante actual; esta rasante fue elevada en la etapa de transitabilidad.
- Encausar las aguas provenientes de esta quebrada, hasta las entradas de las obras de drenaje a lo largo del tramo, el cual se puede realizar mediante el uso de gaviones.

## 5.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.4.1 CONCLUSIONES.

- ❖ Las causas más importantes de los efectos producidos en la zona de estudio fueron:
  - Debido a las fuertes precipitaciones en el aumento del caudal, acompañado de diversos factores, es causa frecuente de la erosión.
  - Interrupción del Transporte Sólido, que se da cuando la quebrada al querer conservar su capacidad de transporte y estado de equilibrio, produce la erosión generalizada y la consiguiente profundización del cauce.
  - El estrechamiento del cauce, ya sea por diversos factores, siempre se determina una disminución del área de drenaje, lo que implica el aumento de la velocidad y de la capacidad de transporte de la corriente, dando como resultado erosión y socavación.
  - Falta de protección en los taludes de los terraplenes.
  - Ausencia de obras de drenaje o ineficiencia en el diseño de dichas obras de cruce.
  
- ❖ Actualmente, los geosintéticos, nos dan una variedad de alternativas para contrarrestar a los efectos de la erosión. Cuando ocurre el fenómeno de “El Niño”, estas erosiones se presentan en mayor escala, requiriendo para ello el uso de estos productos para su control de los cuales mencionaremos algunos: geotextiles, geomallas, geoceldas, geobolsas.
  
- ❖ Las obras de drenaje de los tramos como El Chilco, Vía de Evitamiento de Trujillo, se caracterizan por su insuficiencia hidráulica, que no permitieron drenar los flujos de palizadas que se presentaron, esto se debe a que, la mayor parte de estas obras se diseñaron para drenar los flujos de aguas limpias.
  
- ❖ Las quebradas León, río Seco y Encantada son quebradas pequeñas muy bien definidas en sus partes alta y media, pero en la zona de deyección aluvial, se confunden ocupando una gran extensión, a diferencia de la quebrada Cupisnique, que es bastante amplia y divagante; estas quebradas causaron los mayores estragos a la carretera.
  
- ❖ En el caso de las quebradas León, río Seco y Encantada, las descargas que se produzcan son interceptadas por la existencia del dique preincaico (muralla la Mochica) construido posiblemente con fines de protección, que atraviesa toda la planicie aluvial, con cerca de 6000m de longitud con una pendiente suave, favorable hacia el curso de la quebrada de desfogue(quebrada Huanchaco).
  
- ❖ Tanto en las partes medias como bajas de las quebradas, predominan los suelos potentes arenosos, muy permeables con presencia de gravas, presentándose en algunos casos lentes de limos.

- ❖ Una de las causas del colapso de los terraplenes en zonas anegadizas como "El Chilco", donde el trazo de la carretera es perpendicular a la quebrada, se debió al embalse de las aguas, por presencia del terraplén, que en su mayor parte fue construido en relleno.

#### 5.4.2 RECOMENDACIONES.

- No se debe pretender pasar todo el agua por alcantarillas, que son pequeñas para la magnitud de la quebrada, para ello se recomienda respetar el ancho natural del cauce o alterarlo en lo más mínimo.
- De cuerdo a lo planteado en la quebrada León(km581+000 vía de Evitamiento), se recomienda el uso de un pontón con una altura mayor a los 2m que permita el paso de los flujos que se presenten.
- Recobrar la función interceptora de la muralla La Cumbre, con más de 6000m de longitud, que atraviesa la llanura aluvial, donde descargan las quebradas río Seco, El León y Encantada. Esto se debe realizar refaccionando los diversos tramos averiados del muro.
- Se debe evitar el uso de batería de alcantarillas, tipo cajón o celdas múltiples; así como los puentes con pilares intermedios, los cuales obstaculizan el paso de los flujos, provocando el estancamiento de las aguas por las palizadas, como quedo demostrado en el último evento. Estas son características de las obras de cruce en el tramo de estudio, como el puente Arenita(quebrada Arenita), pontón tipo cajón de ojos(quebrada León) entre otros, los cuales no permitieron el paso de los flujos generando los desbordes que afectaron a la vía.
- Debido a que predomina las condiciones de tránsito vehicular, se propone la modificación del perfil longitudinal del eje de la vía, el cual debe tener un trazo, tal que, permita el flujo de la quebrada por encima de la pista, es decir estas funcionen como un vertedero trapezoidal. Esta modificación se deberá realizar en los tramos donde están ubicadas las baterías de alcantarillas del Km 576+624, Km574+204 y el Km573+918 de la vía de Evitamiento de Trujillo.
- Las alturas de los terraplenes o de los drenes verticales, deben de evitar la contaminación del pavimento por las aguas de regadío, al atravesar los valles cultivados como es el caso de Chiclín. Por lo tanto, se recomienda que, se eleve la rasante de la carretera y optimizar el movimiento de tierras, y la revisión, y el mejoramiento de los canales de drenaje existentes, asumiendo el uso real que reciben en la actualidad, que

va más allá de ser simples estructuras de drenaje, sino, que son a la vez sistemas de riego.

- Las márgenes del río Chicama (aguas arriba y abajo), requiere de protección mediante el uso de gaviones, que controlarán las erosiones de las márgenes. Estos trabajos deberán de considerar el caudal máximo registrado en marzo del 98 que fue 1800 m<sup>3</sup>/s.
- El cauce del río Chicama es bastante amplio, y en el cual se debe de proteger las márgenes en las zonas críticas (Voladero a la altura de Casa Grande a 4km de la zona de contacto) por donde se generaron los desbordes, que inundaron y afectaron la carretera Panamericana y a la población de Chiclín. La protección de las márgenes se deberá realizar mediante el uso de enrocados, gaviones o geobolsas. En cuanto al uso de las geobolsas, estos prestan una función de estructura de gravedad, que impide durante épocas de crecidas que el río se salga de su cauce, evitando, así, la inundación de la población y campos agrícolas.
- Cerca de 4km fueron afectados, debido a las inundaciones generadas por la activación de la quebrada Cupisnique (ver plano 5.12). Esta quebrada compromete al terraplén de la vía, requiriendo para ello su protección, mediante el revestimiento del talud con enrocado, concreto, geoceldas etc. El uso de las geoceldas con incorporación de vegetación de la zona, sería la mas recomendable, dada la extensión de área a proteger. Una alternativa mas costosa es la incorporación de concreto.
- Se ha determinado que la quebrada Cupisnique, ha generado cinco cauces(ver foto N°5.7) a través de los años, el cual compromete a la vía desde el Km646+000 al Km650+000, debido a que actualmente existen 3 alcantarillas: la primera en el Km646+272, la segunda en el Km649 y la tercera en el Km650. Por lo tanto se plantea ubicar una obra de drenaje en el Km648+000, que facilite la evacuación de los flujos provenientes de dicha quebrada.
- La obra de drenaje en el km649+270 debe de considerar, el ancho del cauce que es de aproximadamente 50m. En esta zona se propone el uso de un puente, que considere dicho ancho de cauce y la altura de la rasante actual, esta rasante fue elevada en la etapa de transitabilidad.

# ***CAPITULO VI***

## ***EFECTOS DEL FENOMENO DE “EL NIÑO” EN LA CIUDAD DE TRUJILLO.***

### **6.1 DESCRIPCIONES GENERALES**

#### **6.1.1 LOCALIZACION**

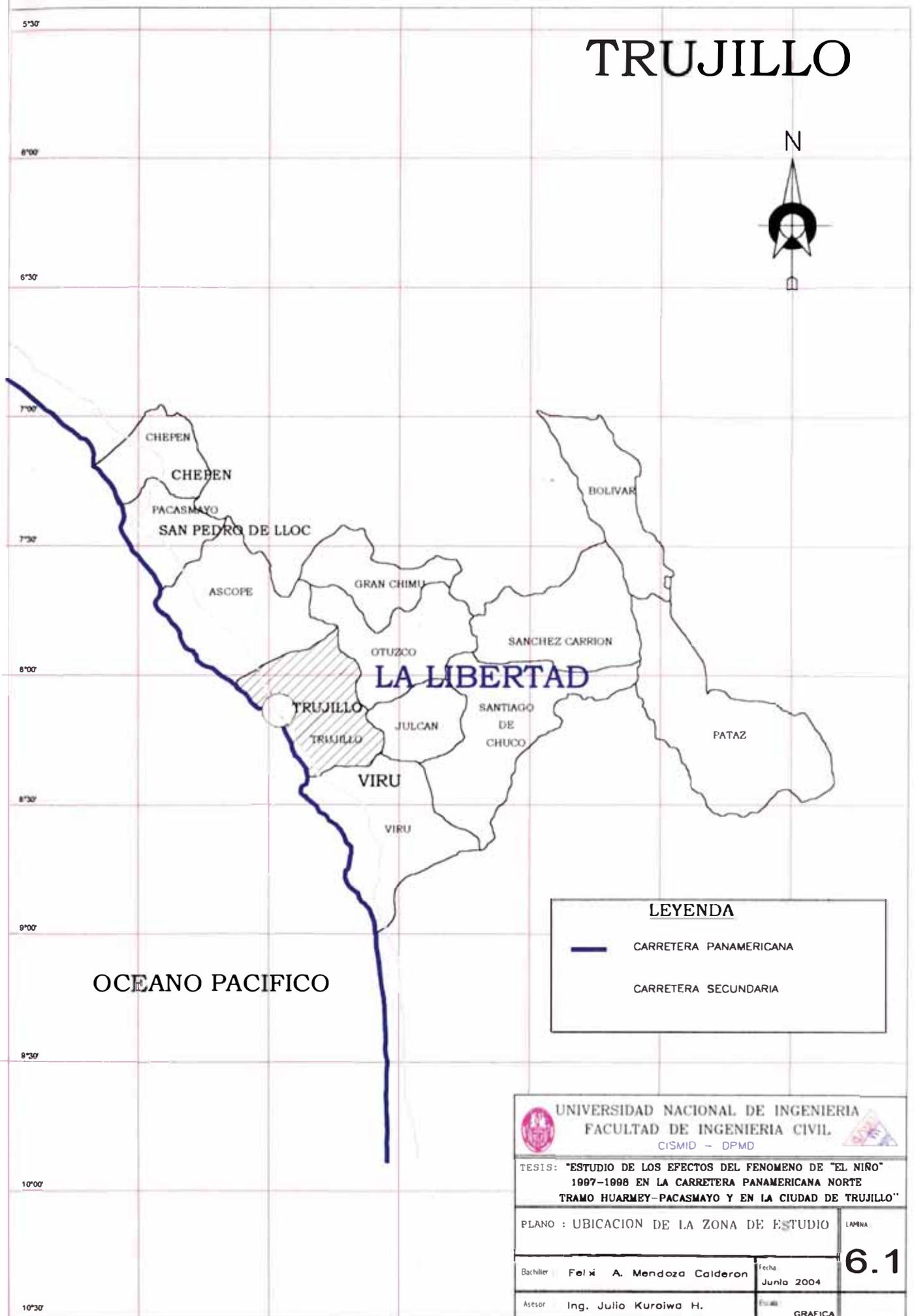
La ciudad de Trujillo, donde se realiza el presente estudio, se encuentra situada en la Región La Libertad. Asimismo, Trujillo es la Capital, de la Región, de la Provincia y del Distrito del mismo nombre.

Trujillo, una ciudad costera, ubicada a 550 km de la carretera Panamericana al norte de Lima, en un valle estrecho que remata en extensas zonas áridas hacia el norte y hacia el sur.

Por otro lado, la Región La Libertad, abarca una superficie de 25,569.67 km<sup>2</sup>, dividida políticamente en 10 provincias (una de ellas es Trujillo) y 80 distritos, ilustrándose con mayor detalle en la Lámina 6.1.

El lugar donde fue edificada la ciudad, se llama valle de Santa Catalina, entre unos 4 kilómetros norte de la margen derecha de río Moche y la vaguada. Denominada "Quebrada de León ", pero su marco geográfico se encuentra encerrado entre los cerros "Campana" y "Cabras", por el norte; y el cerro "Blanco", por el sur.

# TRUJILLO



## LEYENDA

-  CARRETERA PANAMERICANA
-  CARRETERA SECUNDARIA

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA		
		FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL		
		CISMID - DPMD		
TESIS: "ESTUDIO DE LOS EFECTOS DEL FENOMENO DE "EL NIÑO" 1997-1998 EN LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE TRAMO HUARMEY-PACASMAYO Y EN LA CIUDAD DE TRUJILLO"				
PLANO : UBICACION DE LA ZONA DE ESTUDIO				LAMINA
Bachiller	Felxi A. Mendoza Calderon	Fecha	Junio 2004	<b>6.1</b>
Asesor	Ing. Julio Kuroiwa H.	Fecha		
				GRAFICA

## 6.1.2 POBLACION

A la fecha, Trujillo Metropolitano cuenta con una población de 720,000 habitantes, concentrando el mayor volumen poblacional del norte peruano y al año 2,010 se estima, sobrepasará el millón. Es una ciudad dinámica, capaz de duplicar su población en 22 años que, después de haber experimentado su fase de crecimiento explosivo entre 1961-72 (6.8%), está pasando una fase de crecimiento más moderado (4.16% entre 1972-81 y 3.21% entre 1981-93), a un ritmo que aún se mantiene vigoroso, muy por encima de otras ciudades y del promedio nacional. Trujillo Metropolitano alcanza a la fecha el 98% de la población del Área Metropolitana - provincial y el 49% de la población del departamento; estas cifras caracterizan el gran desequilibrio en la distribución geográfica de la población regional que se manifiesta en los permanentes flujos migratorios, con el abandono del campo y regiones del interior que quedan deshabitadas y su concentración en ciudades costeras<sup>1</sup>.

**Cuadro 6.1** Distritos del Área Metropolitana – Provincial de Trujillo.

PROVINCIA
Trujillo
El Porvenir
Florencia de Mora
La Esperanza
Víctor Larco Herrera
Huanchaco
Laredo
Moche
Salaverry
Poroto
Simbal

**Cuadro 6.2**

### EVOLUCION DE LA POBLACION NACIONAL Y METROPOLITANA PERIODO 1961-1993

Años	Población Nacional	Población Metropolitana	Tasa de Crecimiento	
			Nacional	Metropolitano
1961	9907000	135381	2.25%	4.48%
1972	13538000	279481	2.88%	6.81%
1981	17005000	403337	2.57%	4.16%
1993	22048356	589314	2.22%	3.12%

Fuente: Censos de Población y Vivienda 1961-72-81-93 INEI

<sup>1</sup> Plan Estratégico de Desarrollo Integral y Sostenible de Trujillo, Trujillo 2003

### 6.1.3 GEOGRAFIA

El área estudiada se extiende, en la vertiente pacífica de la Cordillera Occidental, desde el litoral hasta la meseta andina, y sus principales características son:

**Relieve.-** En la configuración de la región se distinguen en general, una zona occidental de formas llanas, una central de perfiles abruptos y otra oriental que pertenece al altiplano. La primera zona, comprende los terrenos bajos de la costa, formados por restos de terrazas marinas, terrazas aluvionales y conos de deyección en distinto grado de preservación, que se desarrollan desde el litoral hasta la cota aproximada de 200 m sobre el nivel del mar. En ella destacan algunos cerros aislados, que constituyen las estribaciones más occidentales de la Cordillera de los Andes.

La segunda zona, abarca gran parte del flanco disectado de los Andes, de topografía escarpada con valles profundos y encañonados, que descienden con fuerte pendiente hacia la costa. El sector más oriental corresponde al altiplano y se caracteriza por superficies más o menos onduladas de 3,500 a 4,000 m de altitud; sobre las cuales se levantan algunas cadenas de cerros. Esta región ha sido afectada por erosión glacial y fluvial que han dado origen a valles, que en la actualidad se encuentran en proceso de encañonamiento.

### 6.1.4 CLIMA

El clima de Trujillo se caracteriza principalmente por la ausencia de lluvias, sin extremos de calor o frío. La Cordillera de los Andes, que impide el paso de los vientos alisios cargados de humedad, producen 2 fenómenos principales: la intensificación de las lluvias en el flanco andino oriental, y la condición desértica de la costa trujillana, agudizada por la corriente de Humboldt; la cual determina que los vientos marinos, anormalmente fríos se carguen de humedad pacífica, no produzcan lluvias, debido a la elevación de su temperatura en su avance hacia el Continente, y más bien den origen a una atmósfera que atrae niebla y garúa.

**Temperatura.-** La región estudiada tiene condiciones de clima variadas; en la costa es cálido y desértico, con temperaturas altas en los meses de Enero a Marzo y relativamente bajas durante el resto del año. Las temperaturas medias anuales en esta zona están alrededor de 20 °C.

La temperatura, en la ciudad de Trujillo, oscila en promedios mensuales: 18.6°C de temperatura media, 22.5 °C temperatura alta media, y 15.5 °C de temperatura mínima media; correspondiendo la temperatura máxima absoluta mensual al mes de Marzo con 27.5 °C, de promedio y una temperatura mínima absoluta mensual al mes de Julio con 21.1°C.

**Precipitación.-** Las precipitaciones son escasas, generalmente menores de 100 mm por año, y se producen como ligeras lloviznas en los meses de invierno. El invierno es nublado con garúa y baja nubosidad, entre los meses de Abril a Noviembre. Las estaciones meteorológicas, situadas en distintos lugares de la faja costanera, registran precipitaciones muy bajas; la estación de la ciudad de Trujillo señala una media anual de 1.7 mm.

En el fondo de los valles del flanco andino, el clima es templado y semiárido, mientras que, en el altiplano es frío y sub.-húmedo.

A partir de los 1,000 m.s.n.m. se produce un incremento rápido de las precipitaciones pluviales, registrándose las máximas descargas arriba de los 2,000 m.s.n.m. Los registros de las medias anuales en las siguientes estaciones son Salagual (2,332 m.s.n.m.) 1,283 mm. , Campodén (1,430 m.s.n.m) 616.2 mm. , y Motil (3,207 m.s.n.m.) 886.2 mm respectivamente.

**Humedad Relativa.-** Se aprecia que la humedad relativa tiene un régimen casi uniforme a lo largo del año, presentando solamente una oscilación de 2.6 %. En términos generales se verifica que la humedad relativa es mayor durante el invierno (88 %) que en el verano (77 %), lo que nos da un promedio anual de 83.5 %.

**Presión Atmosférica.-** Basándose en los registros mensuales de la Estación de CORPAC, el promedio anual es de 1012.89 mb. Los valores barométricos tienen una tendencia a incrementarse durante el invierno y la primavera, y a descender durante el verano, debido a que en esta estación se presenta mucha inestabilidad atmosférica, originada por la mayor insolación persistente en el área.

**Vientos.-** De acuerdo a los registros podemos notar que predomina con notable persistencia el viento SUR, que en muy pocas oportunidades varía a SURESTE.

La velocidad que alcanza el viento, oscila desde 9.8 Km/h. en promedio, correspondiendo estos valores al grado 2, según la escala de Beaufort de la clasificación de Vientos, denominando al viento por el mismo autor como "flojito".

Sin embargo para fines de diseño para periodos de Recurrencia de 50 años, se han hallado Isótopas cuantiles de 0.02 para velocidades extremas de viento. La Lámina 2.3 se puede usar para este fin.

En este sentido, consideramos que el área de costa de la región estudiada esta siempre bajo la influencia de un viento dominante SUR.

**Nubosidad.-** La nubosidad medio mensual es de 5.0 para igual período, siendo los meses de más alta nubosidad Febrero, Marzo y Octubre. Esta información corresponde a la Estación de la Universidad Nacional de Trujillo.

### 6.1.5 ANTECEDENTES DE DESASTRES POR INUNDACION EN LA CIUDAD

Las precipitaciones pluviales producidas por el fenómeno "El Niño", nos han acompañado a lo largo de nuestra historia, originando daño y destrucción en nuestras ciudades y sus entornos. Nuestros antepasados trataron de dar seguridad física a sus pobladores, ubicando sus ciudades en las partes altas y protegidas. En otros casos apreciamos restos de grandes muros arqueológicos, ubicados en forma transversal a las quebradas de Río Seco, del León y de la Cumbre a manera de Diques, que a pesar de Muchos "Niños" recurrentes, están aún presentes.

Según narra, Do Miguel Feijoo de Sousa en 1763, que en 1728, las torrenciales lluvias que duraron 40 días, fueron tan excesivas que corrieron agua por las calles, a lo que ocurrió "Otro gran accidente para susto y temor de la ciudad", el agua embalsada en el Mampuesto, humedeció las bases y cimientos del mismo, derrumbándose y precipitando la multitud de agua que se había recogido. Similar "accidente" sucedió en 1891.

Asimismo en 1925, llovió torrencialmente por varios días sobre Trujillo y alrededores, causando graves estragos a las casas, edificios públicos y privados (muchos de los cuales se derrumbaron). Las carreteras y líneas férreas también fueron afectadas y los ríos se desbordaron. Todo lo que sucedió en el año en mención se encuentra en los archivos del diario La Industria. He aquí un sintético resumen de lo que pasaron los trujillanos de entonces.

**En enero de 1925** se inician las lluvias y en febrero éstas se vuelven intensas en la sierra. Los ríos Chicama y Moche traen abundantes cantidades de agua que se desbordan. Las quebradas de Quirihuac, San Carlos y del León cargaron durante el mes de febrero sin causar estragos, pero, sí el río Seco de Huanchaco, que causó daños e incluso interrumpió la línea férrea del ferrocarril al valle Chicama. También el río Chicama se desbordo, causando graves daños en las haciendas y caminos.

#### **¿Pero qué ocurrió en marzo de ese año?**

La población no creía que se iba a producir un fenómeno pluvial intenso y, que las quebradas se iban a venir sobre Trujillo, porque no se daban las mismas condiciones del aluvión de marzo de 1891 que muchos lo tenían presente. Ellos decían que estos fenómenos se daban en periodos de 70 años y por lo tanto de 1891 a 1925 sólo habían transcurrido 34 años. Aunque la intensidad de los ríos hacia temer que la temible quebrada del León (en varias oportunidades la nombraron como "la fiera que despertó") viniera sobre la ciudad.

**El día 6 de marzo**, se desató una tempestad en los cerros vecinos de Trujillo. Se refiere, que la lluvia, aunque de poca duración, hizo que corriera agua por la quebrada del León y el río de Huanchaco. Según el corresponsal de Huanchaco, a las 10 pm después de llenarse el cauce, hasta unos 10 metros de ancho, se desbordó inundando una parte del pueblo y sembrando alarma en los pobladores.

"La quebrada del León, que se almacena en el Mampuesto, no vino con tanta agua, por lo que bajó su caudal. Se ordenó que la bocatoma de la Mochica quedara cerrada para que su cauce quede libre y pueda recibir el agua de las quebradas", dice La Industria. Ese día, la temperatura máxima llegó a 31.5 ° C y la mínima fue de 25 ° C.

**El día 7 de marzo** cayó una lluvia torrencial sobre la ciudad por espacio de una hora, causando alarma en la población. La Industria en su edición del día 8 de marzo señala que el aspecto del cielo en la tarde de la víspera era amenazante. A las 7.45 pm unos gruesos goterones anunciaron un aguacero, pero esto fue fugaz. A las 8.10 comenzó la lluvia, pero en forma torrencial. Un ruido, como se escucha en la sierra, llenaba la ciudad. Las calles se convirtieron en acequias. Las casas pasaban con rapidez y la gente se alarmaba. Hubo cortocircuitos. Muchos techos se desplomaron. La lluvia duró hasta las 9 y 5 pm. También se vio relámpagos y sopló un fuerte viento sur durante la tempestad. La portada de la Sierra, por su situación se ha anegado totalmente con el agua de la lluvia.

El río Seco de Huanchaco cargó intempestivamente cerca de 10 mil riegos y la quebrada San Carlos llegó sobre Laredo, el que estaba inundado totalmente. Según se reportó, ese día sólo llovió en Trujillo, más no en alrededores como Buenos Aires, Salaverry y Huanchaco; como sí había ocurrido en días anteriores.

El día 8 hubo lluvias intermitentes y menudas. Se señala que illovió en forma menuda toda la noche del 8 para el 9 de marzo. La quebrada del León trajo agua y repuntó con fuerza por la tarde. Asimismo, el río de Huanchaco trajo menos agua que el día anterior.

El día 11 volvió a llover en forma intensísima no sólo en Trujillo, sino en toda la Comarca; y se reportan lluvias en Ascope, Chicama y Chiclín. Las lluvias comenzaron al promediar las 3 p.m. y se prolongaron por varias horas, habiendo causado graves daños a las casas. Los cielos se mostraban amenazantes desde la mañana, sobre los cerros de Trujillo y sobre Trujillo mismo. Había enormes cúmulos de nubes.

La temperatura de ese día fue de 31 °C. Por la tarde a las 3 pm., la Quebrada del León trajo un torrente muy considerable, superior al de los días anteriores, pero a las 6 de la tarde ya había bajado considerablemente.

