



Autoridad Nacional del Agua

Dirección de Estudios de Proyectos Hidráulicos Multisectoriales



**Tratamiento del cauce del río Piura para el
control de inundaciones**

MINISTERIO DE AGRICULTURA

Juan Manuel Benites Ramos
Ministro de Agricultura

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA

Ing. Juan Carlos Sevilla Gildemeister
Jefe

DIRECCION DE ESTUDIOS DE PROYECTOS HIDRAULICOS MULTISECTORIALES

Ing. Francisco Freddy Flores Sánchez
Director

Coordinador del estudio: Ing. Tomás Alfaro Abanto

Equipo técnico:

Ing. Jeanne Susan Quiñones Rojas
Ing. Juan Adolfo Bardález Reátegui
Ing. Irma Martínez Carrillo

INDICE GENERAL

RESUMEN EJECUTIVO

CAPITULO I: Generalidades

- 1.1 *Antecedentes*
- 1.2 *Objetivo*
 - 1.2.1 *General*
 - 1.2.2 *Específicos*
- 1.3 *Articulación con los planes estratégicos*
- 1.4 *Alcances del estudio*
- 1.4 *Problemática*
- 1.5 *Justificación*
- 1.6 *Definiciones*

CAPITULO II: Información básica de la cuenca

- 2.1 *Generalidades*
 - 2.1.1 *Ubicación*
 - 2.1.2 *Vías de comunicación*
- 2.2 *Características geomorfológicas*
 - 2.2.1 *Área de la cuenca (A)*
 - 2.2.2 *Perímetro de la cuenca (P)*
 - 2.2.3 *Longitud del cauce principal (L)*
 - 2.2.4 *Ancho promedio de la cuenca (Ap)*
 - 2.2.5 *Pendiente predominante del cauce y de la cuenca*
 - 2.2.6 *Altitud media (Hmd)*
 - 2.2.7 *Coefficiente de compacidad (Kc)*
 - 2.2.8 *Factor de forma (Kf)*
- 2.3 *Características climatológicas*
 - 2.3.1 *Precipitación*
 - 2.3.2 *Temperatura*
 - 2.3.3 *Humedad Relativa*
 - 2.3.4 *Evaporación*
- 2.4 *Red de drenaje*
- 2.5 *Zonas de vida*
- 2.6 *Características socio-económico*
- 2.7 *Inventario de las estructuras de protección*

CAPITULO III: Geología y geotecnia

- 3.1 *Geología Regional*
 - 3.1.1 *Unidades geomorfológicas*
 - 3.1.2 *Aspectos litológicos y estructurales*
 - 3.1.3 *Geología estructural*
- 3.2 *Sismicidad*
- 3.3 *Catastro Minero en la cuenca del río Piura*
- 3.4 *Procesos Geológicos registrados en el área del estudio*
 - 3.4.1 *Inundaciones fluviales*
 - 3.4.2 *Erosión fluvial*
 - 3.4.3 *Flujos de lodos y detritos*
 - 3.4.4 *Arenamientos*
 - 3.4.5 *Derrumbe*
- 3.5 *Alternativas para el manejo de problemas geodinámicos*
 - 3.5.1 *Medidas para inundación y erosión fluvial*

- 3.5.2 *Medidas para flujos de lodos y detritos*
- 3.5.3 *Medidas para arenamientos*
- 3.5.4 *Medidas para derrumbes*
- 3.6 *Geotecnia del área de estudio*
 - 3.6.1 *Investigaciones geotécnicas Zona I (calicata C-1 y C-2)*
 - 3.6.2 *Investigaciones geotécnicas Zona I (calicata C-3 y C-6)*
 - 3.6.3 *Investigaciones geotécnicas Zona I (calicata C-7 y C-10)*
 - 3.6.4 *Investigaciones geotécnicas Zona I (calicata C-11)*
 - 3.6.5 *Condiciones geotécnicas*
- 3.7 *Canteras de enrocado*
 - 3.7.1 *Cantera La Huaquilla*
 - 3.7.2 *Cantera Carrasquillo*
- 3.8 *Conclusiones y recomendaciones*