**La lluvia interminable del 11 de marzo**

El día 11 de marzo de 1925 cayó miércoles. Desde temprano hubo un sol brillante, pero hacia los cerros se veían unas nubes negras, muy cargadas y el calor era intenso. A eso de las 2.30 p.m. el cielo de Trujillo se "entoldó" y se inició una lluvia menuda a las 3 p.m. sobre la ciudad con ligeros intervalos hasta las 4.30 p.m.

Durante toda la tarde se habló, que cargaría la Quebrada del León.

"A las 5.30 p.m. —dice textualmente La Industria"— se reanudó la lluvia con mayor intensidad. Las calles se convirtieron pronto en riachuelos. Las casas eran verdaderas cernideras. Todos creían que la lluvia pasaría como en los días anteriores, pero no fue así. A las 6 p.m. seguía lloviendo. A las 7, a las 8, a las 9, a las 10, a las 11, a las 12, a la 1 de la madrugada, a las 2, a las 3 seguía lloviendo muy fuerte. A las 4 am escampó".

Los momentos más fuertes fueron entre las 7 y las 8.30 pm en que incluso se vieron relámpagos intermitentes que iluminaron la ciudad. El espanto en los trujillanos fue intensísimo. El día 13 de marzo, volvió a llover sobre la ciudad, aunque menos intenso y por tiempo más corto. Los ríos tienen un caudal impresionante.

**La lluvia e inundación del 14 de marzo.**

La catedral como refugio.

El día 14 volvió a caer una lluvia torrencial, y las aguas de las quebradas inundaron parte de la ciudad. Todo el Paseo Muñiz en ruinas. Dice La Industria que, después de dos días de aparente descanso, a las 3.30 p.m. del 14 de marzo, volvió a llover pero en forma torrencial. Desde las 4 hasta las 6 p.m. la intensidad de la lluvia fue grande, semejante a la del día 7 de marzo.

Las calles volvieron a convertirse en ríos y las casas se caían. Las quebradas cargaron con toda su furia, pues desde temprano había llovido en las partes altas de Trujillo y a las 5.30 p.m. las aguas vinieron con toda su fuerza, después de inundar el barrio de Mampuesto.

Trujillo, quedó inundado aquella noche. Como quiera que llovía de un lado, y de otro la quebrada del León traía abundante agua sobre la ciudad, la gente se refugió en la Catedral. El día 15 de marzo volvió a llover, aunque menos fuerte que el día anterior, pero sí de manera muy prolongada. Desde las 10.30 p.m. hasta las 3 de la madrugada. A las 11 amainó un poco pero de dos a 3 la lluvia fue intensísima. Esto motivó que nuevas casas se cayeran.

**El día 16 de marzo** aunque no llovió, Trujillo fue inundado nuevamente por la quebrada del León. Desde ese día hubo un descanso de lluvias, hasta el 24 de marzo, en que nuevamente a las 4 pm se desencadenó otra lluvia torrencial, pero sólo de pocos minutos. A las 7.15 pm. volvió a llover, pero con mediana intensidad, pero las calles eran ríos. Luego dejó de llover, para

presentarse con más fuerza de las 9 a las 11 pm en que se produjeron tres aguaceros tremebundos, cuyo ruido era atronador, la temperatura era alta. Los vientos de las tempestades eran con dirección Nor - Este. Al parecer, ese día fue el último de lluvia intensa, las que sin embargo siguieron cayendo con características menos fuertes hasta el mes de abril inclusive.

Debemos recalcar que la famosa quebrada del León, que llamaban en 1925 es la que nosotros tenemos por San Ildefonso, ahora que se junta con Río Seco, y que se almacenó en el cementerio de Mampuesto. La quebrada que se vino sobre Huanchaco, la llamaban el Río de Huanchaco o Río Seco de Huanchaco, y que nosotros tenemos por Quebrada del León. Respecto a la quebrada de San Carlos, si es la misma que inunda a Laredo.

## **6.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.**

### **6.2.1 Características físicas de la ciudad**

#### **6.2.1.1 TOPOGRAFIA**

En el área geográfica que ocupa la ciudad, presenta topografía relativamente plana, como lo podemos ver en la Lamina 6.2, pero con una pendiente relativamente uniforme, que varía entre 1 al 15 %, y una altura de 24 m sobre el nivel del mar.

En la periferia urbana, en cambio, el área que sirve de asiento a los Pueblos Jóvenes, muestra una topografía variada, con pendientes pronunciadas, pues ocupa las faldas de los cerros " El Presidio " y " Cabras " principalmente.

## 6.2.1.2 GEOMORFOLOGIA

### A. GEOMORFOLOGIA REGIONAL

El territorio estudiado se encuentra en la vertiente pacífica y comprende sectores de la costa y sierra de la Región La Libertad. Distinguiéndose tres unidades geomorfológicas bien diferenciadas (ver Lamina 6.3):

- a) Macizos y Cerros Costaneros Aislados
- b) Pampas Costaneras
- c) Flanco Disectado de los Andes

a) Macizos y Cerros Costaneros Aislados.- Esta unidad se observa en el límite occidental de la zona estudiada; si bien no está muy definida como en otros valles los Cerros Costaneros Aislados, los observamos cerca de Huanchaco, en el Cerro La Virgen y, en las proximidades del Puerto de Salaverry. En ambos lugares el tipo de roca predominante es de naturaleza intrusiva.

b) Pampas costaneras.- Esta unidad geomorfológica se desarrolla a manera de una faja paralela a la costa, desde el nivel del mar hasta una altitud aproximada de 200 m, y presenta notables ensanchamientos en la porción correspondiente al valle del río Moche. Por el Oeste está limitada por pequeñas escarpas que bordean el litoral y hacia el Este por las cadenas de cerros bajos de los primeros contrafuertes andinos. Tiene una superficie más o menos llana, en la que destacan algunos cerros y colinas redondeadas.

Las pampas costaneras están constituidas por terrazas aluviales y marinas, abanicos aluviales y mantos de arena.

c) Flanco disectado de los Andes.- Esta unidad se extiende entre las pampas costaneras y el borde altiplano, con altitudes que varían de 200 a 3500 m. Está esculpida en rocas volcánicas y sedimentarias cuyas edades van desde el Jurásico superior hasta el Terciario inferior, y en rocas intrusivas del batolito andino.

Esta unidad se caracteriza por su fuerte pendiente y por estar intensamente disectada por el valle Moche que corre de Noreste a Suroeste.

Este valle es joven con sección transversal en "V", pisos estrechos y fuerte gradiente; sólo en sus tramos inferiores, correspondiente a las pampas costaneras, adquieren gran amplitud y sus cauces tienen gradientes moderados.

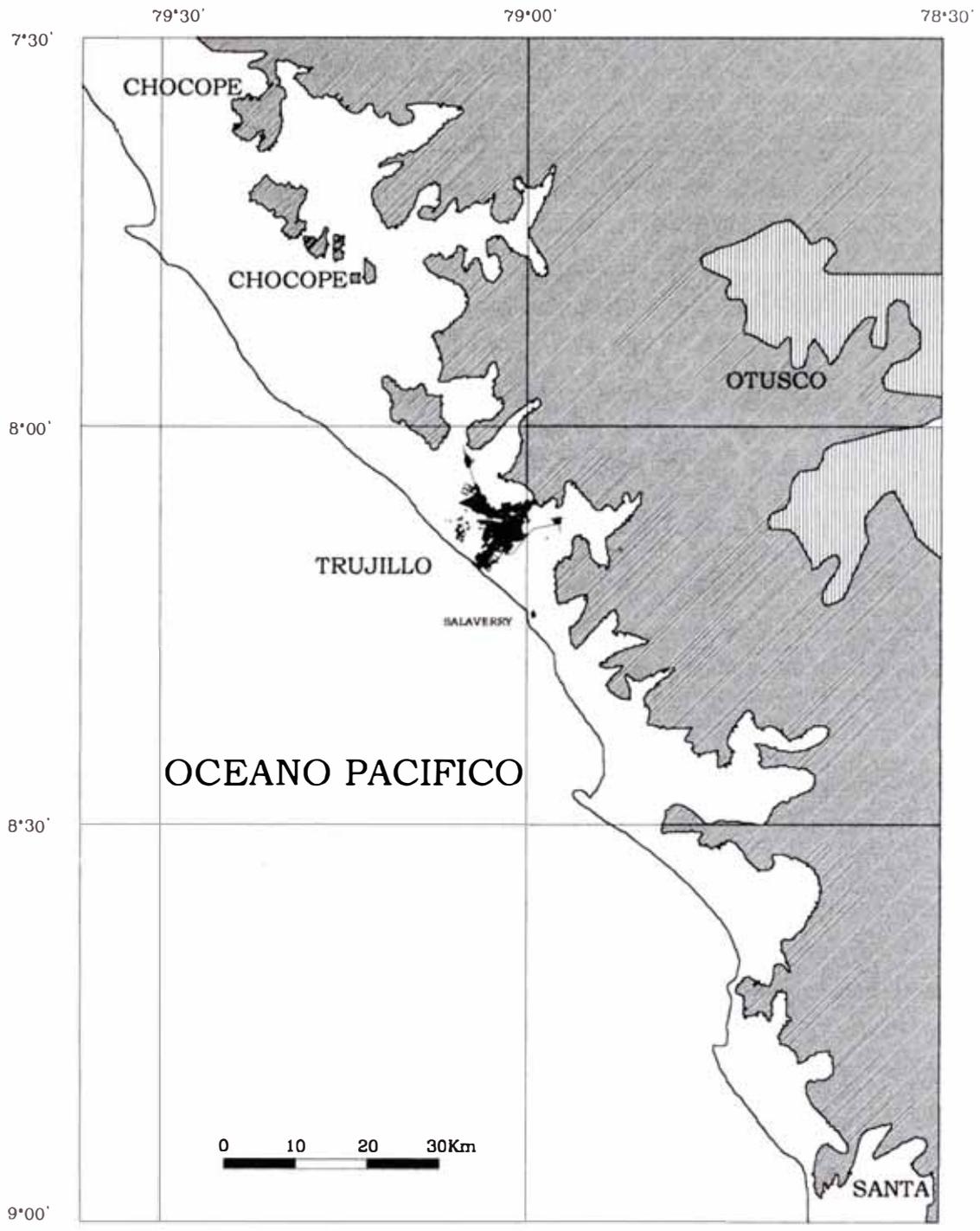
**Agentes modeladores.-** Dentro de los agentes modeladores del paisaje regional, el agua y el viento han jugado un papel importante en la formación del relieve actual del área estudiada. Las aguas provenientes del deshielo de los glaciares pleistocénicos han sido en gran parte responsable del socavamiento de los valles actuales. La acción socavadora continua en la actualidad, principalmente por las aguas meteóricas que se colectan en las partes altas del flanco andino. Los productos de la erosión han sido transportados y depositados en forma de terrazas y abanicos aluvionales.

Las intensas lluvias que se producen en la región flanco disectado de los Andes después de largos períodos de sequía, originan grandes torrentes que descienden por las numerosas quebradas cuyas nacientes se encuentran 1000 y 2000 m de altitud. Los materiales acarreados por dichos torrentes se han acumulado en las planicies bajas en forma de grandes abanicos, como los que se observan en las quebradas del León y Pampas del Pie, en sus salidas a la planicie costera.

El modelado producido por el viento se manifiesta en forma de oquedades, redondeamientos y superficies pulidas que presentan los afloramientos rocosos de las pampas costaneras.

Las acumulaciones eólicas y mantos de arena, se encuentran dispersas en la planicie de la costa. Estos depósitos se observan en algunos casos hasta altitudes de 1000 m.

Son característica en la superficie de los médanos y mantos de arena las rizaduras producidas por el viento.



-  Pampas Costaneras
-  Flanco Occidental de los Andes
-  Altiplano

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL</b> <small>CISMID - DPMD</small>		
<b>TESIS :</b> "ESTUDIO DE LOS EFECTOS DEL FENOMENO DE "EL NIÑO" 1997-98, EN LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE TRAMO HUARMEY-PACASMAYO Y EN LA CIUDAD DE TRUJILLO"		
<b>PLANO:</b>		<b>LAMINA:</b>
<b>GEOMORFOLOGIA REGIONAL</b>		<b>6.3</b>
<b>Bachiller :</b> Felix A. Mendoza Calderón		<b>Fecha:</b> Junio 2004
<b>Aesor :</b> Ing. Julio Kuroiwa H.		<b>Escala:</b> GRAFICA

**B. GEOMORFOLOGIA LOCAL****a) Sector Salaverry- río Moche:**

El Sector Salaverry - río Moche tiene una forma triangular, más o menos plana, y está constituida por depósitos eólicos y marinos en el extremo sur cerca del puerto de Salaverry y por depósitos eólicos - aluviales, predominantemente finos, hacia los alrededores de Moche. En el lado oriental afloran rocas intrusivas en los cerros Blancos, Chico y Ochiputur que están parcialmente cubiertos por depósitos eólicos. Al pie de estos cerros se encuentran depósitos aluviales antiguos (Q-a2), que terminan en un escarpe de fuerte pendiente y más de 50 m de desnivel que se continúa en el escarpado Cerro Salaverry y hacia el Sur. Este escarpe debería su origen a la erosión marina.

**b) Sector Río Moche - Río Seco:**

El Sector Río Moche - Río Seco, tiene una forma casi rectangular y se halla limitado hacia el este por el pilar tectónico que constituyen los Cerros Cabras, El Porvenir, Pesqueda y que se continúan en alineamiento de Cerro Blanco. Al norte, el Cerro La Virgen establece el levantamiento del basamento hacia ese sector.

**En río Seco** se observa una secuencia completa de terrazas fluvioaluvionales que corresponden al actual Q-ao, última y penúltima terrazas Q-a1 y Q-a2.

La terraza fluvioaluvional antigua se presenta acantilado en la línea de costa tanto al norte como al sur de Huanchaco. Un corte observado en un pequeño barranco al norte de Huanchaco, de paredes casi verticales presenta 6-8 m. de materiales subangulosos a subredondeados constituidos por rocas intrusivas, volcánicas, cuarcitas y más raro calizas. Las gravas y cantos tienen tamaños de 2-6 cm. y 8-16 cm. que predominan y bloques de 30-50 cm. La matriz es arena gruesa de disgregación y arena fina de origen eólico. Debajo se observa unos 5 m. de arena predominantes de origen eólico y de disgregación, con lentes delgados de gravas y en la base unos 15 m. de materiales gruesos subangulosos y subredondeados.

Los depósitos aluviales actuales Q-ao y de la última terraza Q-a1 presentan características similares lo que indica condiciones de sedimentación muy semejante.

Los depósitos de la **quebrada de León**, mayormente angulosos y permeables constituyen un cono aluvial que se extiende al este y noreste de la ciudad de Trujillo. Entre este cono y la línea de costa los sedimentos han sido re TRABAJADOS constituyendo un cono-terrazza fluvioaluvional, Q-ct1.

Una parte de la ciudad de Trujillo tiene una cubierta de arena eólica de 5-6 m. de espesor en promedio, que se hace muy gruesa en la zona de La Esperanza y El Porvenir donde alcanzarían hasta 34 m. En las márgenes del río Moche se presenta la última terraza fluvial Q-t1, que entre Barraza y la línea de costa llega a casi 2 km. de ancho, en su borde norte se observa un canal antiguo del río que llega hasta cerca del mar al sur de Trujillo y Víctor Larco.

### **6.2.1.3 GEOLOGIA REGIONAL Y DEL AREA DE TRUJILLO**

El sector costanero comprendido entre Paracas y Paita donde se encuentra ubicadas varias ciudades importantes, una de las cuales es Trujillo, forma parte del complejo geológico ribereño, caracterizado por haber sido conformado por una sucesión de eventos geológicos de la corteza que ha delineado su configuración actual.

En términos generales, los procesos geológicos han sido: sucesivas sedimentaciones en ambientes continentales y marinos, magnetismo y tectonismo moderados, acompañados de sismos sobre impuestos en el cuaternario por modelado sub-aéreo en relación con acarreo, sedimentación y erosión fluvial en ambiente árido; erosión y sedimentación eólica y erosión y sedimentación marina en plataforma continental de poca profundidad.

Los componentes más recientes cronológicamente cuaternarios, están constituidos en la llanura donde se encaja el valle del río Moche, mayormente está constituida por depósitos de escombros fluviales y torrenciales interdigitado con restos de sedimentos marinos de ribera, esencialmente son: lodos, limos, arcillas, arenas, gravas, que reposan en paquetes de tipo lenticular entrecruzado, cubiertos por escasos centímetros de suelos arcilloso - arenoso orgánico y/o por acumulaciones eólicas de arena y loes. Estos depósitos están aún en un incipiente proceso de litificación y poseen espesores que varían entre 8 y 150 m.

Los fondos del valle y las áreas de inundación en ambos casos tienen acumulaciones de limo, lodo, loes y restos orgánicos mezclados con lentejones de arena y grava, gradualmente clasificadas en el sentido del escurrimiento fluvial.

Debajo de la cobertura, observable en afloramientos ocasionales expuestos por erosión, tectonismo o por obras (ver Lamina 6.4), en Trujillo se hallan algunos afloramientos de sedimentos mesozoicos, constituidos por: lutitas, limonitas, areniscas, cuarcitas, calcarenitas, calizas, y estratos volcánicos sedimentarios conformados por derrames y brechas andesíticas con intercalaciones de lutitas y calcarenitas y carbonosas oscuras.

El espesor de estas rocas varía entre 400 y 2800 m, siendo ellas muy diagenizadas y macizas. Estas rocas forman la roca soporte a mayor profundidad.

Instruyendo a las rocas mesozoicas y especialmente en Trujillo, se hallan afloramientos de rocas plutónicas de las familias de granito y granodiorita, conformando el sub-suelo macizo del sector. Estas rocas conformantes del batolito costanero, no se ha establecido aún su espesor.

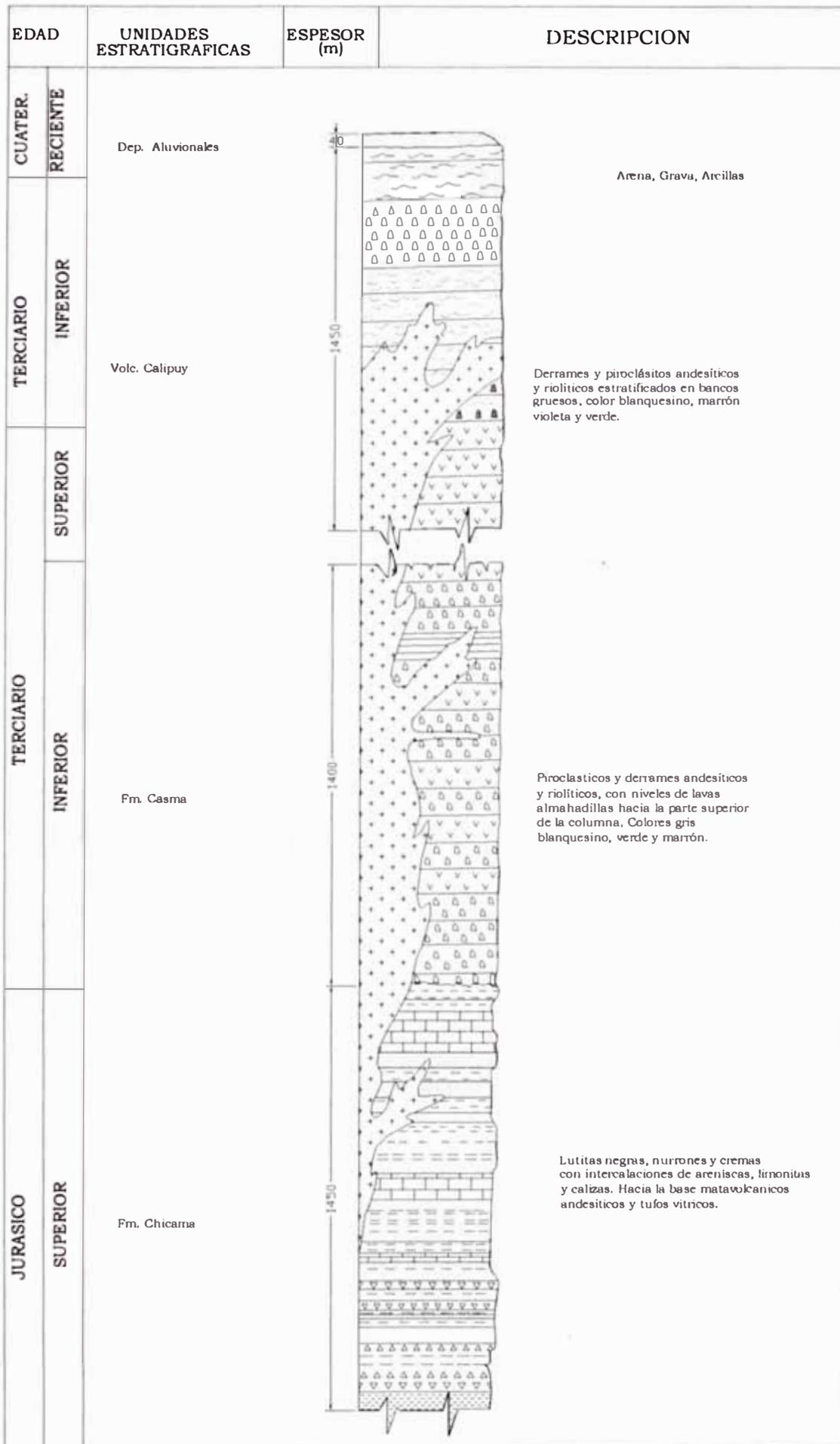
En el contexto regional del área estudiada, los rasgos estructurales, guardan estrecha relación con la naturaleza de las rocas expuestas. Las rocas sedimentarias, principalmente las que afloran en el cuadrángulo de Otuzco, se hallan fuertemente plegadas y falladas, en cambio las rocas de facies volcánico-sedimentaria que afloran en la Costa y pendientes bajas de los Andes, muestran un tectonismo muy moderado. El extenso manto volcánico del lado oriental de Otuzco y Salaverry presenta suaves ondulaciones y pequeños fallamientos locales; finalmente, los numerosos cuerpos intrusivos además de su carácter transgresivo están fuertemente diaclasados.

Estructuras en las rocas intrusivas. En ciertas áreas de Trujillo y Salaverry, los sistemas de diaclasamiento presentes en el volcánico Casma, tienen la misma orientación que las rocas del batolito, lo cual sugiere que, los esfuerzos que originaron los junturamientos en ambas unidades rocosas tuvieron igual sentido y probablemente la misma intensidad.

En el sector del valle de Trujillo, dentro de los rasgos estructurales más importantes tenemos:

- La configuración sinuosa e irregular de las rocas macizas del subsuelo, que sub-yacen discordantemente a los depósitos cuaternarios, condición que vulnerabiliza por sectores a los suelos en función del espesor de los mismos, con relación a la roca maciza y compacta que le sirve de soporte.

- El intenso diaclasamiento de las rocas plutónicas y volcánicas que conforman la roca basamento del área, se ha observado que el diaclasamiento penetra debajo de la cobertura de depósitos cuaternarios, siendo difícil pronosticar su comportamiento y magnitud en caso de vibraciones sísmicas.



Columna geológica generalizada de los Cuadrángulos de Trujillo, Salaverry y Santa

Fig. 6.1

#### **6.2.1.4 MECANICA DE SUELOS**

La resistencia admisible del terreno tiene un promedio de 1.5 Kg./cm<sup>2</sup>, variando ésta entre 1 Kg./cm<sup>2</sup> y 2.5 Kg./cm<sup>2</sup>, respectivamente, habiéndose establecido una resistencia de hasta 4 Kg./cm<sup>2</sup> en algunas zonas del Parque Industrial de Trujillo.

De acuerdo a los perfiles estratigráficos observados en la ciudad de Trujillo, se pueden analizar los siguientes grupos:

##### **ZONA I.- CENTRO URBANO**

En el Centro Urbano, lo que viene a ser la zona monumental de la ciudad de Trujillo, Urb. Primavera, Urb. Las Quintanas, Urb. Huerta Grande considerando los puntos de estudiados para la ejecución de diversas obras los cuales son: calle Ayacucho, Jirones Bolívar y Ayacucho, en el Banco de Crédito de Trujillo, Avs. Orbegozo y Pizarro; en estos perfiles podemos encontrar mucha semejanza hasta los 7m de profundidad, habiéndose encontrado materiales que en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos se definen como SM-SP, que son arenas limosas, pobremente graduadas, color amarillento, variando su densidad relativa, con la profundidad de densa a muy densa. Estos tipos de suelos, especialmente el SM son grupos de suelos cuyo contenido de finos afecta las características de resistencia y esfuerzo - deformación y la capacidad de drenaje libre de la fracción gruesa.

A partir de los 7 ó 9 m de profundidad, en algunos casos, se encuentra una capa de material granular grueso empacado en arena gruesa, cuya denominación comúnmente usada es la de Hormigón.

En esta zona según José Tong Matos, se puede generalizar para cimentaciones del tipo superficial, un estimado de capacidad admisible de 1 kg/m<sup>2</sup>, siendo importante definir la profundidad de cimentación en función del perfil encontrado. Para mayores profundidades se puede estimar que la capacidad de carga admisible, aumenta de acuerdo a la densidad relativa de las arenas. Las cimentaciones al nivel de la capa de Hormigón serán económicas si se proyectan edificios con varios niveles de sótanos (dos o tres quizá).

## **ZONA II.- ZONA NOR-OESTE**

En la zona Nor-Oeste, correspondiente a la zona del Parque Industrial, zonas destinadas a la construcción de urbanizaciones del Parque Industrial, zona de la Esperanza y demás lugares aledaños a la carretera Panamericana Norte (Trujillo-Chiclayo). Se cuenta con mucha información de la zona, debido a diversos estudios realizados por especialistas, en la elaboración del proyecto del Parque Industrial.

De acuerdo a los sondeos realizados por la empresa A.C. Ingenieros Consultores, los perfiles estratigráficos pareciera que son típicos, variando solamente en su potencia, compacidad o resistencia de los diferentes estratos. Superficialmente encontramos arena de origen eólico entre los 0.20 y 0.50 m, de granulometría fina a media, continuando el mismo tipo de arena (SP,SM), con pequeños lentes de limos arenosos hasta los 3.00 m, con presencia, en algunos casos de gravillas y gravas, en estado relativamente seco (humedades que varían entre 0.3 a 2%), de baja y mediana compacidad, continuando con un perfil de arena fina a media limosa o arena semi - gruesa en estado seco, yendo de un estado compacto a muy compacto. Luego encontramos el estrato de conglomerado (GW, SP), con las siguientes características: arena semi - gruesa con bajo porcentaje de finos que empaca grava y gravillas sub angulosas en un 40 a 60%, así como bolones que alcanzan 10 pulg de diámetro efectivo, este estrato tiene mediana compacidad.

De acuerdo a la estratigrafía descrita, el suelo sobre el cual se emplazarían las obras y de acuerdo a las condiciones de compacidad halladas es recomendable cimentar a una profundidad entre 1.00 a 1.20 m, y excepcionalmente a mayores profundidades en zonas que se encuentre material arenoso suelto. En todos estos casos se recomienda usar una carga admisible de 1.5 kg/cm<sup>2</sup> y no mayor a 2.0 kg/cm<sup>2</sup>.

Esta información ha permitido realizar una zonificación preliminar del lugar en tres sub-zonas principales:

## **ZONA III.- FRANJA NORTE DEL RIO MOCHE**

Es una área conformada por ambos lados de la carretera Panamericana, bordeada por el Río Moche, el área de la Ciudad de Trujillo (incluyendo parte de ésta) y la Costa.

Básicamente es una zona de origen fluvial cuyas deposiciones han sido hechas por aguas lentas,(ver Geología y Geomorfología ), en la actualidad la napa freática se encuentra a mayor profundidad que hace algunos años. El perfil del suelo es bastante uniforme y está constituido por una capa superior de tierra de cultivo (arcilla de plasticidad baja), la cual llega hasta una profundidad que varía entre 0.85 y 1.20 m. A continuación se encuentra un estrato de arcilla de plasticidad baja, compacta a muy compacta, el cual llega hasta profundidades entre 0.60 y 2.00

m. A este estrato subyace un depósito de arena con contenido variable de limo, medianamente densa a densa; este estrato en muchos lugares se inicia entre 1.00 y 1.60 m, dependiendo de una secuencia norte a sur. La resistencia del terreno es de aproximadamente 0.8 kg/cm<sup>2</sup>, para niveles de cimentación superficiales cuyas características corresponden a un tipo de suelo CL de la clasificación SUCS. Si las estructuras se van a cimentar al nivel de depósitos de arenas limosas pobremente graduados, correspondiente a materiales SP-SM, se recomienda una capacidad portante de 1.5 a 1.8 kg/cm<sup>2</sup>.

#### **ZONA IV.- ZONA OESTE DE TRUJILLO**

La zona Oeste de la ciudad de Trujillo, comprende parte de la zona actual de expansión urbana de la ciudad, así como zonas antiguas del balneario. Las condiciones del terreno lamentablemente, se presenta desfavorables con respecto al resto de la ciudad.

La zona está comprendida prácticamente desde la Av. España hasta el Océano Pacífico. Las condiciones del terreno desmejoran en el mismo sentido.

Las características generales del subsuelo se presentan en forma variable, encontrándose materiales sueltos, clasificados como arcillas inorgánicas de mediana compresibilidad. Por debajo se encuentran materiales arenosos limosos.

Es difícil generalizar para esta zona una capacidad de carga promedio, porque muestra mucha variabilidad en sus condiciones de densidad y variación de la napa freática. Así, por ejemplo, para el Núcleo Educativo Víctor Larco, en el Distrito de Buenos Aires, la evaluación de la capacidad de carga fue de 0.5 kg / cm<sup>2</sup> para una profundidad de cimentación de 1.00 m.

En el caso del Reservorio de la Ciudad Universitaria, el perfil presenta un manto de arena de graduación variable, sumergido y con estado de densidades altas, llegándose a evaluar una capacidad de carga admisible de 2 Kg. / cm<sup>2</sup>. De esta manera podemos deducir como varía dicha estimación a medida que nos acercamos al litoral.

En esta misma zona Oeste, están ubicadas varias urbanizaciones nuevas, que presentan características similares.

### **6.2.1.5 CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS.**

La principal fuente de agua superficial del valle la constituye el río Moche. Este río tiene características de torrente de régimen irregular, observándose marcadas diferencias entre sus parámetros extremos; donde el porcentaje mayor de caudales registrados se dan durante los meses de Enero a Marzo. Y en épocas en que se presenta el fenómeno de "El Niño", como en el año 1982-83, el valor máximo de descarga, según los reportes de la Región Agraria la Libertad fue de 280 m<sup>3</sup>/s, y en el último evento como el ocurrido en el año 1997-98 el caudal máximo (mes de Marzo) estimado fue de 1000 m<sup>3</sup>/s (Estación de Aforo que se encuentra en Poroto).

Asimismo, la ciudad de Trujillo esta circundada en la parte alta por quebradas, que cuando se produce el fenómeno de "El Niño" se activan, muchos de ellos con cauces cortos muy reducidos que descargan sus aguas y sedimentos gruesos en el río Moche; en otros casos como son las quebradas San Ildefonso, El León, Encantada y Río Seco, descienden desde los cerros vecinos hacia la planicie aluvial, donde se ubica los centros poblados de la ciudad, presentando un alto riesgo debido a la proximidad y amplitud de las cuencas colectoras.

### **6.2.1.6 HIDROGEOLOGIA**

Los depósitos cuaternarios, especialmente los aluvionales por su mayor extensión de afloramiento, son de mayor interés para la búsqueda de aguas subterráneas, pero los depósitos fluviales, como la terraza fluvial, que se extiende a ambos márgenes del río Moche tiene las mejores características hidrogeológicas de la región.

Entre Salaverry y el Pueblo de Moche, se encuentra como unidad hidrogeológica más importante un depósito eólico-aluvional, compuesto de sedimentos arenosos finos a gruesos que llegan a 42 m de espesor y que sufren probable intrusión de aguas marinas cerca de Salaverry.

Entre el Río Seco y Trujillo, aflora un cono terraza fluvioaluvional, y una secuencia completa de depósitos aluvionales constituidos de sedimentos gruesos permeables que pueden alcanzar hasta 60 m de espesor, sin embargo, el problema radica en la recarga del acuífero, que depende mayormente de la infiltración de las aguas de los canales y de regadío.

## **6.2.2 SUB-CUENCAS DE LAS QUEBRADAS, SAN IDELFONSO, LEON, ENCANTADA Y RIO SECO.**

### **6.2.2.1 QUEBRADA SAN ILDEFONSO.**

#### **A. CARACTERISTICAS GENERALES**

Esta ubicada al Noreste del casco Urbano de la ciudad de Trujillo, teniendo actualmente su salida hacia las calles ubicadas en la parte más alta del distrito El Porvenir.

##### **a.1 LIMITES**

Esta es una quebrada pequeña, delimitada en sus extremos Norte y Noreste por los Cerros el Alto y San Ildefonso respectivamente.

##### **a.2 ACCESIBILIDAD**

Se ingresa por las avenidas Hipólito Unanue y Riva Agüero del distrito del Porvenir.

##### **a.3 TOPOGRAFIA**

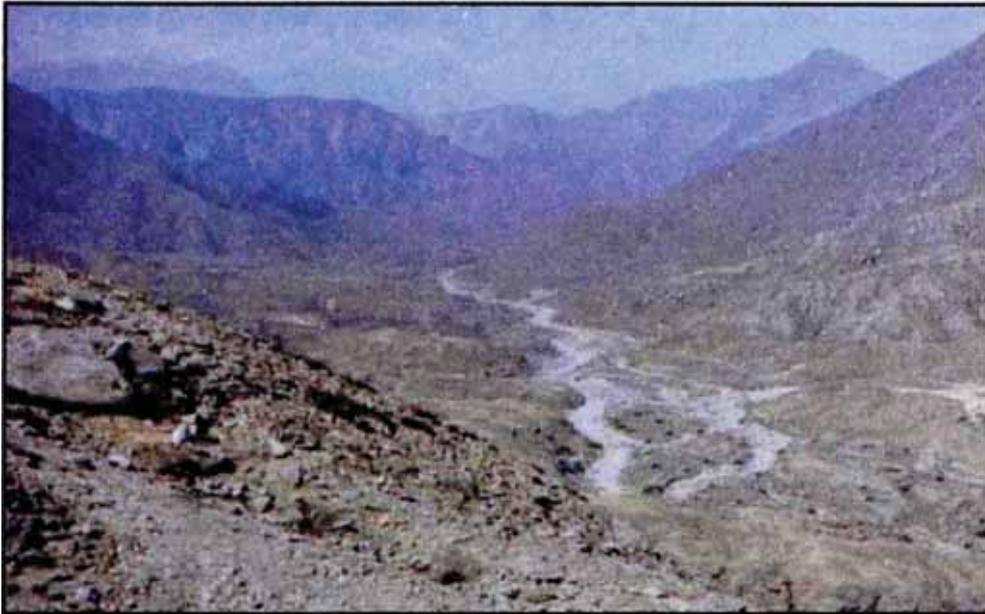
Altitudinalmente, su cuenca alcanza el punto más elevado en la cota 1164 m.s.n.m y desciende hasta la cota 100 m.s.n.m., es decir que no existe una diferencia de altitud significativa, localizándose además en un solo piso ecológico; esto permite considerar que la precipitación que suceda se va a distribuir uniformemente en toda el área. La pendiente del cauce principal es de 6.3%, presentando su perfil longitudinal una variación típica de los cursos de agua poco maduros, es decir, cóncava, con una fuerte pendiente en sus primeros tramos (7.9%), para disminuir hacia aguas abajo (3.2%).

La sección transversal en sus cursos medios e inferior es bastante amplia, con anchos de base que varían entre 40 m a 60 m y con alturas variables de hasta 10 m; en la parte alta de la quebrada la sección se angosta hasta presentar anchos en la base de 15 m. es importante mencionar que por acción de las constantes excavaciones para extraer materiales, la sección transversal se ha alterado completamente, presentando sin embargo condiciones más favorables para atenuar los efectos de una avenida extrema.

#### **B. GEOLOGÍA**

Tanto en la parte media como baja, predominan los suelos arenosos potentes, muy permeables, con presencia de gravas, presentándose en algunos casos lentes de limo. Geológicamente, de acuerdo a la Geología Regional (Carta Geológica), estas zonas corresponden depósitos aluviales del Cuaternario Reciente, que casi siempre ocupan parcialmente el fondo de los valles y en general las subsidencias de la cuenca; estos depósitos resultan del arrastre y acumulación de los productos de meteorización superficial procedentes de las laderas. La parte

alta de la quebrada, corresponde a rocas granodioríticas, poco permeables con una alternancia de arenisca cuarcíticas.



**FOTO 6.1** Quebrada San Ildefonso, en su parte alta su cauce presenta material granodiorita, areniscas.

### C. PARAMETROS GEOMORFOLÓGICOS

**ÁREA DE LA CUENCA:** Se considera toda el área del terreno cuyas precipitaciones son drenadas hacia la quebrada.

$$Ac = 25.00 \text{ km}^2$$

**PERÍMETRO DE LA CUENCA:** Esta característica tiene influencia en el tiempo de concentración.

$$Pc = 27.30 \text{ km.}$$

**FORMA DE LA SUBCUENCA:** Se expresa con los siguientes parámetros:

1.- **Coefficiente de Compacidad:** Este parámetro constituye la relación entre el perímetro de la cuenca, y el perímetro de una circunferencia cuya área es equivalente al área de la cuenca en estudio.

$$\text{Área de la circunferencia} = \text{Área de la cuenca}$$

$$\pi r^2 = 25.00 \text{ km}^2$$

$$r = 2.821 \text{ Km}$$

$$\text{Perímetro de la circunferencia} = 2\pi r = 17.725$$

$$\text{Entonces: } Kc = Pc / 17.725 = 1.50$$

Cuando el valor de  $Kc$  se acerca a la unidad, la cuenca se aproxima a la forma circular.

Valor que define la forma de cuenca como semicircular y que puede estar sujeta a crecientes bruscas.

**2.- Factor de forma:** Que se define por la relación entre el ancho medio de la cuenca y la Longitud del curso de agua mas largo.

$$A \text{ medio} = A/L = 25/8.8 = 2.84$$

$$Ff = A \text{ medio} / L = 2.84 / 8.8 = 0.32$$

### 6.2.2.2 CONJUNTO DE QUEBRADAS RIO SECO, EL LEÓN Y ENCANTADA

#### A. CARACTERÍSTICAS GENERALES

Están ubicadas hacia el Norte de Trujillo, en la Zona de intervalles. Se trata de tres quebradas pequeñas muy bien definidas en sus partes alta y media, pero que en la zona de su cono de deyección aluvial, se confunden ocupando una gran extensión.

##### a.1 LÍMITES

Estas quebradas limitan por el sur, con la quebrada San Ildefonso; por el Norte, con la Quebrada la Cumbre, por el Este, con la quebrada Katuay, afluente del río Moche; y por el Oeste, con la Quebrada Huanchaco o Río Seco.

##### a.2 ACCESIBILIDAD

Es accesible vía la Carretera Panamericana Lima – Trujillo, Km. 573 y vía de Evitamiento.

##### a.3 TOPOGRAFIA

Altitudinalmente las cuencas alcanzan su punto más elevado en una cota aproximada a los 2000 m.s.n.m y descienden hasta las cotas comprendidas entre los 300 m.s.n.m y 500 m.s.n.m, zona donde comienza el cono de deyección, que desciende hasta la altitud comprendida entre las cotas 150 m.s.n.m y 175 m.s.n.m, en donde existe **un muro construido en la época preincaica**, construido posiblemente con fines de protección.

Al igual que en el caso de la quebrada San Ildefonso, tampoco existe una diferencia de altitudes significativa, localizándose además en un solo piso ecológico.

**B. GEOLOGIA**

Tanto en las partes altas medias como bajas de las quebradas, predominan los suelos arenosos potentes, muy permeables, con presencia de gravas, presentándose en algunos casos lentes de limo. Geológicamente, de acuerdo a la Geología Regional (carta Geológica), estas zonas corresponden a depósitos aluviales del Cuaternario Reciente. La parte alta de las quebradas corresponde a rocas granodioríticas poco permeables.

**C. PARAMETROS GEOMORFOLOGICOS**

Sus características físicas principales se resumen en el cuadro siguiente, en el que además se indican las características físicas del cono de deyección:

**Cuadro N° 6.3:** Características Físicas de las Quebradas Río Seco, El León, y Encantada.

Nombre de Cuenca	A (Km <sup>2</sup> )	Perímetro (Km.)	Coficiente De Compacidad	Factor De Forma	Longitud del Curso Principal (Km.)	Pendiente del Curso Principal
Qda. del León	33.4	26.25	1.27	0.31	10.46	0.114
Qda Encantada	30.8	24.80	1.25	0.73	6.51	0.095
Qda Río Seco.	27	24.30	1.31	0.45	7.72	0.091
Cono de Deyección	31	28.50	----	---	----	—

## **6.3 GEODINÁMICA EXTERNA**

Los procesos geodinámicos han actuado y actuarán agresivamente a través de la historia de la humanidad, creando situaciones de emergencia imprevista. Cuando estos fenómenos naturales, por sus efectos, sobrepasan los límites normales, causan destrucciones en las poblaciones y obras de infraestructura. Nuestro país, soporta periódicamente graves consecuencias por la ocurrencia de estos fenómenos.

Los fenómenos geodinámicos en la ciudad de Trujillo, se presentaron por las precipitaciones pluviales, Inundación por activación de quebradas (San Ildefonso, León, Encantada, Río Seco) y la Acción dinámica del río Moche. Estos fenómenos actúan en épocas de la presencia del fenómeno de "El Niño" provocando grandes pérdidas en la población.

La ocurrencia de las precipitaciones entre diciembre de 1997 al mes de Abril de 1998, generaron la acción del fenómeno Geodinámico Externo, y estuvo representada por la Inundación de considerables áreas tanto urbana como agrícola; tal es el caso de la población del Porvenir ubicada en el cauce de la quebrada San Ildefonso. Asimismo, Huanchaco, fue inundada por activación del conjunto de quebradas del León, Río Seco y Encantada; y en el sector de Laredo por activación de la quebrada de San Carlos. En el caso del río Moche, los desbordes de este río, provocaron la inundación de La campiña, Santa Rosa y las áreas agrícolas de estos sectores.

Como se ha podido notar, las inundaciones en la ciudad de Trujillo, es uno de los más importantes fenómenos que ocasionan pérdidas considerables, y que cuando ocurre el evento de "El Niño", sus efectos son mayores; por lo que se hace necesario conocer las características de las quebradas como son: San Ildefonso y el conjunto de quebradas León Encantada y Río Seco, así como también del río Moche.

### **6.3.1 INUNDACION POR LA ACTIVACIÓN DE QUEBRADAS.-**

#### **A. QUEBRADA SAN IDELFONSO**

Los flujos en la quebrada San Ildefonso, se presentan en épocas del fenómeno de "El Niño", y esto lo corrobora la historia, como fueron los eventos de los años de 1728, 1891 y en el último de 1997-98. La ocurrencia del evento en estos años es casi similar; los flujos luego de su recorrido en la parte alta son represados en el cementerio de mampuesto los cuales humedecieron las bases del terraplén, derrumbándose y precipitando la multitud de agua que se había recogido, como consecuencia de esto, la inundación y destrucción de decenas de viviendas.

**FACTORES GEODINAMICOS**

**Topográficos** : La pendiente del cauce principal es de 6.3%, presentando su perfil longitudinal una variación típica de los cursos de agua poco maduros, es decir, cóncava, con una fuerte pendiente en sus primeros tramos (7.9%), para disminuir hacia aguas abajo (3.2%).

**Litológicos** : En la parte alta de la quebrada corresponde a rocas granodioríticas poco permeables con alternancia de areniscas cuarcíticas. En su parte media y baja, predominan los suelos arenosos, muy permeables, con presencia de gravas, presentándose en algunos casos lentes de limo.

**Hídricos** : Su acción esta ligada ha eventos del fenómeno de "El Niño", los flujos que se dan están constituido por material fino y su suficiente cantidad de agua que hacen que su transporte sea rápido.

Asimismo, las características de la quebrada, facilitan para que se den los flujos a manera de huaycos, aunque hasta ahora no se ha presentado de esta forma.

**Antrópicos** (Acción del Hombre): La acción más importante es la modificación del cauce en el cono de deyección, debido a la invasión por asentamientos humanos.

**B. CONJUNTO DE QUEBRADAS DEL LEON, ENCANTADA, RIO SECO**

Al norte de Trujillo, el conjunto de quebradas del León, La Encantada y Río Seco que en su cono de deyección se confunden, y en su tramo final se conoce como Huanchaco; se activan cuando sucede el evento del fenómeno de "El Niño"; que está ligada con las precipitaciones pluviales intensas. La activación de estas quebradas, genera el transporte de gran cantidad de flujo de caudal, y son los que ocasionan la inundación de las poblaciones ubicadas cerca de su zona de influencia, como son: Huanchaco y el Milagro.

**FACTORES GEODINAMICOS**

**Topográficos** : Las pendientes de los cauces principales de río Seco, El León y Encantada son: 9.1%, 11.4% y 9.5% respectivamente. De acuerdo a este parámetro se puede decir que estas cuencas pueden estar sujetas a crecientes bruscas.

**Litológicos** : En su parte baja media y baja, predominan los suelos arenosos potentes, muy permeables, con presencia de gravas, presentándose en algunos casos lentes de limo; geológicamente, de acuerdo a la Geología regional (Carta Geológica), estas zonas corresponden

a depósitos aluviales del Cuaternario Reciente. Asimismo, en su parte alta corresponde a rocas granodioríticas poco permeables.

**Hídricos** : Las avenidas que se presentan están ligadas a eventos del fenómeno de "El Niño" y se caracteriza por ser un flujo líquido con cierta cantidad de material fino.

**Antrópicos** (Acción del Hombre): En su cono de deyección, existe un muro construido en la época preincaica en forma transversal al cauce, el cual fue realizado posiblemente con fines de protección de la población ubicada aguas abajo, pero que actualmente se encuentra averiado en ciertos tramos, y ante un evento, no podría cumplir su función de protección.

### 6.3.2 ACCION DINÁMICA DEL RIO MOCHE.-

El río Moche al igual que todos los ríos de la costa, presenta un régimen hidrológico de torrente con descargas que se concentran durante los meses de enero a abril y con un período de estiaje muy prologado, y en el cual los caudales disminuyen notoriamente. Las descargas del río en mención, están relacionadas con el régimen pluviométrico de su cuenca, las que están directamente influenciados por las variaciones climáticas, originadas por el fenómeno de "El Niño". Como lo estimado por La Región Agraria de la Libertad, el cual indica que el valor máximo de descarga ocurrida durante el fenómeno de "El Niño" **1982-1983, fue de 280 m<sup>3</sup>/s** y en **1997-1998** en el mes de marzo **fue de 1000 m<sup>3</sup>/s**. Estos valores de caudales son bien altos, los que ocurren cuando se da lo del fenómeno de "El Niño", para ello las instituciones encargadas deberán de priorizar este aspecto de modo que, las informaciones de caudales que se den se han los más próximos a los caudales reales.

Las fuertes crecientes provocaron la destrucción de varios puentes al interior de la Región la Libertad. Asimismo, los desbordes en algunos tramos del cauce del río Moche (A la altura de Huaca del Sol y la Luna) afectaron a las viviendas ubicadas en la Campiña de Moche y las áreas agrícolas adyacentes; así mismo a la carretera Panamericana Norte.

## **6.4 MEDIDAS DE PREVENCION REALIZADAS PARA MITIGAR LOS EFECTOS DEL FENOMENO DE "EL NIÑO" 1997-98.**

### **6.4.1 ESTRATEGIAS Y ACCIONES DE PREVENCION**

Durante la prevención se dispuso de las acciones para lograr los objetivos según la siguiente priorización:

- Protección de la población, debido a las precipitaciones pluviales.
- La garantía de los servicios básicos como el agua, el alcantarillado, la energía y las comunicaciones.
- El drenaje de las aguas.
- La protección al sector productivo.
- La garantía del orden público.

En esta labor participaron en la ejecución de las acciones inmediatas y del planeamiento, todos los Ministerios y sus dependencias, las Empresas Públicas, el Sector Privado y los Gobiernos Locales.

#### **A. Drenaje**

Una de las principales acciones que se realizaron, fue la evacuación de las aguas pluviales, con la finalidad de evitar inundaciones.

##### **A1 Drenaje en la zona agrícola.**

Para asegurar la conducción del agua en la zona agrícola se limpió los cauces de los ríos, los drenes y canales, para permitir el libre curso de las aguas; además, la construcción de defensas ribereñas en lugares vulnerables como enrocados, gaviones o diques de tierra.

Además, se efectuó el mantenimiento de las obras de regulación, que permiten orientar el ingreso del agua, para ello se repararon las bocatomas y compuertas, para que puedan operar a su plena capacidad.

##### **A2 Drenaje en la zona urbana.**

La zona Urbana de la Ciudad de Trujillo, debido a la escasa o nula capacidad de evacuación de las aguas pluviales, se realizó la limpieza y encauzamiento de los drenes existentes, el acondicionamiento de las vías urbanas, para lograr la evacuación rápida de las aguas.

**A3 Limpieza y Protección de Quebradas.**

Se realizó labores de limpieza, encauzamiento y protección de quebradas que existen en la zona, las cuales se activan por la presencia de lluvias generadas por eventos como el fenómeno "El Niño".

**B. Transportes**

En épocas pasadas, los efectos del fenómeno El Niño causaron graves daños a las vías terrestres y aeropuertos, siendo la carretera Panamericana Norte interrumpida durante varios meses entre Trujillo y Tumbes. Los aeropuertos fueron inundados por la carencia de un sistema de drenaje.