CAPITULO IV: Caudales máximos-eventos extremos

- 4.1 *Eventos climáticos extremos en el Perú*
- 4.2 *Planteamiento hidrológico*
 - 4.2.1 *Método Estadística*
 - 4.3.2 *Método de Fuller*
 - 4.3.3 *Método Envolvente de Creager*
- 4.3 *Resultados*
- 4.5 *Conclusiones*

CAPITULO V: Análisis de la Vulnerabilidad

- 5.1 *Identificación y descripción de los puntos críticos por sectores*
- 5.2. *Influencia de los tributarios en el comportamiento del río Piura*

CAPITULO VI: Hidráulica fluvial

- 6.1 *Análisis hidráulico del cauce*
 - 6.1.1 *Morfología fluvial*
 - 6.1.2 *Acondicionamiento del cauce al régimen de equilibrio*
 - 6.1.3 *Parámetros hidráulicos fluviales y elementos del cauce*
- 6.2 *Granulometría*
- 6.3 *Análisis de socavación*

CAPITULO VII: Propuesta de medidas estratégicas

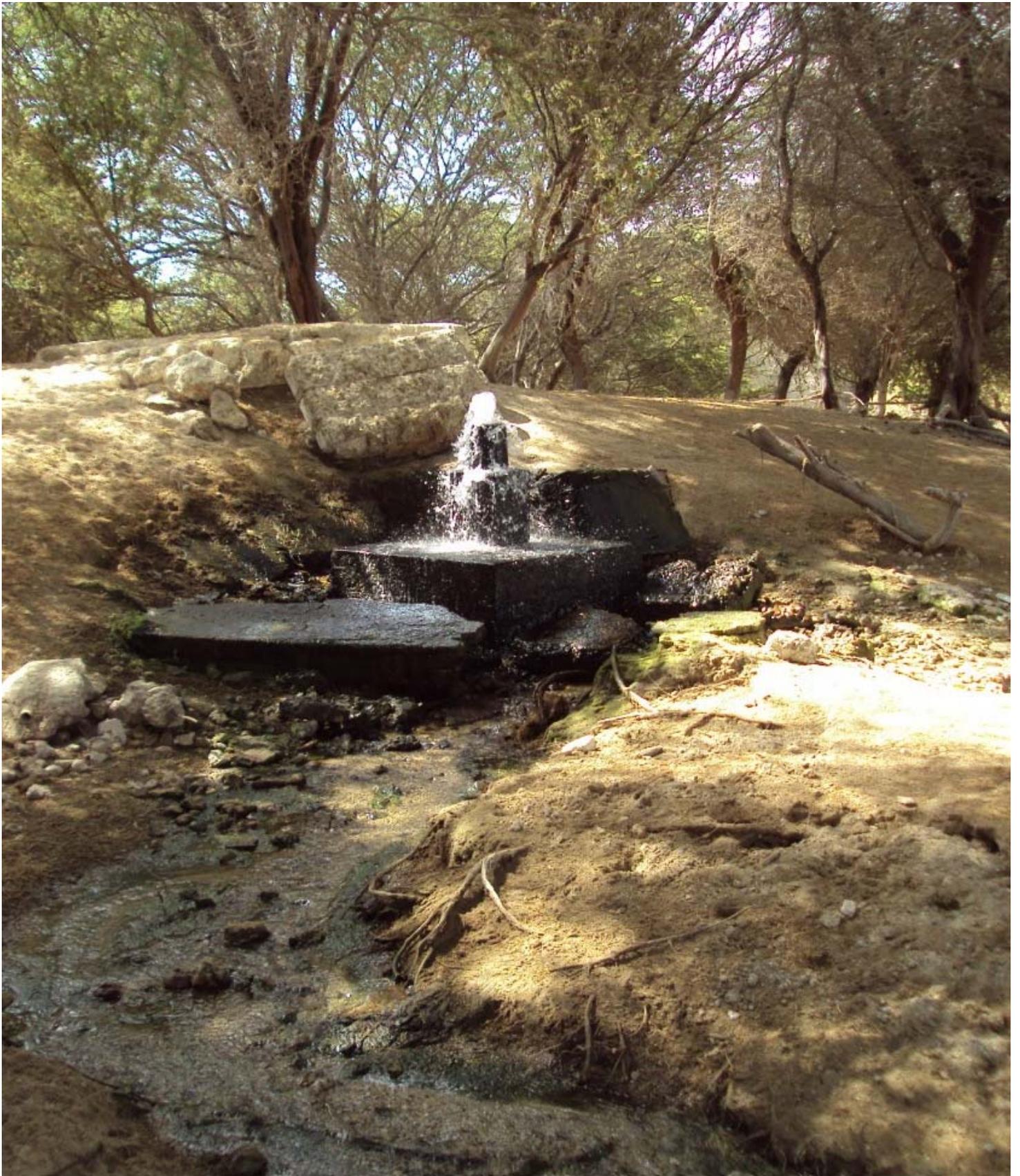
- 7.1 *Valoración económica de los elementos expuestos a inundación y erosión*
- 7.2 *Planteamiento general*
- 7.3 *Medidas estratégicas en el cauce principal*
- 7.3 *Medidas estratégicas en afluentes*
- 7.4 *Medidas estratégicas en la parte alta de la cuenca*
- 7.6 *Medidas no estructurales*