Debido a lo expuesto es que, se adoptaron las medidas para prevenir los hechos antes descritos.

Especial importancia se dio al drenaje de los aeropuertos, para lo cual se limpio y reforzó los drenes que protegen las pistas de aterrizaje.

En cuanto a la infraestructura, se reparó los techos y habilitó las áreas de almacenamiento.

A continuación se indica las acciones ejecutadas en el aeropuerto de Trujillo.

**Cuadro 6.4**

AEROPUERTO	DESCRIPCION		
	OBRA	METRADO	INVERSION (En miles de s /.)
AEROPUERTO DE TRUJILLO	-DRENES	5000ml	
	-TECHOS	1320ml	60

**C. Saneamiento**

Las precipitaciones pluviales extraordinarias, afectan los sistemas de alcantarillado de las ciudades, los cuales son afectados por el excesivo caudal y la presencia de lodo y piedras.

Se dispuso como medida inmediata, el mantenimiento del alcantarillado doméstico, consistente en el reforzamiento y protección del sistema de agua y alcantarillado.

#### D. Educación

Para proteger los colegios, tanto los ejecutados por INFES, como los que tienen más antigüedad, se realizaron la construcción de veredas y drenes perimetrales, sardineles, colocación de defensas y reparación de techos dañados.

Además, el Ministerio de Educación, realizó la capacitación de los educandos para afrontar la emergencia. Realizándose estas acciones en 25 centros educativos en todo el departamento de la Libertad.

**Cuadro 6.5**

DEPARTAMENTO	DESCRIPCION		
	OBRAS	CANTIDAD	INVERSION (Miles de S/.)
LA LIBERTAD	- Protección Centros Educativos - Rehabilitación Centros Educativos	25	480

El Instituto Nacional de Cultura, priorizó la protección de los monumentos históricos, labor que desarrollaron los gobiernos Regionales con el apoyo de Empresas Privadas.

**Cuadro 6.6**

DEPARTAMENTO	DESCRIPCION	
	MONUMENTOS HISTORICOS	INVERSION (En millones de S/)
LA LIBERTAD	CHAN-CHAN/ HUACAS SOL/ LA LUNA - EL BRUJO	550

## **6.4.2 PRINCIPALES OBRAS DE PREVENCIÓN REALIZADAS PARA MITIGAR LOS EFECTOS DEL FENÓMENO DE "EL NIÑO" 1997-98**

Ante la ocurrencia del Fenómeno "El Niño" 1997-98, el gobierno ejecutó obras preventivas de protección, así como de mantenimiento de infraestructura, principalmente a lo largo de toda la Costa Norte, para mitigar los efectos adversos, debido a las lluvias torrenciales atípicas que se produjeron por dicho fenómeno.

En este sentido, el Proyecto Especial CHAVIMOCHIC, atendiendo un pedido del Gobierno Regional, proyectó un conjunto de obras para proteger las zonas urbanas de las localidades de El Porvenir y Huanchaco, cuyas obras se ejecutaron en las quebradas San Ildefonso; y el conjunto de quebradas El León, Río Seco y Encantada, cuyos cauces desembocan en dichas localidades.

Las obras ejecutadas para atenuar los desastres, cumplieron un papel importante, porque permitieron proteger a la población ante los efectos del fenómeno de "El Niño", a diferencia de que no se hubiera realizado nada. Estas obras realizadas en quebradas y ríos, como se mencionará más adelante, requieren ser analizadas su comportamiento frente al fenómeno de "El Niño", y de esta manera tomar las enseñanzas ante futuros eventos.

A continuación, describiremos las condiciones de las quebradas antes del evento y las características de las principales obras ejecutadas en la ciudad de Trujillo, las cuales son:

### **6.4.2.1 CONDICIONES DE LAS QUEBRADAS EL LEÓN Y RÍO SECO ANTES DEL EVENTO DE "EL NIÑO"**

Las quebradas del León y Río Seco, así como varias quebradas menores intermedias, tienen sus cauces de escurrimiento en sentido Este - Oeste. Casi la totalidad de estos cursos naturales confluyen finalmente hacia un cauce receptor, que luego de atravesar el flanco sur de la ciudad de Huanchaco desemboca en el mar. Otro punto de descarga al mar, pero de menor área de influencia, es la quebrada Valdivia, cercana al área arqueológica de ChanChan.

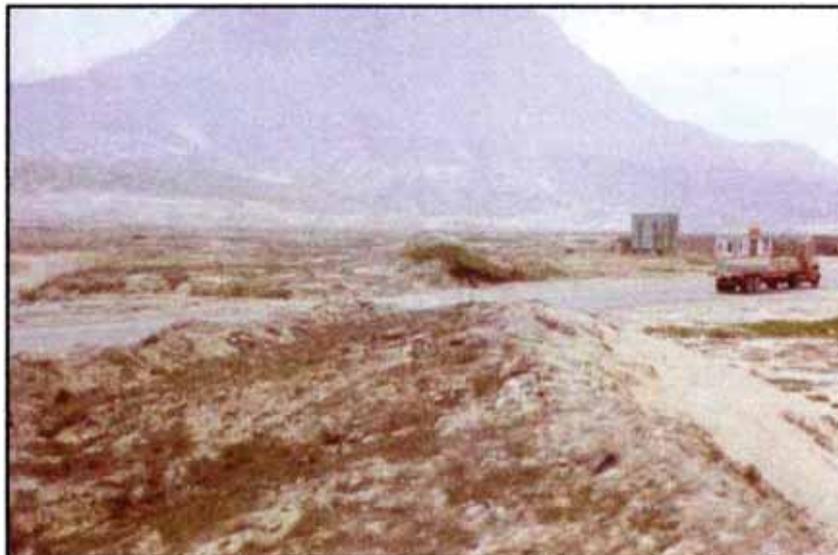
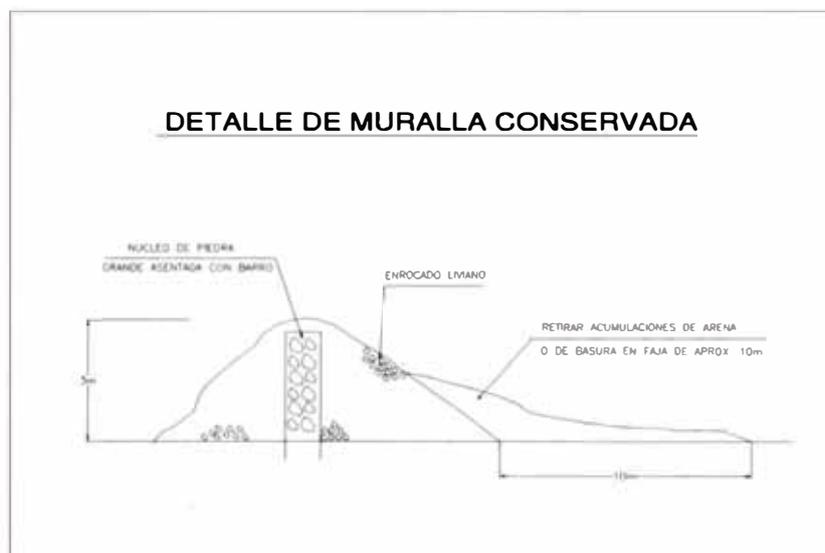
Estos cauces naturales y en general el escurrimiento superficial que se produce ante eventos, como los del fenómeno "El Niño", se encuentra interceptados por la Carretera Panamericana Norte, la vía Evitamiento y la carretera a Huanchaco.

Asimismo, la Carretera Panamericana se caracteriza por la carencia de obras para el paso del escurrimiento como alcantarillas o badenes, y las obras que existen en la vía de Evitamiento y la carretera a Huanchaco son de capacidad reducida que no permiten el paso de

caudales importantes como las producidas por el Fenómeno de "EL Niño", con excepción de la alcantarilla que existe en la carretera a Huanchaco, en el cruce de la quebrada Valdivia, cuya sección es de 2.40x2.40m.

Otro elemento interceptor del escurrimiento es la muralla La Cumbre, que atraviesa toda la planicie aluvial, situada entre los cerros Las Cabras y Campana. Dicha muralla está conformada por un muro central, construido con piedra grande y barro, de 1.50 de ancho y altura de 3.0m o más sobre el terreno natural. El muro está recubierto enteramente con enrocado liviano, con taludes de 1.5:1 o más tendidas (ver Fig. nº 6.2 y foto nº 6.2).

**Fig.6.2** Detalle de Muralla La Cumbre



**Foto N° 6.2** La Muralla La Cumbre fue cortada para dar pase a la Panamericana Norte, punto crítico en caso de activarse la quebrada La Encantada.

### 6.4.2.2 OBRAS EN LAS QUEBRADAS EL LEÓN Y RÍO SECO.

A continuación se mencionaran las diversas obras que se realizaron a lo largo de las quebradas, que comprometen a las poblaciones aledañas como el Milagro y el Huanchaco.

a) **Obras en la Carretera Panamericana.**

Estas obras fueron:

- **Badén en el sitio de cruce en la quebrada del León**

Esta obra fue diseñada para un caudal de 76 m<sup>3</sup>/s, en la Quebrada El León, a su paso por la Carretera Panamericana Norte.

Este punto coincide con la curva de unión de la Panamericana Norte, con la vía de Evitamiento, por tanto, el badén compromete también dicha curva. (Ver lamina N° 6.6)

- **Alcantarilla con el cruce de la quebrada Río Seco.**

Situada en el extremo sur de la población El Milagro. Esta quebrada tiene cauce bastante amplio, por tal motivo se aconsejó disponer también de un badén, sin embargo, las evaluaciones hidrológicas indicaban que, los caudales que ocurrieran en esta quebrada no serían significativos.

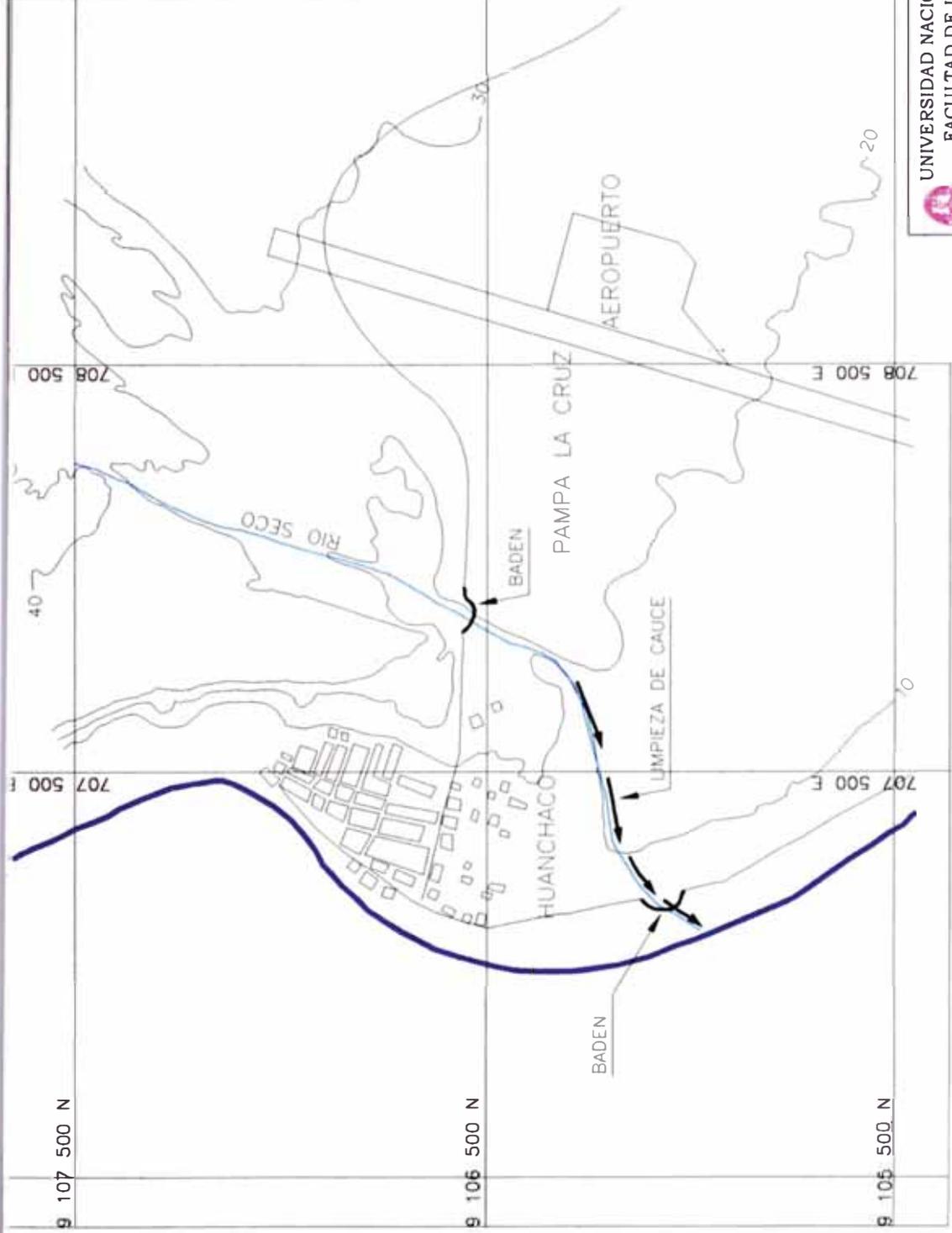
b) **Obras en la Vía de Evitamiento**

Dos alcantarillas, en el área de la quebrada del León y en el de la quebrada Río Seco.

c) **Obras en la Carretera a Huanchaco y en la Población de Huanchaco.**

Se reemplazó la alcantarilla, que existía para el paso de la quebrada por un badén, asimismo, se acondicionó el cauce de la quebrada en el tramo adyacente a la zona urbana; habilitando otro badén en el camino que atraviesa la quebrada en la parte alta de la ciudad y protegiendo el flanco derecho con enrocado.

Todas las obras mencionadas, fueron complementadas con el acondicionamiento de los cauces naturales, limpieza de obstrucciones, y encauzamiento hacia los puntos de paso como se puede ver en la Lámina N° 6.7



## PLANO DE UBICACION




 UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
 CISMID - DPMD

TESIS : "ESTUDIO DE LOS EFECTOS DEL FENOMENO DE "EL NIÑO"  
 1997-1998 EN LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE  
 TRAMO HUARMEY-PACASMAYO Y EN LA CIUDAD DE TRUJILLO"

PLANO : OBRAS DE PROTECCION EN LA QUEBRADA LEON	LONRA <span style="font-size: 2em; font-weight: bold;">6.7</span>
Autor : Felix A. Mendaza Calderon	Fecha : Junio 2004
Asesor : Ing. Julio Kuroiwa H.	Escala : INDICADA

### **6.4.2.3 CONDICIONES DE LA QUEBRADA SAN IDELFONSO ANTES DEL EVENTO DE "EL NIÑO".**

La quebrada San Ildefonso, desciende desde los cerros El Alto y San Ildefonso, situados al Noreste de la ciudad de Trujillo, en su curso alto, presenta cauce rocoso y estrecho. Atraviesa luego depósitos aluviales potentes y erosionables en una distancia de 2.5km hasta llegar a la zona urbana de El Porvenir, donde el cauce natural de la quebrada se encuentra urbanizado.

Cuando se produce la reactivación de la quebrada, la mayor posibilidad de peligro es lógicamente la zona descrita, donde los flujos luego de su recorrido por la calle Hipólito Unanue, que desciende por el cauce natural, siendo el final de su recorrido, el cementerio de Mampuesto. Este cementerio, ocupa una depresión originada por un dique artificial de tierra de unos 650m de longitud y altura variable entre 4 y 6m.

De lo expuesto, esta zona se considera como de alto riesgo, debido a que carece de obras de evacuación, que puedan conducir los flujos de la quebrada a una zona donde no ocasione daños a la propiedad. Ante esta situación y a la proximidad del evento del 97-98, se realizaron algunas obras para atenuar sus efectos, las que describiremos a continuación:

### **6.4.2.4 OBRAS EN LA QUEBRADA SAN IDELFONSO.**

Se construyeron dos diques en los emplazamientos, que se muestra en el plano que se adjunta (Lamina 6.8).

Los diques fueron de enrocado liviano, con piedra del lugar, que existe en abundancia como material de desecho de la explotación de agregados (arena y grava).

El dique N°1 con una altura máxima de 6m, apoyada en estribos de roca, su finalidad fue retener el material grueso de acarreo proveniente de la cuenca alta de la quebrada, de manera que este no llegue a los diques de aguas abajo. Esto es retener las piedras y gravas, dejando pasar el agua a través del enrocado; así mismo permitiría reducir los caudales de punta de las avenidas mientras no se cólmate con el material sólido retenido.

El dique N° 2, de poca altura, acondicionada en el dique de tierra que existía, con un dren en su parte central, siendo sus taludes protegidos con enrocado. Esta obra fue terminada horas antes del colapso del primer dique.

Una medida adicional fue la ejecución de un aliviadero, colocado en el Dique de Mampuesto (ubicada aguas abajo) conectado al canal La Mochica, mediante una tubería de concreto reforzado de 1.00 m de diámetro interior. Con esta obra se buscaba evacuar 3 m<sup>3</sup>/s que es la capacidad del canal la Mochica.

## 6.5 EFECTOS DEL FENOMENO

Como consecuencia del Fenómeno de "El Niño", se produjo lluvias extraordinarias, los días 8 y 9 de febrero de 1998, en la ciudad e inmediaciones de Trujillo, lo que generó, a su vez, la afluencia de grandes caudales a través de las quebradas de Río Seco y de san Ildelfonso, ubicadas en la parte alta de los Distritos de Florencia de Mora y El porvenir; los que irrumpieron violentamente al sector urbano construido sobre el cauce natural de las quebradas, destruyendo parte de algunas manzanas y calles de dicho sector, entre ellos los Jirones Hipólito Unanue, Riva Agüero, Atahualpa y María Julia.

Dicho cauce torrente de Aguas, terminó en el reservorio y a la vez en el Cementerio de Mampuesto, donde fueron embalsadas en un volumen acumulado considerable.

Ante este desastre quedaron destruidas decenas de casas y fueron inhabilitadas algunas calles y manzanas, en el sector aguas arriba del Cementerio de Mampuesto.

Asimismo, los desbordes del río Moche, causaron también estragos, al llover y activarse quebradas aguas arriba, comprometieron seriamente el cauce del río Moche que alcanzó caudales del orden de los 1000m<sup>3</sup>/s (Estación de Aforo ubicado en Poroto, mes de Marzo), afectando poblaciones, cultivos e instalaciones de la parte baja de la Campiña de Moche y las instalaciones de la zona industrial salida a Moche.

### 6.5.1 EVALUACION DE LOS DAÑOS CAUSADOS POR EL FENOMENO "EL NIÑO" 1997 - 1998

Los daños registrados se cuantificaron para cada sector como sigue:

#### 6.5.1.1 Daños En el Área Rural.

Los daños en el área rural se clasificaron en las siguientes áreas:

- Daños en obras de infraestructura mayor y menor de riego y drenaje.
- Daños en los cultivos, ya sean por el exceso de agua o por los cambios bruscos de temperatura.
- Daños en las tierras de cultivo por inundación, erosión y debido al desborde de los ríos.
- Deterioro de los cauces de los ríos por colmatación de sólidos, ensanchamiento y rotura de riberas.

## A. Daños en la Infraestructura de Riego y Drenaje.

Dentro de la infraestructura de riego dañada se tiene la infraestructura mayor, que esta a cargo del proyecto Especial de Chavimochic.

Los daños en la bocatoma de CHAVIMOCHIC, así como en el canal madre que ha sufrido roturas en varios puntos, por avenidas de quebradas, normalmente secas, así como arenamiento en grandes extensiones, además de la destrucción de obras de arte y encauzamientos.

En la infraestructura menor de riego, tales como bocatomas rústicas, todas quedaron colgadas, (es decir el punto inicial de alimentación del canal, quedó más alto el nivel del agua del río, en unos casos hasta 15 metros más alto). Los canales secundarios (laterales), terciarios, etc. todos sufrieron quiebras en determinados puntos, así como colmatación de sólidos, producidos por el ingreso de agua y sólidos, desde el río, sin control alguno.

Para el valle de moche se ha registrado aproximadamente los siguientes daños:

7292 ml de canales de riego destruidos

29 312 ml de canales colmatados

14 bocatomas entre (Grandes y medianas), destruidas.

3748 ml de drenes destruidos

13030 ml de drenes colmatados

A continuación se muestra en el siguiente cuadro N° 6.7 al mes de Mayo de 1998 la evaluación de los daños en la infraestructura de riego.

**Cuadro N° 6.7**  
**DAÑO EN LA INFRAESTRUCTURA DE RIEGO A MAYO DE 1998**  
**FENOMENO DE "EL NIÑO" 1997 - 98**

AMBITO	DRENES (m)		CANALES (m)		BOCATOMA Unidad Dañada
	DESTRUIDA	COLMATADOS	DESTRUIDA	COLMATADOS	
TRUJILLO (Moche)	3748	13030	7292	29312	14

FUENTE: ADM. TEC DE DIST. DE RIEGO

## B. Daños en los Cultivos

Las variaciones climáticas, especialmente de temperatura, así como también el exceso de agua por efecto de las lluvias, en la sierra; y los desbordes de los ríos, en la costa, hizo que los cultivos tengan rendimientos por debajo de lo normal, y en algunos extremos la pérdida total de la producción.

Se estima para la provincia de Trujillo que, existen 319 Has de cultivo perdidas que equivalen a 27447 Tm de pérdidas en productos que se pueden valorizar en 2.18 millones de nuevos soles en pérdidas. Asimismo, existen 161 Has afectadas que Equivalen a 1270 Tm de menor producción que se valoriza en 0.18 millones de nuevos soles en pérdidas. Por tanto la pérdida total en este rubro asciende a 2.36 millones de nuevos soles, como se indica en el cuadro N°6.8, y en todo el departamento de la Libertad, la pérdida total fue de 49.47 millones de nuevos soles.

**Cuadro N° 6.8**  
**HECTAREAS PERDIDAS Y AFECTADAS EN PRINCIPALES CULTIVOS**  
**AL 30 DE ABRIL DE 1998**

TIPO DE CULTIVO	PERDIDAS			AFECTADAS				TOTAL MILES DE S/.
	HA	TM	MILES S/.	HA	%	TM	MILES S/.	
Caña de azúcar	151	26457	1587	61	37.89	1071	64	1652
Maíz Amarillo Duro	106	528	290	63	39.13	163	98	388
Yuca	25	278	83	8	4.97	22	7	90
Camote	4	34	16	2	1.24	2	1	17
Espárrago	21	96	187	7	4.35	3	6	193
Alfalfa	12	54	19	20	12.42	9	4	23
<b>TOTAL</b>	<b>319</b>	<b>27447</b>	<b>2182</b>	<b>161</b>	<b>100</b>	<b>1270</b>	<b>180</b>	<b>2363</b>

## C. Daños en las tierras de cultivo.

Las áreas de cultivo que han sido afectadas en el ámbito departamental, por el desborde de los ríos o quebradas, así como deslizamientos o Huaycos, fueron estimadas en 841 Has, y en la provincia de Trujillo 193 HA, que han sido valorizadas por la Dirección Regional de Agricultura,

en 4.12 millones de dólares en todo el departamento y en Trujillo 1.278 millones de dólares, ver cuadro N°6.9

**Cuadro N° 6.9**  
**AREA AGRICOLA PERDIDA POR EFECTOS DEL FENOMENO "EL NIÑO" EN LA PROVINCIA DE TRUJILLO (1997 – 1998)**

CULTIVO	ÁREA (HA)	PÉRDIDAS	
		COSTO (\$HA)	MONTO (EN U.S.\$)
CAÑA DE AZUCAR	151	6000	906 000
ESPARRAGOS	21	5000	126 000
MAIZ AMARILLO DURO	32	6000	192 000
YUCA	9	6000	54 000
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>193</b>	<b>23 000</b>	<b>1 278 000</b>

### 6.5.1.2 Daños en el área Urbana.

En el área urbana los daños corresponden a los siguientes rubros:

- I. Destrucción o deterioro de viviendas
- II. Destrucción de instalaciones de agua o desagüe.
- III. Daños en el pavimento.
- IV. Deterioro de aulas de colegios y escuelas.

#### I. Destrucción o deterioro de Viviendas

La destrucción o deterioro de viviendas, según el reporte del INEI-MUNICIPIOS al 06/05/98 en la provincia de Trujillo fue de 4590, ya sea por su derrumbe total o deterioro en techos o paredes como se indica en el cuadro N 6.10 y Fig. N°6.3 (Ver detalle en anexo I )

**CUADRO 6.10**  
**DAMNIFICADOS FENOMENO DE "EL NIÑO" (06/05/98)**

PROVINCIA	VIVIENDAS AFECTADAS	POBLACION DAMNIFICADAS	FALLECIDOS
<b>TOTAL PROVINCIA DE TRUJILLO</b>	<b>4590</b>	<b>24062</b>	<b>8</b>

# FENOMENO DE "EL NIÑO" DAMNIFICADOS AL 06/05/98

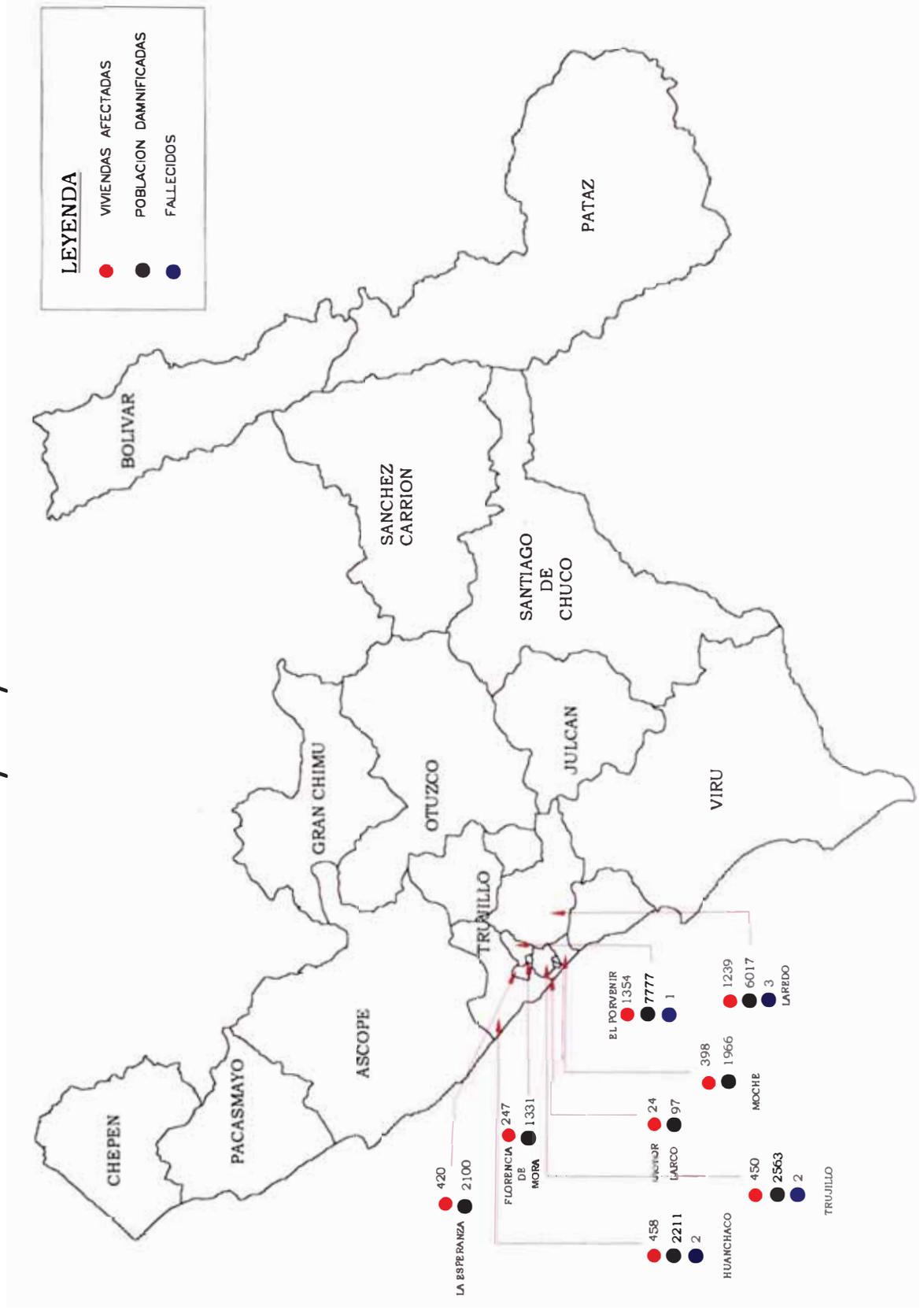


Fig. 6.3

**II. Destrucción de instalaciones de agua o desagüe.**

En cuanto al agua y desagüe, en la provincia de Trujillo, SEDALIB estimó como costo de la reconstrucción de los daños, en saneamiento básico asciende a 3.72 millones de dólares, sólo en los sistemas administrados por la empresa, sin contar las administradas por los Municipios (ver detalle en el cuadro N° 6.11)

**CUADRO N° 6.11  
DAÑO EN LA INFRAESTRUCTURA DE SANEAMIENTO BASICO SEDALIB**

	<b>NOMBRE</b>	<b>Cuant. del daño</b>	<b>Presupuesto</b>
1	Rehab. Y Reconst. Agua y Desagüe Río Seco y Mampuesto - Trujillo	12500 mt	787360,96
2	Rehabilitación y Reconstrucc. Emisor Av. Huamán - Víctor Larco	1100 mt	165 360,20
3	Rehab. Redes de alcantar. de Bns Aires y Urb. L Sauces - V. Larco	4660 mt	534 773,18
4	Rehab. Redes de calles: La Arb. Floral, Los Sauces - V. Larco	459 mt	23 823, 83
5	Rehab. Y Reconst. Emisor Av Larco y Juan Pablo II - Víctor Larco	5532 mt	1 420 835,78
6	Rehab. Y Redes de alcantar. San Vicente de Paúl - Víctor Larco	560mt	27 010,15
7	Rehab. Redes de alcantarillado calle Diego de almagro - Trujillo	975 mt	79 216,86
8	Rehab. Redes de alcantarillado calle Estambul, Pedro Muñoz -Trujillo	1575 mt	211 187,76
9	Rehab. Redes de alcantarillado calle Santa - Trujillo	700 mt	205 929,50
10	Rehab. Redes de alcantarillado Av. 28 de Julio - Trujillo	750 mt	241 960,91
11	Rehabilitación Línea impulsión pozos L5, L11 - Trujillo	700 mt	22 169,37
	<b>TOTAL S/.</b>		<b>3 719 628,10</b>

**III. Daños en el pavimento**

Asimismo, los daños en el pavimento de las calles y avenidas, producto de las inundaciones y las precipitaciones fueron del orden de 2.5 Km.(Fuente Inadur)

**IV. Daños en colegios y escuelas.**

En el caso de los centros educativos, en el ámbito del departamento de la Libertad, se tiene 261 locales colapsados o con daños en la infraestructura, correspondiendo a la provincia de Trujillo 17 locales afectados como se puede ver en el cuadro N°6.12, Fig. N°6.4.( Ver detalle en el anexo N° II ).

**Cuadro 6.12**  
**DAÑOS A LA INFRAESTRUCTURA EDUCATIVA**  
**SECTOR EDUCACION**

N	PROVINCIA	LOCALES	PRESUPUESTO
		AFECTADOS	EN U.S \$
1	Trujillo	17	253217

El costo de los efectos en el Sector Industria fue estimado en 2.73 millones de dólares principalmente por daños a la infraestructura y maquinaria de las microempresas, como se indica en el cuadro N°6.13.

**Cuadro N 6.13**  
**SECTOR INDUSTRIA Y TURISMO**  
**CONSOLIDADO DE DAÑOS**

DISTRITO	CUANTIFICACION DEL DAÑO (EN US\$)				
	INSUMO Y PROD	MAQ. Y EQ.	CAPITAL DE TRAB	INFRAEST.	TOTAL
TRUJILLO	931963	142 894	61972	92000	390059
VICTOR LARCO	26123	46232	19542	29000	120897
FLORENCIA DE MORA	55352	97795	44982	54250	252380
EL PORVENIR	339119	872208	392077	358750	1962154
<b>TOTAL</b>	<b>513 787</b>	<b>1159129</b>	<b>518574</b>	<b>534000</b>	<b>2725491</b>

# DAÑOS EN LA INFRAESTRUCTURA EDUCATIVA

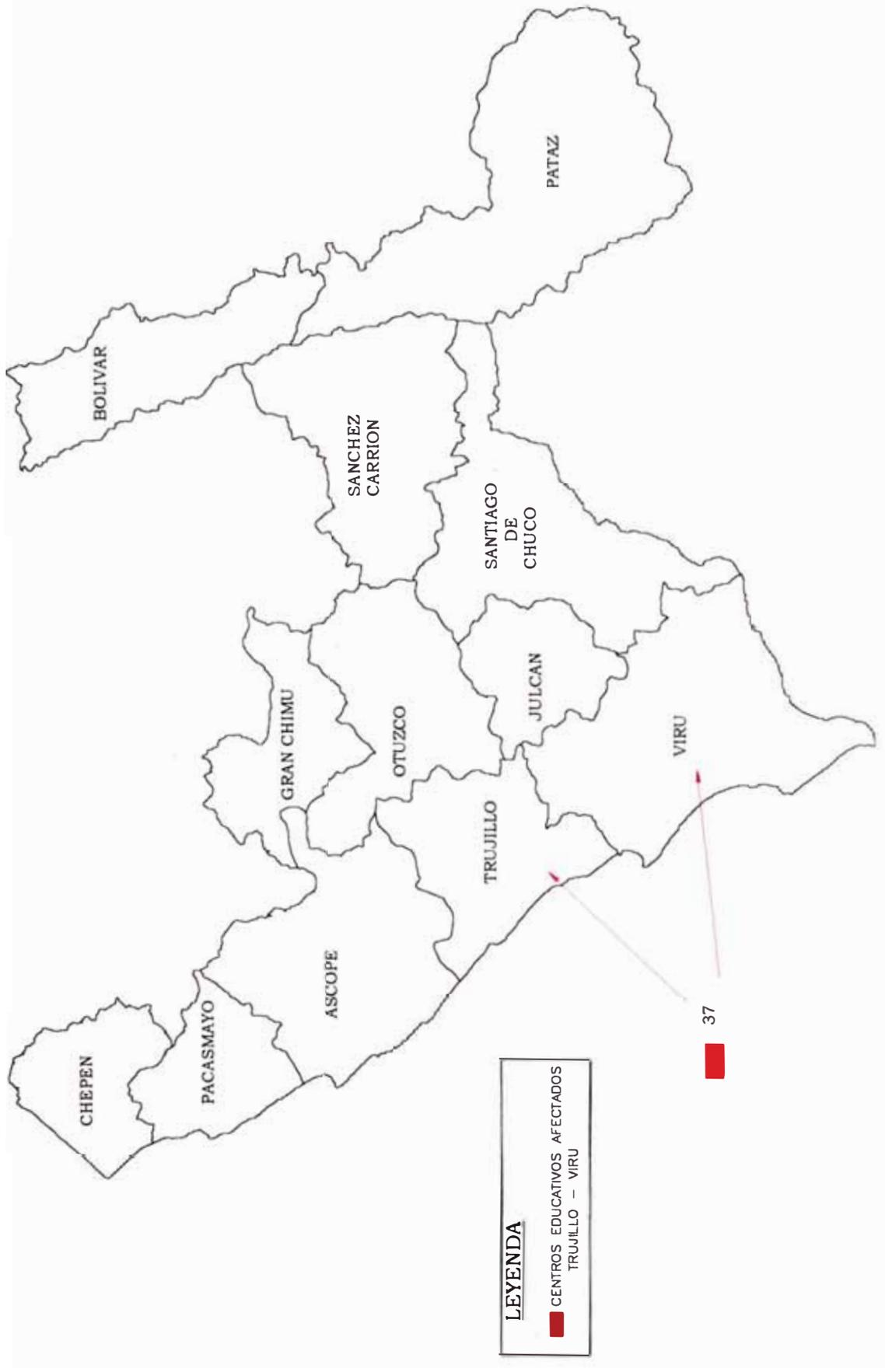


Fig. 6.4

## 6.5.2 EFECTOS DEL FENOMENO

Los efectos del fenómeno de "El Niño", fueron cuantiosas tanto en desmedro de la población asentadas específicamente en las zonas de Laredo, El Porvenir, La Esperanza, El Milagro y otras colindantes; así como, pérdidas de vidas humanas y se debió a lo siguiente:

- Precipitaciones Pluviales
- Activación de Quebradas
- Crecidas del Río Moche

### 6.5.2.1 EFECTO DE LAS PRECIPITACIONES PLUVIALES

Las precipitaciones pluviales, que se presentaron como consecuencia del fenómeno de "El Niño" del año 1998, afectaron a la ciudad de Trujillo, en sus viviendas, calles e infraestructura en general. Estos efectos, en la ciudad, fueron de menor magnitud, en comparación con las inundaciones provocadas por desbordes de ríos y quebradas, pero es importante mencionarlos debido a que, la ciudad no cuenta con un sistema de drenaje pluvial que evacue las escorrentías provenientes de las precipitaciones, y de esta manera evitar los daños en ella.

En el mes de Marzo del 98, se dieron con mayor frecuencias la precipitaciones pluviales, por consiguiente, sus efectos, tal es así, que el 13 del mes en mención, una torrencial lluvia sorprendió por la mañana a los trujillanos. El aguacero, que no se había visto en las últimas décadas en la ciudad, se inició a las 6.10 a.m. y culminó al promediar las 7 a.m. En sólo 50 minutos, las calles se convirtieron en ríos, los techos de las casas antiguas de barro y jardines interiores se anegaron, por lo que la población se alarmó. La bóveda de la iglesia San Lorenzo, no soportó la lluvia y cayó estrepitosamente. En los barrios Chicago y La Unión se reportaron caída de varios techos de barro.

Asimismo, los efectos en el pavimento de calles y avenidas, las cuales estaban medianamente mantenidas hasta antes del fenómeno, se fueron incrementando, es decir las fallas en el pavimento dificultaban el tránsito vehicular de la ciudad. Estas fallas se dieron al ingreso de la urbanización Santa Inés, a la altura de la avenida Mansiche; así también en San Andrés (entre avenida Larco y Martínez de Compañón), ocurrió lo mismo en California (Las Magnolias y los Fresnos), la quinta etapa de Santa María, El Golf, por mencionar algunas.

### 6.5.2.2 EFECTOS DE LA ACTIVACION DE QUEBRADAS.-

La destrucción e inhabilitación de cientos de viviendas en Trujillo, El Porvenir, La Esperanza, Huanchaco, Huanchaquito, Florencia de Mora y Laredo, causó el desborde de las quebradas: El León, San Ildefonso (Río Seco) y Caballo Muerto, que rugieron, tal vez, con más furor que en 1925. Inundaron con sus turbias aguas las calles y viviendas, dejando a su paso un devastador panorama, pérdidas de vidas humanas e incalculables daños materiales.

En el distrito de Trujillo, el desembalse de más de 200 mil metros cúbicos de agua, represada en el cementerio de Mampuesto, proveniente de la quebrada San Ildefonso, provocó pérdidas superiores a los 10 millones de dólares.

Cerca de las 10.30 am. del 10 de febrero del 98, las aguas de Mampuesto ingresaron en devastador recorrido por el pasaje Comercio, encontrándose de manera frontal con la calle del mismo nombre. Al no poder soportar la embestida de las aguas (que ya llevaban más de 15 horas fluyendo hasta ese lugar y debilitando las bases), las viviendas fueron cayendo una a una, permitiendo que el líquido circulara hacia la calle Minería, en donde el resultado no pudo ser peor allí. Así mismo se registraron daños en las calles La Intendencia, y en las urbanizaciones: Santa Lucía, Mampuesto, Santa Rosa, Pay Pay, inundando, además diversas urbanizaciones como: Miraflores, Las Quintanas, Los Jardines, Trupal, Sánchez Carrión, La Merced, y otras, así como: el cuartel Ramón Zavala, el terminal terrestre, la ciudad universitaria, la planta de revisiones técnicas y todo el centro cívico.

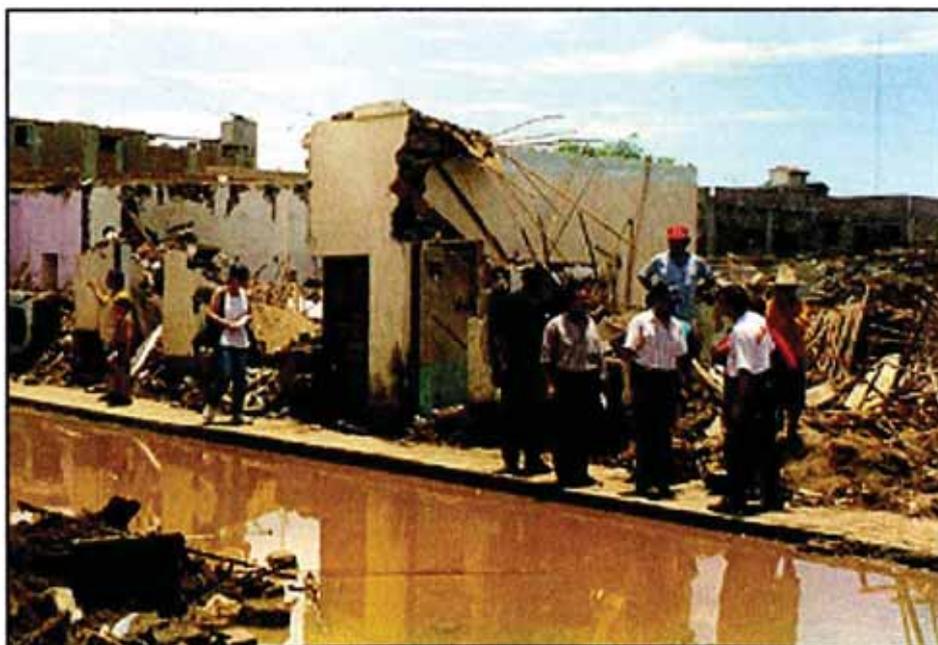


Foto Nº 6.3 Calles Minería, Comercio y Huallaga, donde fueron destruidas 63 casas

Asimismo, el conjunto de quebradas El León, La Encantada y Río Seco, que en su cono de deyección se confunden, y en su tramo final se conoce como Huanchaco, se activaron debido a las precipitaciones pluviales que transportaron gran cantidad de flujo de caudal, que desbordo a la altura de su cruce con la vía de Evitamiento, afectando longitudinalmente a este tramo e inundando aguas abajo a la población de Huanchaco.

En el sector de Laredo, las quebradas: Las Guitarras y Caballo Muerto, cuyo caudal de la quebrada Las Guitarras (zona alta de Laredo), fue de aproximadamente seis metros cúbicos sobrepaso la capacidad del canal, La Mochica, que es tres metros cúbicos. La estructura de esta, se rompió en el sector Caballo Muerto, entre El Moro y Wichanzao, destruyendo en los sectores de Galindo, Caballo Muerto, San Carlos, aproximadamente 300 Has de cultivo y algunas viviendas ubicadas cerca a la ribera y el cementerio viejo de San Carlos. Posteriormente las urbanizaciones Libertad, Pesqueda y La Rinconada, donde los flujos avanzaron con dirección al centro de la ciudad.



**Foto N° 6.4** El desborde de las quebradas Caballo Muerto inundo las calles del distrito de Laredo.

Cuadro Nº 6.14 Viviendas afectadas por Inundación, activación de Quebradas

Conjunto de Quebradas Del León, La Encantada, Río Seco	Quebrada Caballo Muerto	Quebrada San Idefonso
Distrito de Huanchaco	Distrito de Laredo	Distrito El Porvenir, Florencia de Mora, La Esperanza
Huanchaquito Bajo	Laredo	Distrito El Porvenir
Huanchaquito Alto	AA.HH Víctor Raúl Haya de la Torre	Sector río Seco
Bello Horizonte	AA.HH 30 de Noviembre	Mampuesto
Bello Horizonte	Urb 22 de Febrero	AA. HH. Unión y Progreso
AA.HH Virgen del Socorro	AA. HH Puente Veneno	P. J Gran Chimú
Valdivia Bajo	AA. HH La Merced. II y III Etapa	AA .HH Túpac Amará
El Milagro	Casero Espino Limón	AA..HH Kumamoto, II Etapa
Nuevo Horizonte	Pedregal	Jirones Hipólito Unanue, Riva Agüero, Atahualpa y María Julia
Refugio Cerro La Virgen	Anexo Santa Rosa	<b>Distrito La Esperanza</b>
Refugio San Francisco de Asís	Sector Menocucho	AA. hh Virgen del Socorro
		Sector Bella vista y Manuel Seoane
		Sector Fraternidad I Y II
		Sector Indoamerica y Winchanzao
		Sector Ma. Elena Moyano, Los Pinos Las Palmeras
		<b>Florencia de Mora</b>
		Zona de Santa Lucia
		Urb. Miraflores
		Urb. Huerta Grande
		Liberación Social
		Rustica el Bosque (Sector Los Patos)
		Pasaje La Isla (Sector los Patos)
		<b>Victor Larco Herrera</b>
		San Vicente de Paúl
		Sector la Bocatoma

### 6.5.1.2 EFECTOS DEL RIO MOCHE.

Los efectos del torrencioso caudal del río Moche se dieron al interior de la región la Libertad; así como también, en la provincia de Trujillo. Estos efectos se dieron en las áreas de cultivos, tramos de carretera, viviendas, puentes etc.

Los desbordes del río Moche se dieron en tramos críticos, debido a que, sus márgenes no contaban con defensas de protección, tanto izquierda como derecha, que evitarán estos desbordes. Cuando se presentaron los caudales extraordinarios, estos desbordaron e inundaron, las áreas de cultivos y a la población adyacente a ella; tal es el caso del 13 de marzo del 98, donde los desbordes del río Moche se produjeron en la margen derecha, a la altura del kilómetro 10.5, y otra en el pueblo de Santa Rosa, donde el río abrió un nuevo brazo, discurriendo las aguas hasta la zona industrial y a la Panamericana Sur, inundando diversas fábricas, viviendas, restringiendo el paso de los vehículos menores, y provocando temor entre la población.

Otro de los sectores críticos, por donde desbordó el río Moche, fue a la altura de la Huaca del Sol, donde arrasó viviendas, hectáreas de cultivos en ambas márgenes y decenas de animales domésticos. Por la derecha, la fuerza de las aguas abrió un brazo que llegó hasta las fábricas, ubicadas en el parque industrial.

La Región Agraria de la Libertad, indicó que, el valor máximo de descarga ocurrida durante el Fenómeno de El Niño 1982-1983, fue de 280 m<sup>3</sup>/s, y en 1997-1998 en el mes de marzo de 1000 m<sup>3</sup>/s.



**Foto N° 6.5** Viviendas Afectadas (AA.HH en la Curva Sun) por los desbordes del río Moche (fuente: Diario La Industria de Trujillo)

Las viviendas afectadas por desbordes del río Moche fueron:

**Cuadro N° 6.15**

Distrito	Zonas Afectadas
<b>Moche</b>	Ex Cooperativa San Rosa.
	Las Delicias y Pueblo Moche
	Las Delicias – Alto Moche
	Campaña de Moche – Pueblo
	Moche Pueblo
	Curva del Sun
	Ex Fundo Larrea

FUENTE INEI, MUNICIPIOS

### 6.5.3 CAUSAS DE LOS EFECTOS DEL FENOMENO

Las diversas causas se debieron a lo siguiente:

- Precipitaciones Pluviales
- Falta de un sistema de recolección de aguas de lluvia
- Construcción Inadecuada de las edificaciones
- Colapso del sistema de alcantarillado
- Colapso de obras de prevención en las quebradas.
- Colapso del Dique de Mampuesto.
- Falta de defensas ribereñas en zonas Criticas del río Moche
- Expansión desordenada y en zonas vulnerables.

#### A. PRECIPITACIONES PLUVIALES

La principal causa de activación de las quebradas, y por ende de los efectos hacia la población fueron las precipitaciones, ocurridas en los meses de Enero, Febrero y Marzo del año 1998. Existe información de valores de precipitación diaria, como la registrada en la estación de Laredo, ubicada en la Provincia de Trujillo y en el distrito de Laredo.

Cuadro N° 6.16

Fecha	Precipitación	Característica
09/02/98	19.4mm	Precipitaciones que originaron la activación de la Qda. San Idelfonso.
10/02/98	28.3mm	Precipitaciones que originaron la activación de la Qda. San Idelfonso.
03/03/98	8.6mm	
13/03/98	5.5mm	Las escorrentías inundaron calles, viviendas etc.

Fig. 6.5

PRECIPITACION TOTAL DIARIA ENERO 98  
(Estación Laredo)

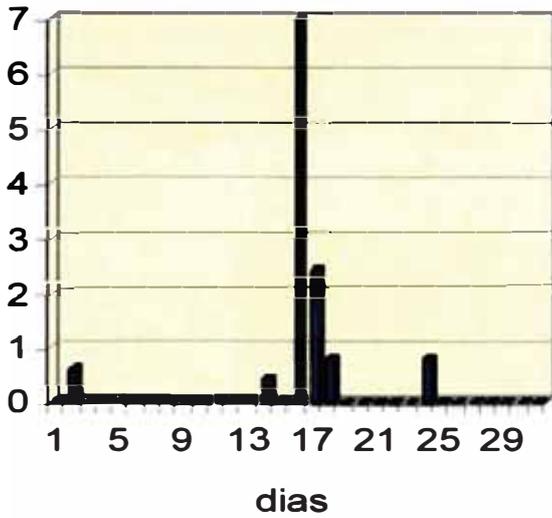


Fig. 6.7

PRECIPITACION TOTAL DIARIA MARZO 98  
(Estación Laredo)

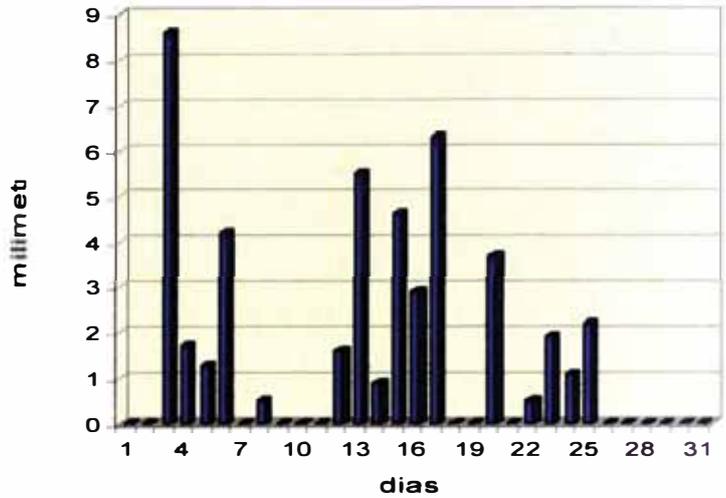
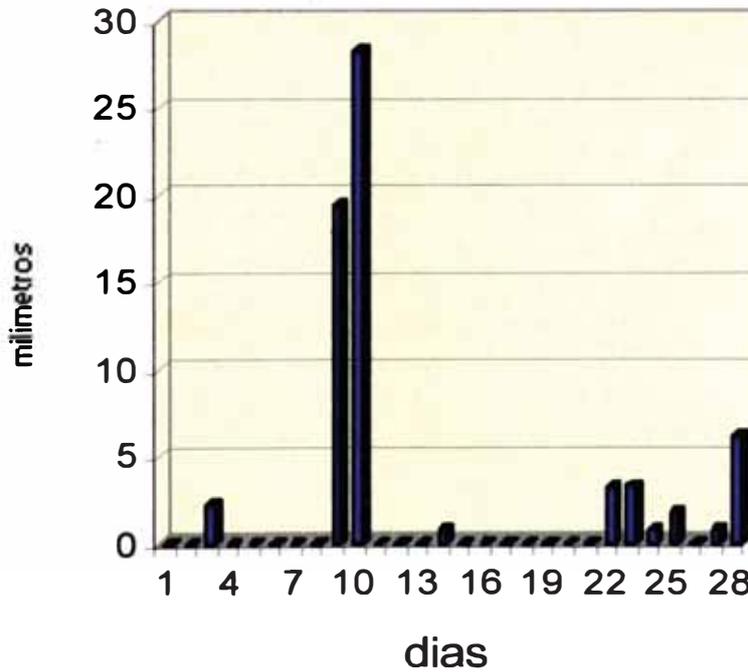


Fig. 6.6

PRECIPITACION TOTAL DIARIA FEBRERO 98  
(Estación Laredo)



Así mismo la estación San Carlos, ubicada en la cuenca de Huamazaña, en el distrito de Chao, Provincia de Virú. En esta estación se produjeron precipitaciones máximas de 8.6, 10.4 y 5.5mm ocurridos los días 24, 10 y 3 de los meses de Enero Febrero y marzo respectivamente.

**B. FALTA DE UN SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE AGUAS DE LLUVIA**

La ciudad de Trujillo, como la mayoría de las ciudades de la costa, no cuenta con un Sistema Integral de Drenaje Pluvial. Esta falta de drenaje, en la ciudad, dificultó que las escorrentías en las calles y avenidas, fueran rápidamente evacuadas, siendo afectados el pavimento, las cimentaciones de viviendas y los techos de edificaciones precarias.



**Foto N° 6.6** Las precipitaciones ocasionaron las escorrentías, que debido a la falta de drenaje pluvial se acumularon afectando al pavimento y a la cimentación de las viviendas.

**C. CONSTRUCCIÓN INADECUADA DE LAS EDIFICACIONES**

La mayor cantidad de Edificaciones afectadas, fueron construidas de adobe y quincha, material que caracterizaban a las edificaciones de los sectores como: El Porvenir (Río Seco), Huanchaco (Huanchaquito), Laredo (Asentamiento Humanos ubicados a unos metros del cementerio de San Carlos) y los Asentamientos Humanos ubicados en Moche. En los últimos años en los sector del Porvenir (Río Seco) se esta cambiando gradualmente, por el de concreto armado, pero en el sector de San Carlos se continua con el adobe. Asimismo, la carencia de cimentaciones adecuadas, y la falta de supervisión, en las construcciones de las viviendas, en las zonas de afectación, son las características predominantes de dichas viviendas.

## **D. COLAPSO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO**

Como consecuencia de la avenida del 11 de febrero, el sistema de alcantarillado falló, debido a que su capacidad de evacuación fue superada, ya que era solamente para evacuar las aguas de consumo doméstico.

En diversas localidades del área Metropolitana, el sistema de alcantarillado era antiguo; factor que también influyó en su colapso.

Al darse las inundaciones, ya sea por activación de quebradas o por desborde del río Moche, los flujos de lodo colmataron las tuberías de desagüe, obstruyendo así la conducción de las aguas para la cual fue diseñada, como consecuencia, las aguas servidas emergieron e inundaron las calles, avenidas y viviendas, así como también el deterioro de ellas, generándose de esta manera las enfermedades.

## **E. COLAPSO DE OBRAS DE PREVENCION EN LAS QDA SAN IDELFONSO Y EL LEON.**

Antes de que colapse el dique de Mampuesto, aguas arriba en el cauce de la quebrada de San Idelfonso, los diques de protección cedieron donde se ejecutaron dos diques de represamiento tal como muestra la lamina N° 6.8 de obras de prevención, cuyo funcionamiento era retener el material sólido que se presentase, y dar pase al flujo líquido. Los diques ubicados en el cauce de la quebrada, fallaron ante las grandes avenidas, represadas en esta parte de la quebrada, debido a lo siguiente:

- A que los flujos en una curva (flujo helicoidal), son más predominantes en la parte cóncava (margen derecha), donde las erosiones son de mayor intensidad, lo que ocasiono, la falla en esta zona como se puede ver en la foto N° 6.7.
- Diques Inconclusos al momento de producirse la primera avenida de aguas del 9 de febrero de 1998.

MARGEN DERECHA POR DONDE  
COLAPSO EL DIQUE



**Foto N° 6.7** Se puede apreciar en la margen derecha de la quebrada san Idelfonso, donde el dique falló debido a los flujos en la curva.

En el conjunto de quebradas, que en su tramo final se conoce como Huanchaco, se construyeron badenes, uno ubicada en el cruce con la Panamericana Norte (Ver lamina N° 6.6) y otra en el cruce de la antigua carretera, de acceso desde Trujillo al balneario de Huanchaco, que permitieron el paso de los torrentes, lo que corrobora la eficiencia y tendencia al uso de este tipo de obras. Toda vez que, en estas zonas de contacto, la rasante de la quebrada coincide con la de vía, lo cual favorecieron su uso; más no así, aguas abajo del primer badén, donde el terraplén con alcantarilla no permitió la evacuación de los flujos debido a:

- La alcantarilla estrecha el cauce
- La alcantarilla tipo doble cajón obstaculiza el paso de los flujos.

## F. COLAPSO DEL DIQUE DE MAMPUESTO

El colapso en el dique de Mampuesto, ocasionó la inundación de la población del porvenir y del área urbana de Trujillo. Esto se debió, a que los flujos provenientes de la quebrada san Idelfonso, después de superar a los diques ubicados aguas arriba, fueron represándose en la zona del cementerio de Mampuesto, en donde existe un gran terraplén de tierra, de la época Prehispánica. Este terraplén, divide la parte alta y baja de Trujillo, con una capacidad de almacenamiento de aproximadamente 200 000 m<sup>3</sup>, donde durante 2 días fueron acumulándose

los flujos de la quebrada que provocaron el colapso del mencionado dique, y se debió a lo siguiente:

- Falla de Cimentación, producto del humedeciendo y debilitamiento de las bases durante 2 días.
- Deficiencia en la evacuación, por medio de una tubería de 1m de diámetro, hacia el canal la Mochica,
- Colapso del dique, por aumento de la presión del agua, en los estratos subyacentes

Todo esto propicio que se produjera el boquerón en el Dique de Mampuesto (ver Foto. 6.8)

La ruptura del dique de Mampuesto no es algo nuevo, también sucedió anteriormente, según Do Feijoo de Sosa en 1763, hace mención que, producto del agua embalsada en el Mampuesto, provocaron la ruptura del dique en mención en 1728. Este mismo suceso ocurrió en 1891 y en este último evento de 1997-98.

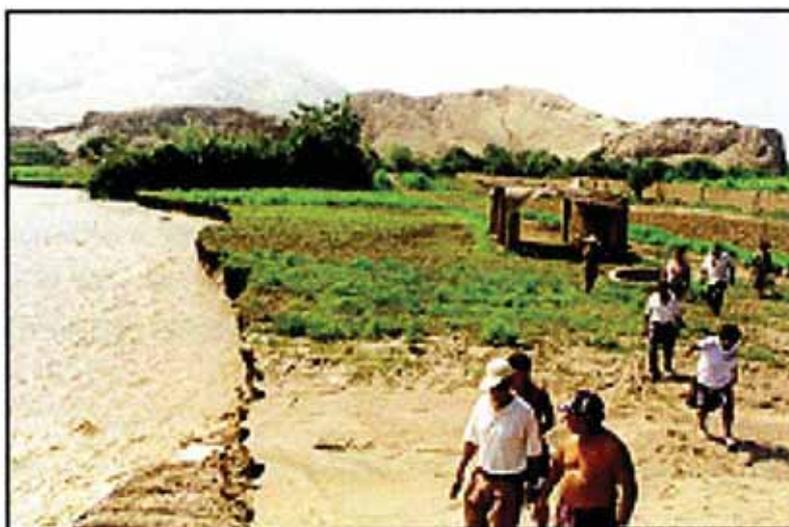


**Foto N° 6.8** Ruptura del dique de Mampuesto, debido al almacenamiento de agua producto de las lluvias y la descarga de la quebrada san Idelfonso.

## G. FALTA DE PROTECCIÓN DE LAS MÁRGENES EN ZONAS CRÍTICAS DEL RÍO MOCHE.

Las crecidas del río Moche, se dieron en los tres primeros meses del año 1998, **alcanzando su máximo caudal en el mes de marzo que fue 1000 m<sup>3</sup>/s** (Estación de aforo que se encuentra en Poroto). Este incremento de caudal, provocó que las márgenes del río, sean golpeadas y superadas por la fuerza de las aguas; y si además resaltamos que estos tramos no contaban con defensas protección (ver foto n° 6.9), lo que ocasionó, la inundación de la población y de los campos de cultivo adyacente a sus riberas.

Los tramos críticos, por donde desbordó el río Moche, fueron en el sector cerca a la bocatoma de Santa Lucía, Huaca Sol, Santa Rosa entre otros. Se caracterizaron debido a la falta de protección con defensas ribereñas, y en otros casos, no fue considerado el caudal máximo, que se presentó dado que, esto solamente ocurre en eventos extraordinarios, como el de "El Niño".



**Foto N° 6.9** Sector de Huaca Sol, en la Margen Izquierda del río Moche, no contó con Protección (Defensa Ribereñas), las aguas desbordaron e inundaron las áreas de cultivo y viviendas de este Sector.

Asimismo, otro de los factores que produjo que el río Moche se desborde, fue la colmatación de la bocatoma de Santa Lucía. Este hecho se dio el 16 de Marzo de 1998, debido a que los flujos transportaron palizadas y troncos; de esta manera obstaculizaron el pase de los flujos (ver foto 6.10), los que tuvieron que ser desviado para no comprometer a la infraestructura, pero que inundo las áreas comprometidas en esta parte de Santa Lucía.



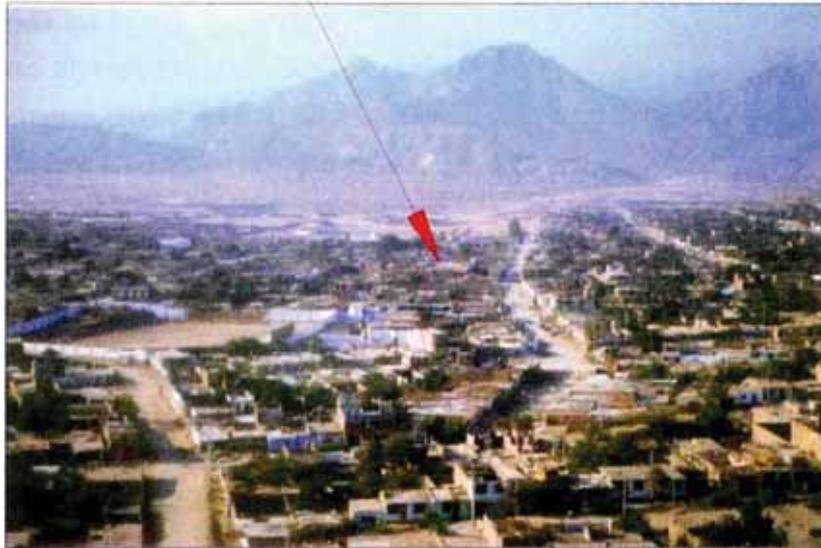
**Foto 6.10** La crecida del río Moche arrastró gran cantidad de troncos que se quedaron atascados en las compuertas de la bocatoma de Santa Lucía. Esta situación constituyó un gran peligro para la infraestructura.

## **H. EXPANSIÓN DESORDENADA EN ZONAS VULNERABLES.**

La expansión urbana desordenada es una de las principales causas de los efectos del fenómeno; como es el caso del sector del porvenir, en zona del cauce de la quebrada San Idelfonso, donde la población prácticamente ha poblado su cauce, convirtiéndola en una zona altamente vulnerable.

Actualmente la avenida Hipólito Unanue, queda como única vía para el recorrido de los flujos en caso de ocurrir un evento similar ver **foto 6.11**.

AV. H. UNANUE, ZONA DE RECORRIDO  
DE LOS FLUJOS PROVENIENTES DE LA  
SAN IDELFONSO



**Foto N° 6.11** Sector del porvenir, la población actualmente ocupa el cauce (tramo final) de la quebrada de San Idelfonso.

Así también, en Laredo (hacia las afueras de la ciudad, cerca al cementerio viejo de San Carlos), la población que fue afectada estaba asentada en forma adyacente a la quebrada San Carlos, los pobladores no consideraron los riesgos de ubicarse en este sector. Actualmente, se han reubicados a unos metros, de donde estaban anteriormente, como se puede ver se persiste en esta forma de expansión sin criterio, lo cual compromete la vida de la población.



**Foto N° 6.12** Sector Laredo (San Carlos), Actualmente los AA.HH se han reubicados a unos metros del cauce de la Quebrada San Carlos. (Fecha: Junio 2003)

## 6.6 MEDIDAS DE MITIGACION

De acuerdo a lo evaluado los efectos del fenómeno de "El Niño", en la ciudad, se debieron a las precipitaciones pluviales, activación de Quebradas y desbordes del río Moche. Estos efectos no son nuevos ya que sucedieron anteriormente como son: en los años 1728, 1891 y 1925. Donde las lluvias Torrenciales, y los flujos provenientes de la activación de la quebrada San Idelfonso irrumpieron y se almacenaron en el Mampuesto, provocando el colapso de una parte del terraplén, que divide la parte alta y baja de la ciudad. De lo expuesto, es indispensable entonces plantear medidas que atenúen estos efectos, en la ciudad de Trujillo. Considerando lo mencionado, se presenta a continuación las siguientes medidas sugerentes:

### 6.6.1 Determinación de zonas afectadas por el fenómeno

De la evaluación de daños podemos determinar las zonas afectadas. A continuación procederemos a determinarlos de acuerdo al grado de afectación:

- Zonas severamente afectadas, debido a las inundaciones por activación, de Quebradas y desborde del río.
- Zonas medianamente afectadas por los flujos de Quebradas.
- Zonas levemente afectadas por precipitaciones pluviales y flujos de Quebradas.

#### **Zonas severamente Afectadas**

Los centros poblados, que se encuentran en estas zonas, han sido afectados por las inundaciones, provocadas por la activación de las quebradas como son: San Idelfonso; y el conjunto de quebradas, El León, Encantada y Río Seco. Asimismo por el desborde del río Moche, como consecuencia de las precipitaciones pluviales intensas que se dan por el fenómeno de "El Niño".

Las inundaciones se dieron en las zonas, comprometidas por el recorrido de los flujos de ríos y quebradas; como es el caso del sector del Porvenir, cuya área urbana está construido parte en el cauce de la quebrada San Idelfonso; y en el caso del río Moche, los desbordes se debieron a los caudales extraordinarios, y a la falta de defensas ribereñas, que comprometieron a la población y a las áreas de cultivo de este sector.

Por tal motivo, en estas áreas, deben de tomarse las medidas de reducción de la vulnerabilidad de las edificaciones, y sobre todo reubicar las poblaciones a áreas mas seguras. Asimismo, considerar el encauzamiento y canalización de la quebrada san Idelfonso. Entre las zonas afectadas tenemos:

Cuadro N° 6.17

Distrito del Porvenir	Distrito de Huanchaco	Distrito de Moche
Sector río Seco	Huanchaquito Bajo	Las Delicias y Pueblo Moche
Mampuesto	Huanchaquito Alto	Las Delicias – Alto Moche
AA. HH. Unión y Progreso	Bello Horizonte	Campaña de Moche – Pueblo
P.J Gran Chimú	Bello Horizonte	Moche Pueblo
AA .HH Túpac Amará	AA.HH Virgen del Socorro	Curva del Sun
AA..HH Kumamoto, II Etapa	Valdivia Bajo	Ex Fundo Larrea
Jirones Hipólito Unanue, Riva Agüero, Atahualpa y Marla Julia	El Milagro	Ex Cooperativa San Rosa
	Nuevo Horizonte	

### Zonas Medianamente Afectadas

En estas zonas están incluidos los sectores del bajo Trujillo, ubicadas en la parte baja del valle, bajo la Acequia Mochica Alta; los cuales fueron afectados por los flujos de quebradas de San Idelfonso y San Carlos.

Cuadro N° 6.18

Trujillo	Laredo
Zona de Santa Lucia	AA.HH Víctor Raúl Haya de la Torre.
Pay Pay	AA.HH 30 de Noviembre.
Santa Rosa	Urb. 22 de Febrero.
Urb. Miraflores	AA. HH Puente Veneno
Urb. Huerta Grande	AA. HH La Merced, II y III Etapa
Liberación Social	Caserío Espino Limón
Rustica el Bosque (Sector Los Patos)	Pedregal,
Pasaje La Isla (Sector los Patos)	Anexo Santa Rosa,
	Sector. Menocucho

### Zonas Levemente Afectadas

En estas zonas, están incluidos los sectores que fueron afectados en menor magnitud, tanto por las precipitaciones pluviales, como por los flujos de quebradas. La vulnerabilidad de las viviendas de los sectores de **Unión y Chicago**, se vio agravada, cuando las precipitaciones pluviales provocaron la caída de varios techos de barro de estos sectores. Así mismo, el flujo de la quebrada San Idelfonso, alcanzó afectar las partes bajas de Trujillo, casi al final de la Av. Víctor Larco Herrera, en los sectores de **San Vicente de Paúl y Sector la Bocatoma**.

## 6.6.2 Medidas Estructurales

En este tipo de medidas están contempladas las obras de ingeniería civil, así como también, los trabajos biotécnicos de protección de taludes y control de erosión. Estas medidas servirán, para controlar la inundación por la activación de la quebrada San Ildefonso y Río Seco, así como también los desbordes del río moche. Entre las medidas tenemos:

### I. En La quebrada San Ildefonso

- Canalización para el transporte de los flujos provenientes de la Quebrada San Ildefonso.
- Protección del talud del terraplén de mampuesto.

### II. En el Río Moche

- Protección de las zonas críticas de las Márgenes del río Moche

### III. En la Ciudad.

- Un sistema de Drenaje Pluvial

## I.- En La quebrada San Ildefonso

Según los reportes de las evaluaciones y de los pobladores afectados, los flujos que discurrieron por el cauce de la quebrada San Ildefonso, se caracterizaron, por ser liquido con transporte de sedimentos. Pero que sería materia de estudio ver la posibilidad de que se presente a manera de huayco, dada las características geomorfológicas de la quebrada, esto conllevaría a realizar obras de retención aguas arriba del cauce.

Además en el tramo final del cauce de la quebrada, existe el problema de estar actualmente habitado, y en el cual la única vía de evacuación es la Av. Hipólito Unanue, la que deberá acondicionarse para el transporte de los flujos y evitar de esta manera la inundación de este sector del porvenir.

### • **Canalización para el transporte de flujos**

Para restituir las condiciones de seguridad y viabilidad de la zona, requiere de la construcción de una Vía Canal, que pueda servir al tránsito vehicular, y en casos de situaciones de emergencia como la producida, para trasladar y evacuar los flujos provenientes de la quebrada de San Ildefonso hasta el Cementerio de Mampuesto, es decir hasta un punto donde no ocasione daños a la propiedad privada.

Dada las condiciones actuales del cauce, la única vía por donde los flujos serían transportados es por la Av. Hipólito Unanue, Tomas Moscoso y Atahualpa las que se deberán

acondicionar a una Vía Canal. Su ubicación es aguas arriba del Cementerio de Mampuesto en la zona alta del Distrito de El Porvenir (Aproximadamente entre las cotas 75 m.s.n.m y 98 m.s.n.m ), provincia de Trujillo y departamento de La Libertad (ver Fig. 6.8 y Lamina 6.10 ).



**Fig 6.8** El siguiente esquema muestra la ubicación de la quebrada San Ildefonso

Esta Vía Canal, se iniciaría en su entrega al Cementerio Mampuesto, continuando aguas arriba del canal, siguiendo el alineamiento del Av. Atahualpa, para continuar por parte del Jr. Tomás Moscoso y luego por la Av. Hipólito Unanue, para terminar en la zona de ingreso de las aguas desde la quebrada natural existente en un aproximado de 2km.

Con respecto a su entrega en el cementerio de mampuesto, esta zona ha servido de reservorio de almacenamiento para los flujos que provienen de la quebrada aguas arriba ubicada, en épocas del fenómeno de "El Niño". Así mismo en este sector existe un terraplén de tierra (ver fig6.8), que ante los efectos de los flujos ha cedido en más de una vez, por lo que se requiere proteger este terraplén ante la fuerza erosiva de los flujos represados en zona.

En lo que se refiere al caudal, este luego de represarse en el dique de retención ubicado aguas arriba y luego provocar el colapso del dique, precipito violentamente en las zonas urbanas tal que el informe de Chavimochic emitido por el diario la Industria de Trujillo (25 de febrero de 1998) mencionan un estimado de 37 m<sup>3</sup>/s que recorrieron por las zonas comprometidas. Dada la falta de información de medición del caudal real el Proyecto Especial Chavimochic realizó la estimación del caudal máximo de la quebrada San Idelfonso cuyas características físicas se muestran en el cuadro 6.19, para ello utilizó el hidrograma Unitario Sintético de Snyder (ver anexo N°4), que se utiliza precisamente cuando no hay los datos necesarios conjuntos de caudal y precipitación históricos.

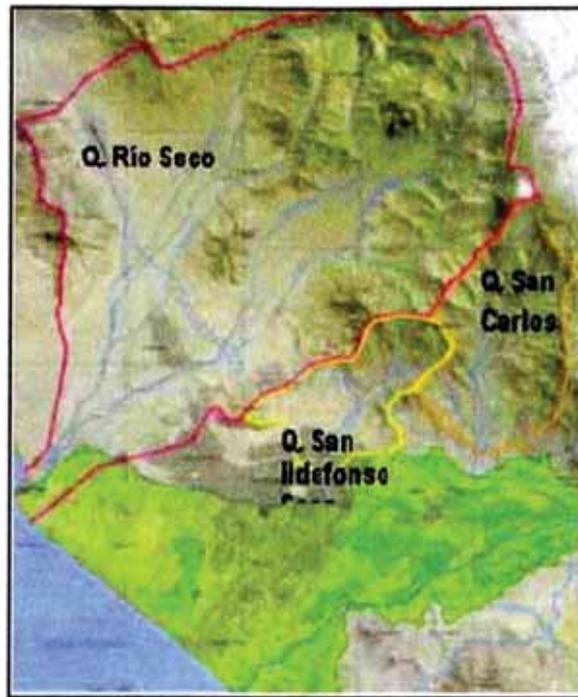


Fig. 6.9 El siguiente esquema muestra las microcuencas de la cuenca baja del Río Moche y específicamente el de la Quebrada San Ildefonso

Cuadro N° 6.19

QUEBRADA	A (mi <sup>2</sup> )	L(mi)	Lc(mi)
San Ildefonso	9.15	3.22	1.93

El resultado de la estimación de la descarga máxima según Chavimochic informa un caudal del orden de **28.76 m<sup>3</sup>/s**. Este valor estimado, es el caudal máximo sin sólidos para la quebrada en mención, que nos da una idea de la magnitud del caudal en caso de presentarse nuevamente; pero que deberá ser objeto de estudio, el que consistirá en determinar el tipo y la magnitud del flujo que discurre por esta quebrada que se da cuando ocurre el fenómeno de "El Niño".



**Foto Nº 6.13** Actualmente la Av. Hipólito presenta un muro lateral derecho de ladrillo de 0.50m de altura y el izquierdo un sardinel de 0.20m de altura.

Dada las condiciones actuales de la Av. Hipólito Unanue según la **foto 6.13**, deberá acondicionarse para conducir los flujos de la quebrada san Idelfonso; por lo que se recomienda cambiar el muro lateral y sardinel, por muros de concreto armado, con espesor recomendable de 0.20m, con una altura que estará determinado por el tirante de los flujos, es decir superior a 1 m, ya que en el último evento del fenómeno de "El Niño", las huellas del tirante del flujo muestran 1m de altura, siendo esta el mejor indicador para el dimensionamiento de la altura de los mismos.

Además en los cruces de la Vía Canal con las calles y avenidas deberán de construirse badenes de concreto, que permitirán el pase de los flujos y de esta manera evitar las erosiones.

- **Protección del talud del Terraplén de Mampuesto.**

El terraplén de Mampuesto, divide la parte alta y baja de la ciudad, en esta zona se ubica el cementerio de Mampuesto y es aquí donde se represa los flujos provenientes de la quebrada. Esta depresión natural es utilizada como un reservorio temporal, para ello se deberá proteger el talud del terraplén ante futuras erosiones que la hagan colapsar.

La protección del talud del terraplén se puede realizar mediante el revestimiento de piedra o concreto, Geoceldas con incorporación de suelo vegetal etc. En el caso de las geoceldas estas se fijan al terreno mediante unos anclajes y luego son rellenos con tierra abonada con las respectivas semillas. Para evitar problemas en la fundación del sistema, se coloca usualmente un geotextil que cumpla adecuadamente su función de filtro.

Finalmente los flujos aquí almacenados deberán ser evacuados hacia el canal la Mochica, previa coordinación con las autoridades correspondientes, para poder ampliar la capacidad de este canal y de esta manera evacuar los flujos a zonas donde no cause daños a la vida y la propiedad.

## II En el Río Moche

- **Protección de las Márgenes del río Moche en las zonas críticas.**

La falta de protección en las márgenes del río Moche, en sectores como el de Huaca sol, Santa Rosa y Santa Lucía; fueron determinantes en la afectación de los sectores indicados, por lo que se hace necesario priorizar la ejecución de las defensas de las riberas de estos sectores, para ello, se deberá considerar el caudal registrado que fue de 1000 m<sup>3</sup>/s.

Existen diversas formas de proteger las márgenes de un río, los cuales pueden ser mediante el uso de enrocados, gaviones, Arborización, Geobolsas (Fig. 6.10) etc. En el caso de las Geobolsas, estos prestan una función de gravedad, que impide durante épocas de avenidas que el río se salga de su cauce inundando poblaciones o campo de carácter agrícola. Las Geobolsas pueden ser llenados bajo agua inclusive bajo condiciones de corriente y oleaje.

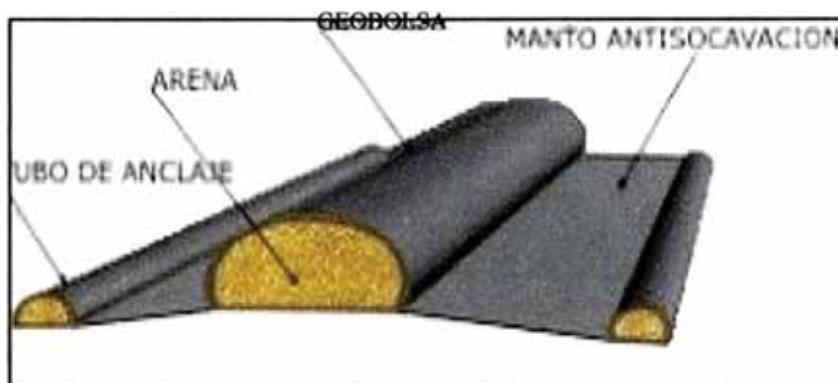


Fig 6.10. Las Geobolsas son adecuados como defensas de riveras ante los desbordes.

## III.- En la Ciudad.

- **Sugerir un sistema de Drenaje Pluvial**

Las precipitaciones pluviales en la ciudad de Trujillo, se dan cuando se presenta el fenómeno de "El Niño", como lo registran los antecedentes en el año 1728, 1891, 1925 y 1997-98. En los dos primeros años las lluvias se presentaron por más de un mes, donde las escorrentías recorrieron las calles afectando a la población. En cambio en el año 1997-98 las lluvias se dieron entre Febrero y Marzo del año 1998 (ver anexo), pero con menor frecuencia en días que los años mencionados. Y si además consideramos que el fenómeno de "El Niño", es un fenómeno estocástico (que ocurre en cualquier momento); entonces se deberá considerar la posibilidad de que la ciudad cuente con un sistema Integral de drenaje pluvial.

El sistema de drenaje Pluvial, se deberá considerar sobre el trazo de los anillos viales exteriores (ver Lamina 6.11). Este sistema será capaz de evacuar eficientemente las aguas que provengan de las precipitaciones caídas sobre la ciudad. Así mismo el sistema de drenaje facilitará el manejo racional del agua de lluvia en la ciudad y de este modo se evitará los daños en las edificaciones y obras públicas ( pistas, redes de agua, redes eléctricas, etc.).

El proceso del drenaje Urbano comprende, en analizar como y hacia donde van hacer evacuadas la cantidad de agua precipitada sobre la ciudad. Generalmente el análisis esta orientado a como evacuar el agua de las viviendas, veredas y pistas.

### 6.6.3 Sistemas de alerta

De lo sucedido en Trujillo podemos diferenciar dos tipos de inundaciones: la primera originada por desbordes del río Moche y la segunda por avenidas repentinas, esta ultima se caracterizó por su corta duración, las que se originaron en quebradas como san Idelfonso, León-Encantada. Esto conlleva a adoptar sistemas de alerta ante las inundaciones que se produzcan.

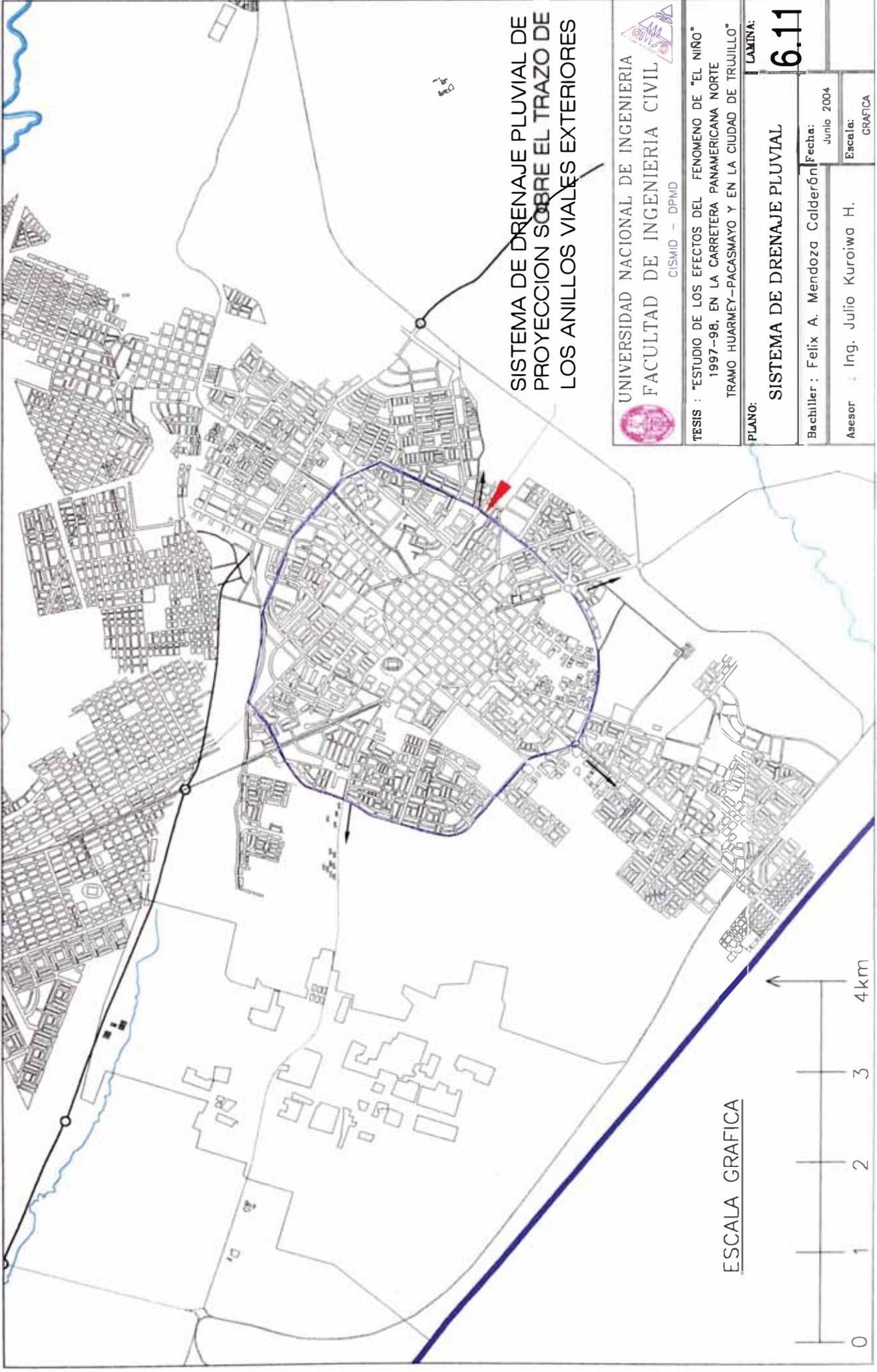
Si recordamos lo ocurrido en la madrugada del lunes 9 de febrero de 1998, los flujos repentinos provenientes de la quebrada San Idelfonso sorprendió a los pobladores del Porvenir, provocando los daños especificados anteriormente; por lo cual es indispensable contar con un Sistema de Alerta antes y durante el Evento, además un Sistema de Seguridad Post Evento.

Los sistemas de alerta que se presentan, son aplicadas generalmente para el caso de ocurrencia de inundación por avenidas repentinas en quebradas, pero que se pueden adecuar para las zonas afectadas por inundación ante las crecidas del río Moche.

En cuanto al **Sistema de Alerta antes del Evento**, se plantea el sistema de Red Telemétrica las que registran los patrones de lluvias causantes de huaycos. Donde se establece una relación entre los registros de ese momento y la tormenta característica, se activa una alarma.

Sería muy conveniente instalar este sistema que conectado a los pluviómetros con la finalidad de que estos activen sirenas o altavoces de prevención, para evacuación de los pobladores, en el caso de que la precipitación sobrepase los valores establecidos para la zona.

Este sistema es una alternativa para predecir la ocurrencia de inundaciones repentinas, ya que estas, se producen principalmente debido a las precipitaciones pluviales; por esto se recomienda instalar una red de pluviómetros en la parte alta de Trujillo, de esta manera, poder evacuar o prevenir a tiempo a los pobladores que habitan en lugares vulnerables a este tipo de fenómenos.



**SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL DE PROYECCION SOBRE EL TRAZO DE LOS ANILLOS VIALES EXTERIORES**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

CISMID - DPMD

TESIS : "ESTUDIO DE LOS EFECTOS DEL FENOMENO DE "EL NIÑO" 1997-98, EN LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE TRAMO HUARMEY-PACASMAYO Y EN LA CIUDAD DE TRUJILLO"

PLANO:  
**SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL**  
 LAMINA: **6.11**

Bachiller : Felix A. Mendoza Calderón Fecha: Junio 2004

Asesor : Ing. Julio Kuroiwa H. Escala: GRAFICA

ESCALA GRAFICA



### **Sistema de alerta durante el Evento**

El propósito de este sistema de alerta, es proveer una alarma cuando un flujo esta en progreso. Para ello el uso de los medios de comunicación como: teléfonos, radio, altavoces, sirenas etc. permiten alertar a la población y de esta manera evitar pérdidas de vidas humanas. Mediante de estos medios los pobladores de la zonas altas pueden comunicar el venir de los flujos y su posible dirección. Así mismo la señal de alerta estará a cargo de los dirigentes encargados.

Para un mejor funcionamiento se deberá perfeccionarlo mediante simulacros y fijar rutas de Evacuación. Para ello se deberá realizar los simulacros conjuntamente con los pobladores de las zonas expuestas al peligro de inundación como son: El porvenir, Huanchaco, El Milagro, Campiña de Moche, Ex Fundo Larrea y Las Delicias; al menos una vez por año.

### **Sistema de seguridad post – Evento**

Se debe organizar un Equipo de inspección y Evaluación de estructuras dañadas, áreas de riesgo, zonas inestables con riesgo de derrumbes etc. Con lo cual se definirá vías seguras de transito.

## **6.6.4 Planteamiento para la expansión urbana**

Dado el crecimiento acelerado de la población de Trujillo surge el problema de albergar ordenadamente a este considerable volumen de población, al mismo tiempo que salvaguardar las tierras agrícolas del valle y mantener las reservas de tierras eriazas consideradas como tierras nuevas en los planes de expansión de tierras de cultivo en marcha.

Según PLANDEMETRU, ha estimado la población para el 2010 tal como se puede ver :

La población de Trujillo Metropolitana en el año 2010 sería de 1,008, 420 personas

$$P_{2010} = 589\,314 \times (1+3.2/100)^{17} = 1\,008\,420$$

Con una población adicional para el período de 419,106 personas, 71.12% de incremento con relación a la población de 1993.

Las áreas nuevas que deberán incorporarse a Trujillo, esta en función directa de la población a albergar y como resultado de la densidad con la que el territorio se ocupe. Es entonces necesario incrementar la densidad de ocupación del suelo para reducir la extensión del área ocupada.

El trabajo de incrementar la densidad de ocupación se dificulta, dada la forma de urbanización sin capital, que es característica de las urbanizaciones populares, donde arrojan densidades bajas y tienen periodos de maduración extensos. Pero que es imprescindible orientar la ocupación de tierras con densidades más elevadas de las que actualmente prevalecen.

Tomando en consideración lo anteriormente dicho, las áreas potenciales para la expansión urbana están ubicadas en las áreas de borde de la parte alta de la ciudad, especialmente en el denominado distrito del “ **Alto Trujillo**” y **Alto Laredo**. (ver Lamina 6.13).

Con respecto a los sectores del “Alto Trujillo”, estos se ubican en la parte alta de los distritos del Porvenir y Florencia de Mora. Estos sectores están desarrollados como asentamientos informales, en terrenos eriazos sobre la acequia la Mochica Alta. Dada su ubicación se constituyen en áreas de menores riesgos ante el evento del fenómeno de “El Niño”.

Actualmente los sectores del alto Trujillo están siendo habilitados, pero presenta algunos déficit en cuanto a Equipamiento de salud, Educación y comercio. Por lo que se hace necesario el desarrollo de las condiciones de habitad en todos los sectores, en términos de mejora de calidad de vida y del ambiente, esto implica la realización de acciones, obras de intervención y regulación urbana, para el desarrollo de la cobertura de los servicios y de la infraestructuras urbanas, la conservación de las viviendas y la preservación del medio ambiente.

En cuanto a los sectores del Alto Laredo, estos presentan una alternativa para la expansión Urbana hacia esta zona. Siendo estas áreas menos propensas a sufrir inundaciones. Así mismo este sector no presentó reportes de daños por el fenómeno de “El Niño”; pero que es necesario antes de promover la expansión hacia este lugar realizar los estudios correspondientes frente a este fenómeno natural, para que de esta manera se pueda brindar a la población la seguridad correspondiente.

Actualmente existen Asentamientos Humanos ubicados en zonas de peligro por inundación, cerca al cementerio de San Carlos (Laredo), que deberán de ser reubicados a los sectores propuestos para lograrlo, es necesario el desarrollo de Proyectos de Planeamientos Integrales y la Habilitación Progresiva para estas zonas.

### **6.6.5 Reducción de la Vulnerabilidad de la Infraestructura Frente a las Inundaciones.**

Ante las inundaciones ocurridas en Trujillo, la infraestructura de la ciudad como edificaciones, servicios públicos y pavimentos, se vieron afectadas, dada la vulnerabilidad de estos ante este tipo de eventos.

A continuación se dan lineamientos para la reducción, en caso de inundaciones; de la vulnerabilidad de la infraestructura, que se considera más significativa.

#### **Edificaciones**

Para reducir la vulnerabilidad de las edificaciones ante las inundaciones de las zonas afectadas como: El Porvenir, Huanchaco (Huanchaquito), Laredo(AA.HH ubicados a la altura del cementerio de San Carlos ) y Moche, es incrementando su resistencia al empuje lateral de las aguas. Cabe resaltar que las edificaciones de los sectores mencionados en un buen porcentaje eran de adobe, que al entrar en contacto con el agua colapsaron. Para los diferentes tipos de edificaciones, en general hay que proteger las cimentaciones de la fuerza erosiva de las aguas.

Entre las principales recomendaciones están los siguientes:

- La sustitución gradual de las edificaciones vulnerables a las inundaciones, por otras que son mas resistentes, como las de concreto reforzado o albañilería reforzada. Esta sustitución se esta realizando en zonas severamente afectadas, como el porvenir, más no así en el caso de los Asentamientos Humanos ubicados a la altura del cementerio de San Carlos (Laredo), que son de adobe.
- Para establecer la altura mínima del sobrecimiento de las viviendas en zonas severamente y medianamente afectadas, dependerá del nivel máximo que alcanzó el agua durante los últimos fenómenos.
- Para las viviendas, que se encuentran en zonas levemente afectadas se recomienda la construcción de estas con alturas de sobrecimiento de concreto a una altura mínima de 0.30 m sobre el nivel del terreno natural y colocar zócalos exteriores 0.70m; en el caso de que la edificación esté construida, se debe proteger el muro con zócalos exteriores construidos con mortero de concreto y reforzado con malla de acero resistentes a la erosión, humedad e infiltración.
- La necesidad de considerar el drenaje pluvial en las viviendas, específicamente la evacuación de las aguas que discurren en los techos, ha quedado demostrado en el último evento de "El Niño". Donde las condiciones de las viviendas de sectores como

La Unión, Chicago y San Carlos (Laredo) carecían de este sistema de evacuación, por lo que sus techos de barro colapsaron al acumularse las aguas, debido a la falta del drenaje mencionado. Por este motivo es recomendable conducir el agua que discurre de los techos de las viviendas, generalmente hacia un dren superficial, mediante un tubo montante. Para lograr esto, es necesario, que los techos de las viviendas tengan una inclinación hacia las calles principales o jardines y utilizar un canal de media caña para que conduzcan las aguas a los tubos montantes verticales, los cuales, tienen su punto de desagüe en las veredas, calles o pistas; estos accesorios pueden ser de material plástico de PVC que son muy utilizados en las obras de desagüe. Además se deberá de protegerse la parte exterior de los techos de las viviendas, lo cual puede efectuarse con tejas, asbesto, Eternit, calaminas u otro material que los proteja ante las lluvias.

### **Sistema de Alcantarillado**

Las tuberías de alcantarillado colapsaron, debido a, que estaban solamente diseñados para conducir el caudal de consumo doméstico, mas no el caudal proveniente de los flujos de quebradas y en menor magnitud el caudal proveniente de las lluvias; y si además resaltamos la antigüedad y la falta de mantenimiento de las tuberías en algunos sectores. Enseguida se dan algunas sugerencias:

- Realizar inspecciones y mantenimiento periódico del sistema de alcantarillado, para detectar a tiempo las zonas problemática y no contribuir a generar un problema en serie. En época de lluvia se deberá intensificar la periodicidad de la limpieza debido a la acumulación de arena y/o tierra arrastrada por el agua.
- Debe de elaborarse periódicamente informes y cuadros de las actividades de mantenimiento a fin de conocer el estado de conservación, y condiciones del sistema.
- Las tapas de los buzones no deberán permitir la infiltración de las aguas de lluvia hacia los ductos, para no causar el colapso de las tuberías; además se deberá de proteger sus tapas contra la maniobralidad de la población y poder evitar la contaminación, colmatación y demás daños que inciden en su seguridad.

### **Obras de Pavimento**

La manera más razonable y económica de proteger un pavimento ante las inundaciones es mediante el drenaje. Que deberá de contemplarse ya que en Trujillo, el pavimento de diversos sectores de la ciudad fue afectado, presentando diversos forados generados por el agua. Por ello se recomienda lo siguiente:

- El pavimento a adoptarse deberá ser resistente a las erosiones y a la exposición de la humedad, principalmente en las zonas severa y medianamente afectadas.
- Otra manera de proteger el pavimento es evacuando el agua de su superficie de la manera más rápida posible, esta evacuación de las aguas que discurren sobre la calzada y aceras se realizará mediante cunetas, las que conducirán el flujo hacia las zonas bajas, donde los sumideros captarán el agua para conducirla en dirección a las alcantarillas pluviales de la ciudad.

# *CAPITULO VII*

## *CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.*

Ha quedado demostrado que cuando ocurre el evento del fenómeno de "El Niño", deja grandes pérdidas para el país, esto se vio reflejado en el último evento del año 1998, donde la zona norte de nuestro país fue afectada en su infraestructura vial y en las ciudades.

Con respecto a las vías, las que son reales arterias de una Nación, y en el caso específico de la Panamericana Norte (Tramo Huarmey - Pacasmayo) al sufrir los efectos de "El Niño", quedó inutilizada en varios tramos, debido a la insuficiente capacidad de las obras de drenaje para evacuar los flujos de quebradas o crecientes de ríos.

En cuanto a la ciudad de Trujillo, los efectos se debieron a lo siguiente: Precipitaciones Pluviales, Activación de Quebradas y los desbordes del Río Moche. Las causas de estos efectos fueron: Falta de un sistema de drenaje pluvial, edificaciones precarias, El colapso del dique de Mampuesto, falta de protección de las márgenes del río Moche entre otros. Cabe recalcar que el colapso del dique de Mampuesto sucedió anteriormente en 1728 y 1891, que al igual del año 1998 provocó la inundación de la parte baja de la ciudad.

## 7.1 CONCLUSIONES.

- ❖ El Fenómeno de "El Niño" es un evento natural océano – atmosférico. Se caracteriza, entre otros elementos físicos y atmosféricos, por un calentamiento intenso anormal de las aguas superficiales del mar frente a las costas del Perú y Ecuador, y por los cambios climáticos que genera a nivel regional y global.
- ❖ El Fenómeno "El Niño" no tiene relación con la corriente del Niño, solamente son similares en el calentamiento anómalo del agua del mar y la atmósfera, y con el desequilibrio total de la fisiografía terrestre.
- ❖ Las erosiones laminares se debieron a las precipitaciones, que cayeron directamente a la vía, y los tramos como Coscomba, que no contaron con drenaje lateral (cunetas, lavadero o entrega), resultando deteriorados los bordes y la superficie pavimentada.
- ❖ Se establece que las zonas afectadas por el fenómeno, son las siguientes: El Gramadal, Las Zorras, Huarmey, San Miguel, Huambacho, Bruce, Lacramarca, Coshco, Coscomba, Curva Jiménez, Moche, Vía Evitamiento de Trujillo, Chiclín - Puente Careaga y el Chilco.
- ❖ Los efectos en la vía a lo largo de la Panamericana Norte se debieron a la activación de quebradas, desbordes de los ríos, a las fuertes precipitaciones y a los deslizamientos. De acuerdo a esto los agentes causantes del colapso de las estructuras y elementos de la vía fueron:
  - Efecto de las quebradas en el terraplén de carretera.
  - Efectos de las quebradas o ríos en puentes.
  - Efectos de las quebradas o ríos en alcantarillas.
  - Efectos de las lluvias en la vía.
  - Efectos de los deslizamientos en la vía.

Presentándose en el tramo Huarmey - Pacasmayo: Efectos de la quebrada en el terraplén, efectos de las quebradas o ríos en alcantarillas y efectos de las lluvias en la vía.

- ❖ Los ríos que se desbordaron fueron: Huarmey, Lacramarca, Moche y Chicama; y las quebradas que se activaron fueron: Río seco de Jaupa, Pararín, El León, La Arenita y Cupisnique. De los desbordes más perjudiciales producidos, fue hecho por el río Chicama, el cual afecto a la vía y al poblado de Chiclín a la altura del km.595+000.
- ❖ El tipo de erosión que más predominó a lo largo del tramo Huarmey – Pacasmayo, fue la erosión longitudinal, el que se presentó en los tramos Huarmey - Chimbote, Trujillo - Pacasmayo en mayor grado, y en menor proporción entre Chimbote - Trujillo. Lo que se

debió a la insuficiencia hidráulica de las obras de cruce, que se colmataron ante el pase de los flujos de escombros, estos flujos, recorrieron la vía longitudinalmente erosionándolo en su recorrido.

- ❖ El tramo que presentó los mayores porcentajes de daños fue entre La vía Evitamiento de Trujillo y Pacasmayo, donde las erosiones laminares, longitudinales, generales e infiltraciones destruyeron la vía, provocando la paralización vehicular y el aislamiento de la zona Norte del país. Los sectores afectados en el tramo en mención fueron: Vía de Evitamiento de Trujillo, Chiclín- Puente Careaga, sector La Arenita y el sector Cerro el Chilco, siendo este último el sector más afectado.
- ❖ El tramo en estudio (Huarmey – Pacasmayo) fue afectado en 30 Km. Aproximadamente, con un porcentaje de afectación de 7.4%, correspondiendo a Huarmey – Trujillo, 18 Km; vía de Evitamiento de Trujillo, 7km; y Trujillo – Pacasmayo, 5km.
- ❖ Es también necesario, destacar la insuficiencia de canales o drenes agrícolas, en estas circunstancias, al sobrepasar su capacidad malogran cultivos e inundan las poblaciones como Casma, Huarmey y Chiclín.
- ❖ Las causas más importantes de los efectos producidos en la zona de estudio fueron:
  - Debido a las fuertes precipitaciones, el aumento de caudal, acompañado de diversos factores, es causa frecuente de la erosión.
  - Interrupción del Transporte Sólido, se da cuando, la quebrada al querer conservar su capacidad de transporte y estado de equilibrio, produce la erosión generalizada y la consiguiente profundización del cauce.
  - El estrechamiento del cauce, ya sea por diversos factores, siempre determina una disminución del área de drenaje, lo que implica el aumento de la velocidad y de la capacidad de transporte de la corriente, dando como resultado erosión y socavación.
  - Falta de protección en los taludes de los terraplenes.
  - Ausencia de obras de drenaje o ineficiencia, en el diseño de dichas obras de cruce.
- ❖ Una de las causas del colapso de los terraplenes, en zonas planas anegadizas, como el Chilco, donde el trazo de la carretera es perpendicular a la quebrada, se debió al embalse de las aguas por presencia del terraplén, que en su mayor parte fue construido en relleno.
- ❖ Las alcantarillas de ojos múltiples, así como los puentes, con pilares intermedios, son susceptibles a colmatarse, debido a, que provocan el estancamiento de las aguas por las palizadas, como quedó demostrado en el último evento. Estas son características de las obras de cruce en el tramo de estudio, como el puente Huambacho (río Nepeña), el

puente Arenita (quebrada Arenita) entre otros, las cuales se colmataron y generaron los desbordes que afectaron a la vía.

- ❖ Los trabajos de prevención a lo largo del tramo consistieron en limpiezas de alcantarillas, limpieza de cunetas, encauzamientos y construcción de algunas obras de drenaje. Los que aminoraron los efectos del Fenómeno de "El Niño".
- ❖ Actualmente los Geosintéticos nos dan una variedad de alternativas para contrarrestar los efectos de la erosión. Cuando ocurre el fenómeno de "El Niño", estas erosiones se presentan en mayor escala, requiriendo para ello, el uso de estos productos para su control, de los cuales mencionaremos algunos: Geotextiles, Geomallas, Geoceldas, Geobolsas.
- ❖ Las obras de drenaje de los tramos como El Chilco, Vía de Evitamiento de Trujillo, se caracterizan por su insuficiencia hidráulica que no permitieron drenar los torrentes de lodos que se presentaron, esto se debe a, que la mayor parte de estas obras se diseñaron para drenar los flujos de aguas limpias.
- ❖ Las quebradas León, río Seco y Encantada, son quebradas pequeñas muy bien definidas en sus partes alta y media, pero que en la zona de deyección aluvial, se confunden ocupando una gran extensión, a diferencia de la quebrada Cupisnique, que es bastante amplia y divagante; estas quebradas causaron los mayores estragos a la carretera.
- ❖ En el caso de las quebradas León, río Seco y Encantada, las descargas que se producen son interceptadas por la Muralla la Cumbre, construido posiblemente con fines de protección, que atraviesa toda la planicie aluvial; cerca de 6000m de longitud con una pendiente suave, favorable hacia el curso de la quebrada de desfogue (quebrada Huanchaco).
- ❖ Tanto en las partes medias como bajas de las quebradas, predominan los suelos potentes arenosos, muy permeables con presencia de gravas, presentándose en algunos casos lentes de limos.
- ❖ Una de las causas del colapso de los terraplenes en zonas anegadizas como "El Chilco", donde el trazo de la carretera es perpendicular a la quebrada, se debió al embalse de las aguas por presencia del terraplén, que en su mayor parte fue construido en relleno.
- ❖ Según el censo de la población de 1993, para la provincia de Trujillo es de 597, 315 habitantes. Restando la población de los distritos de Poroto y de Simbal, que no forman parte del área Metropolitana, se obtiene 589 314 como población metropolitana.

- ❖ El área geográfica que ocupa la ciudad, se encuentra ubicada entre las cotas 15 y 40 m.s.n.m. y en promedio 24 m.s.n.m; presenta una pendiente relativamente moderada que favorece la evacuación de las precipitaciones y los flujos de las quebradas hacia el mar. En cuanto a la periferia urbana, el área que sirve de asiento a los Pueblos Jóvenes, muestra una topografía variada con pendientes pronunciadas, pues ocupa las faldas de los cerros " El Presidio " y " Cabras " principalmente.
- ❖ El subsuelo en Trujillo, consiste básicamente de depósitos de arena suelta a medio densa. Los espesores de las capas en general aumentan en dirección al mar. El nivel freático varía con la topografía. Asimismo, en las partes bajas y medias de las cuencas, predominan los suelos arenosos potentes y permeables, con presencia de gravas, presentándose en algunos casos lentes de limo.
- ❖ La principal fuente de agua superficial del valle, la constituye el río Moche. Este río tiene características de torrente de régimen irregular, observándose marcadas diferencias entre sus parámetros extremos, donde el porcentaje mayor de caudales registrados se dan durante los meses de Enero a Marzo, y en épocas en que se presenta el Fenómeno de "El Niño", como en el año 1982-83. **El valor máximo de descarga**, según los reportes de la Región Agraria la Libertad fue de **280 m<sup>3</sup>/s**, y en el último evento, como el ocurrido en el año 1997-98 el caudal máximo (mes de Marzo) registrado fue de **1000 m<sup>3</sup>/s** (Estación de Aforo que se encuentra en Poroto).
- ❖ Los parámetros geomorfológicos indican que las cuencas pueden estar sujetas a crecientes bruscas, además que, debido a su semicircularidad existe la posibilidad de que las lluvias intensas cubran simultáneamente toda la cuenca.
- ❖ Las obras ejecutadas para atenuar los desastres cumplieron un papel importante, porque permitieron proteger a la población ante los efectos del fenómeno de "El Niño", a diferencia de que no se hubiera realizado nada. En este sentido, el proyecto Especial CHAVIMOHIC, atendiendo un pedido del Gobierno Regional, proyectó un conjunto de obras para proteger las zonas urbanas de las localidades de El Porvenir y Huanchaco, cuyas obras se ejecutaron en las quebradas San Ildefonso, y el conjunto de quebradas: El León, Río Seco y Encantada; cuyos cauces desembocan en dichas localidades.
- ❖ Los daños registrados se dieron en cada sector como sigue:
 

**Daños En el área Rural**

  - Daños en obras de infraestructura mayor y menor, de riego y drenaje.
  - Daños en los cultivos, ya sean por el exceso de agua o por los cambios bruscos de temperatura.

- Daños en las tierras de cultivo por inundación, erosión y debido al desborde de los ríos o quebradas, así como por deslizamientos masivos.
- Deterioro de los cauces de los ríos por colmatación de sólidos, ensanchamiento y rotura de riberas.

### **Daños en el área Urbana.**

- Destrucción o deterioro de viviendas
  - Destrucción de instalaciones de agua o desagüe.
  - Daños en el pavimento.
  - Deterioro de aulas de colegios y escuelas.
- ❖ La vulnerabilidad de la ciudad de Trujillo, específicamente en las zonas de: El Porvenir, El Milagro, Laredo, Moche y otras colindantes fue originada por tres agentes:
- Precipitaciones Pluviales.
  - Activación de Quebradas.
  - Las aguas fluviales.
- ❖ Las quebradas son un factor determinante en la ocurrencia de inundaciones repentinas. En la ciudad de Trujillo existen quebradas, que se ubican en la parte alta; unas descargan sus aguas y sedimentos gruesos en el río Moche; otras como son las quebradas San Ildefonso, El León, Encantada y Río Seco, descienden desde los cerros vecinos hacia la planicie aluvial, donde se ubican los centros poblados.
- ❖ La activación de quebradas provocó el colapso del sistema de alcantarillado, el cual no estaba preparado para evacuar este caudal adicional, que se infiltró a las redes de alcantarillado, a través de los buzones, hasta ocasionar la saturación de los colectores. Asimismo, los efectos ocasionaron una sobrepresión en la red de alcantarillado, manifestándose en roturas, fallas, etc. y en general el de la red. A todos estos factores mencionados si adicionamos la antigüedad y mal estado de las redes, era de esperarse su colapso.
- ❖ El pavimento de las calles y avenidas de la ciudad fue afectado por los flujos de quebradas y las precipitaciones pluviales. Los efectos en el pavimento se debieron a lo siguiente:
- No estaban diseñados para soportar erosiones y una humedad en demasia.
  - Falta de un sistema de evacuación pluvial.
  - El mal estado de las calles y avenidas, de algunos sectores de la ciudad en el momento de emergencia

- ❖ La ruptura del dique de Mampuesto, no es algo nuevo, también sucedió anteriormente, según Feijoo de Sosa en 1763; hace mención que, producto del agua embalsada en el Mampuesto, provocaron la ruptura del dique en mención en 1728. Este mismo suceso ocurrió en 1891, y en el último evento de 1997-98. El colapso del Dique de Mampuesto en el 98 se debió a lo siguiente:
  - Falla de Cimentación, producto del humedeciendo y debilitamiento de las bases durante dos días.
  - Deficiencia en la evacuación por medio de una tubería de 1m de diámetro, hacia el canal la Mochica.
  - Colapso del dique, por aumento de la presión del agua en los estratos permeables subyacentes al dique.
  
- ❖ La causa principal de la afectación del Sector de Río Seco en el Porvenir, se debió a que, la población de este sector, está ubicado en el cauce de la quebrada, San Idelfonso, quedando actualmente como única vía para la evacuación de los flujos, la Av. Hipólito Unanue.
  
- ❖ Los mayores daños por inundaciones se localizan en las riberas de los ríos. Como es caso de algunos sectores del río Moche, que se encuentran pobladas por asentamiento humanos, como es el caso de: La Campiña de Moche, Curva Sun, San Rosa y otras colindantes. Para reducir estos daños es necesario, planificar el uso de los suelos de estos sectores.
  
- ❖ Las viviendas de las zonas que fueron severamente afectados son: El Porvenir (Sector Río Seco), Huanchaco (Huanchaquito) y en Moche (Santa Rosa, La Campiña, Curva Sun etc). Y las viviendas medianamente afectadas, corresponden a los sectores del bajo Trujillo, ubicadas en la parte baja del valle, bajo la Acequia Mochica Alta.
  
- ❖ La construcción inadecuada de las viviendas de las zonas del Porvenir, Huanchaco y Laredo, agudizó más el problema, debido a lo siguiente:
  - El adobe como material de construcción en mayor porcentaje.
  - Falta de protección de las cimentaciones de las construcciones de concreto.
  - Falta de supervisión técnica en la construcción de las Edificaciones.

## 7.2 RECOMENDACIONES.

- ❖ En los nuevos cálculos de caudales máximos se debe tener en cuenta, el caudal pico de flujo de escombros, el cual se produce en las quebradas cuando llueve.
- ❖ Proteger con enrocados los accesos a la entrada y salida de las Alcantarillas y Pontones, para evitar las erosiones transversales y locales, por el discurrimiento lateral de las aguas, que se incrementa al acercarse a la obra de cruce.
- ❖ No se debe pretender pasar todo el flujo por alcantarillas, que son pequeñas para la magnitud de la quebrada, para ello se recomienda, respetar el ancho natural del cauce o alterarlo en lo más mínimo.
- ❖ De cuerdo a lo planteado, en la quebrada León (km581+000 vía de Evitamiento) se recomienda el uso de un pontón con una altura mayor a los 2m (Recomendable 3m de borde Libre ver sección 5.1.3), que permita el paso de los flujos que se presenten.
- ❖ Recobrar la función interceptora de la Muralla la cumbre, con más de 6000m de longitud que atraviesa la llanura aluvial, donde descargan las quebradas río Seco, El León y Encantada. Esto se debe realizar, refaccionando los diversos tramos averiados del muro.
- ❖ Se debe evitar el uso de batería de alcantarillas tipo cajón o celdas múltiples, así como los puentes con pilares intermedios, los cuales obstaculizan el paso de los flujos, provocando el estancamiento de las aguas por las palizadas, como quedo demostrado en el último evento. Estas son características de las obras de cruce en el tramo de estudio, como el puente Arenita(quebrada Arenita), pontón tipo cajón de ojos(quebrada León) entre otros; los cuales no permitieron el paso de los flujos, generando los desbordes que afectaron a la vía.
- ❖ Debido a que predomina las condiciones de tránsito vehicular, se propone la modificación del perfil longitudinal del eje de la vía, el cual debe tener un trazo, tal que permita el flujo de la quebrada, por encima de la pista, es decir, que estas funcionen como un vertedero trapezoidal. Esta modificación se deberá realizar en los tramos donde están ubicadas las baterías de alcantarillas del Km 576+624, Km574+204 y el Km573+918 de la vía de Evitamiento de Trujillo.
- ❖ Las alturas de los terraplenes o de los drenes verticales, deben de evitar la contaminación del pavimento por las aguas de regadío, al atravesar los valles cultivados, como es el caso de Chiclín. Por lo tanto se recomienda que, se eleve la rasante de la carretera y optimizar el movimiento de tierras, y la revisión y mejoramiento de los canales de drenaje existentes,

asumiendo el uso real que reciben en la actualidad, que va más allá de ser simples estructuras de drenaje sino que son a la vez sistemas de riego.

- ❖ El cauce del río Chicama es bastante amplio, y en el cual se debe de proteger las márgenes en las zonas críticas (Voladero a la altura de Casa Grande a 4km de la zona de contacto) por donde se generaron los desbordes, que inundaron y afectaron la carretera Panamericana y a la población de Chiclin. Para la protección de las márgenes se deberá realizar mediante el uso de enrocados, gaviones o geobolsas. En cuanto al uso de las geobolsas, estos prestan una función de estructura de gravedad, que impide durante épocas de crecidas que el río se salga de su cauce, evitando así, la inundación de la población y campos agrícolas.
- ❖ Cerca de 4km, fueron afectados, debido a las inundaciones generadas por la activación de la quebrada Cupisnique (ver plano 5.12). Esta quebrada, compromete al terraplén de la vía, requiriendo para ello su protección mediante el revestimiento del talud con enrocado, concreto, geoceldas etc. El uso de las geoceldas, con incorporación de vegetación de la zona, sería la mas recomendable, dada la extensión de área a proteger. Una alternativa mas costosa es la incorporación de concreto.
- ❖ Se ha determinado que la quebrada Cupisnique, ha generado cinco cauces(ver foto N°5.5) a través de los años, el cual compromete a la vía desde el Km646+000 al Km650+000, debido a que actualmente existen 3 alcantarillas, la primera en el Km646+272, la segunda en el Km649 y la tercera en el Km650. Por lo tanto se plantea ubicar una obra de drenaje en el Km648+000, que facilite la evacuación de los flujos provenientes de dicha quebrada.
- ❖ La obra de drenaje en el km649+270 debe de considerar el ancho del cauce, que es de aproximadamente 50m. En esta zona se propone, el uso de un puente que considere dicho ancho de cauce y altura de la rasante actual, esta rasante fue elevada en la etapa de transitabilidad.
- ❖ Dado que, Trujillo está rodeado en su parte alta por quebradas, se recomienda hacer un estudio definitivo de todas ellas, a fin de determinar: los caudales de diseño, el tipo de flujo, delimitación, obras de drenaje complementarios, de tal manera que se evite arrastre de sedimentos y erosiones. Estos estudios nos ayudarán a realizar planes de mitigación más reales en las quebradas, y a la vez, estas tendrán mejores condiciones de estabilidad ante un evento como el fenómeno de "El Niño". La falta de estudios definitivos en cuanto al tipo de flujo se hizo reflejar, en el caso particular de la cuenca de la quebrada San Idelfonso, ya que en el evento del año 1998, mediante evaluaciones preliminares se adoptaron medidas, como la ejecución de diques de retención de sólidos, porque se

esperaba una avenida a manera de Huayco, con gran arrastre de material sólido, que no se dio, pero que era una posibilidad.

- ❖ Trujillo, al igual que muchas ciudades de la costa, no cuenta con un sistema de drenaje Pluvial, aunque sus efectos directos a la infraestructura fueron leves en el último evento del 98, los antecedentes de 1728, 1891 y 1925 indican lo contrario, dadas las precipitaciones intensas que causaron a lo largo de 2 meses en los años antes mencionados. Es por esta razón que se presenta propuesta del sistema de drenaje pluvial sobre los anillos viales exteriores (ver sección 6.6.2) que es a nivel de sugerencia, debido a las limitaciones en cuanto a la información requerida.
- ❖ Se recomienda la canalización de los flujos provenientes de la quebrada San Idelfonso, que se activan debido a las precipitaciones pluviales como consecuencia del Fenómeno de “El Niño”. Esta canalización se logrará adecuando la Av. Hipólito Unanue a un Canal Vía. Asimismo, cabe recalcar que esta avenida ha quedado actualmente como la única vía para la evacuación de los flujos de la quebrada en mención, ya que este sector está totalmente poblado. Adicionalmente en los cruces con las calles y Avenidas, se deberá construir badenes de concreto, que permitirán el pase de los flujos, y evitar de esta manera las erosiones en las vías de cruce.
- ❖ Protección y estabilización del Terraplén de Mampuesto ante las erosiones, producto de la activación la quebrada San Idelfonso. Esto se puede realizar de la siguiente manera:
  - Revestimiento de piedra o concreto.
  - Revestimiento con Geoceldas con incorporación de vegetación de la zona, y ante esfuerzos mayores con incorporación de concreto.
- ❖ Ejecutar la defensa de las márgenes del río Moche y especialmente en sectores como: Santa Rosa, Santa Lucía y Huaca Sol; que fueron zonas críticas de desbordes. Esto se puede realizar mediante el uso de Enrocados, Gaviones, Arborización, Geobolsas etc.
- ❖ Para reducir la vulnerabilidad de las viviendas ante las inundaciones, se recomienda construir las viviendas con materiales resistentes al empuje lateral de las aguas. Entre estos materiales tenemos, el concreto reforzado o albañilería reforzada. Para el caso de las edificaciones que ya están construidas, estas serán protegidas con un adecuado sistema de impermeabilización, y además, hay que proveerle protección a las cimentaciones de la fuerza erosiva de las aguas.

- ❖ Contar con un sistema de alerta antes y durante el evento, y un Sistema de Seguridad Post Evento, ya que el peligro de inundación en la ciudad es latente ante eventos como el fenómeno de “El Niño”; estas inundaciones en el 98 se dieron por activación de quebradas y crecidas de río.

Estos sistemas contemplan lo siguiente:

#### **Sistema de Alerta Antes del Evento**

- Instalar un sistema de Red Telemétrica

#### **Sistema de Alerta Durante el Evento**

- El uso de Medios de Comunicación, los que ayudan alertar a la población y de esta manera refugiarse hacia zonas más seguras.

#### **Sistema de Seguridad Post Evento**

- Evaluación de las estructuras dañadas, áreas de riesgo y zonas inestables con riesgos de derrumbes.

- ❖ Normar el uso del suelo, en áreas sujetas cercanas a las riberas de los ríos y quebradas.
- ❖ Se sugiere que, la expansión urbana a corto plazo sea dirigida hacia el Alto Trujillo. Donde actualmente está siendo poblado casi en todos los sectores, pero que es necesario incrementar la densidad de ocupación del suelo, para reducir la extensión del área ocupada, de esta manera se podrá lograr la ocupación racional y concertada del territorio. Asimismo, hacia las afueras de Laredo (Alto Laredo), esta zona presenta una alternativa para la expansión Urbana hacia este sector. Siendo estas áreas menos propensas a sufrir inundaciones. Asimismo, este sector no presentó reportes de daños por el fenómeno de “El Niño”; pero que es necesario antes de promover la expansión hacia este lugar, realizar los estudios multidisciplinarios que contemplan todas las exigencias básicas de habilitación, adicionalmente un estudio que contemplan los efectos del Fenómeno de “El Niño” en las zonas involucradas
- ❖ Los planteamientos de mitigación que se dan en la presente tesis, tienen restricciones debido a la falta de información que no es suficiente para profundizar en las propuestas; por ello, se recomienda continuar con las investigaciones, para efectuar el o los proyectos en la ciudad de Trujillo.

## BIBLIOGRAFIA

1. Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, Acciones de Emergencia para prevenir el Fenómeno "El Niño".
2. INADE - PROYECTO ESPECIAL CHAVIMOCHIC, Expediente Obras de Emergencia en las Quebradas El León, Río Seco y San Idelfonso.
3. Consultoras Asesores Técnicos y Barriga - Dall'orto Ingenieros Consultores S.C.R.L. (1975), Factibilidad y Priorización de la carretera Panamericana Norte, sector: Chimbote - Aguas Verdes; realizada por las firmas
4. Información proporcionada por el sistema Nacional de Mantenimiento de Carreteras - SINMAC.
  - Trabajos de prevención realizados por el SINMAC en 1997.
  - Expediente de Evaluación de la Carretera Panamericana Norte Tramo del KM247+000 al KM558+000 (1998).
  - Expediente de Evaluación Para la Rehabilitación de la Carretera Panamericana Norte. Sector: Ovalo Industrial Trujillo - Pte Lambayeque.
5. IMPREGILO, Expediente, Obras de Emergencia para la Transitabilidad de Carreteras, Tramo Ovalo Industrial de Trujillo - Puente Lambayeque (1998).
6. ICCGSA, Expediente, Obras de Emergencia para la Transitabilidad de Carreteras, Tramo km247+000 al km558+000.
7. C. R. C. - A.I.C. - Nov. 1993 MTC, "Mantenimiento Periódico de Carreteras" Panamericana Norte, Tramo 2: Trujillo – Pacasmayo.
8. M.T.C, Estudio Definitivo de Rehabilitación de la carretera Panamericana Norte; sector Huarmey Pte - Santa.
9. Petronila Ibáñez, Diseño de Obras Hidráulicas - American Concrete Institute UNI/FIC, 1996.
10. Quincy Claude, Ayres (1960), "La Erosión del Suelo y su Control".

## BIBLIOGRAFIA

11. Ronald Woodman, Pollit, "El Perú en los Albores del Siglo XXI/2." Lima 1998.
12. Alva, Walter. PREDES, "Rescatar el Pasado para Prevenir el Futuro" Lima 1998.
13. Minaya Espinoza, Elsa (1996) "Planteamiento y desarrollo de un esquema de Drenaje vial en el ámbito del fenómeno "El Niño", carretera Panamericana Norte: Sullana Aguas verdes". FIC – UNI.
14. Arancibia Samaniego, Ada (1998) "Criterios para el manejo de Quebradas y su aplicación en el diseño de Obras Civiles". FIC-UNI.
15. Romero Iparraguirre, Edwin (1994) "Microzonificación para la Prevención y Mitigación de Desastres de la Ciudad de Trujillo". FIC-UNI
16. Rocha Felices Arturo (1998). "Introducción a la Hidráulica Fluvial".
17. Socavación en Cauces Naturales, Secretaría de Obras Publicas, Junio de 1998.
18. Manual de Drenaje de Productos de Acero para Drenaje y Construcción vial, AMERICAN IRON AND STEEL INSTITE.
19. Geosintéticos (1996). Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil.
20. PLANDEMETRU, Plan de Desarrollo Metropolitano de Trujillo-2010, 1995
21. INADE- PECH, Descargas Máximas en las Cuencas de la Quebradas León, San Idelfonso, León-Encantada.
22. INADUR, Informe de Evaluación sobre el fenómeno de "El Niño" 1997-98 en la ciudad de Trujillo.
23. Instituto Nacional de Defensa Civil del Perú (INDECI), [http:// www.indeci.gob.pe/presenta.html](http://www.indeci.gob.pe/presenta.html).
24. Instituto del Mar Peruano IMARPE, [http:// www.perutrade.com/imarpe/](http://www.perutrade.com/imarpe/)
25. El Instituto americano RAIN, [http:// www.rain.org/el\\_nino/](http://www.rain.org/el_nino/)