CAPITULO VIII: Impactos del Estudio

- 8.1 *Impactos ambientales*
- 8.2 *Impactos socio-económico y culturales*
- 8.3 *Impactos institucional político*
- 8.4 *Conclusiones y recomendaciones*

CAPITULO IX: Conclusiones y recomendaciones

ANEXOS



CAPITULO I: generalidades

INDICE

CAPITULO I	3
GENERALIDADES	3
1.1 Antecedentes	3
1.2 Objetivos	4
1.2.1 <i>Objetivo General</i>	4
1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i>	4
1.3 Articulación con los Planes Estratégicos	4
1.4 Ámbito del estudio	5
1.5 Problemática	6
1.6 Justificación	8
1.7 Definiciones	9

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

Antes de la Reforma Agraria, las haciendas importantes y entidades privadas involucradas en el manejo y administración del agua, asumieron la responsabilidad del mantenimiento y construcción de obras de defensa ribereña.

En la Reforma Agraria y la promulgación de la Ley General de Aguas, el Estado asume el mantenimiento de los cauces de los ríos, mediante obras de encauzamiento y protección de sus márgenes; su accionar era más intenso en las épocas de máximas avenidas; la intervención de los agricultores era mínimo, más bien pasivo y el Estado desempeñó un papel más activo.

Durante los años 1997 a 1998, el Ministerio de Agricultura adquirió maquinaria pesada como excavadoras, tractores de orugas, cargadores frontales y volquetes para realizar trabajos de descolmatación de ríos, quebradas, drenes y reforzamiento de obras de captación en prevención del Fenómeno El Niño 1998.

En el periodo de 1999 al 2009 el Ministerio de Agricultura ha ejecutado acciones, en los ríos del País, para disminuir problemas de inundaciones; estas acciones se ejecutaron con el Programa de Encauzamiento de Ríos y Protección de Estructuras de Captación-PERPEC.

En esta etapa se ejecutaron en la región de Piura una inversión aproximada de 16.5 millones de Nuevos Soles, destinadas a obras de defensas ribereñas, descolmatación de cauces y rehabilitación de diques.

La participación de las organizaciones de regantes (Juntas de Usuarios y comisiones de regantes) en la ejecución de estas obras fue a través del cofinanciamiento; así, como en la elaboración de perfiles de pre-inversión y expediente técnicos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Disponer de una herramienta de gestión para los Consejos Hídricos de Cuenca, Gobiernos Regionales, Gobiernos Locales e instituciones privadas; de tal manera les permita planificar medidas estratégicas para la reducción de riesgos de inundaciones y erosión fluvial, en el río Piura y afluentes.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a. Establecer los parámetros hidrológicos e hidráulicos del río como: caudales máximos de diseño, ancho estable del río (que facilite el drenaje del caudal de avenidas ordinarias y extremas, corrigiendo los tramos trezados, estrangulamiento y ensanchamiento del cauce), niveles de flujo, velocidades máximas, otros.
- b. Identificar las zonas vulnerables, susceptible a desborde y erosión por acción del río Piura, afluentes y por la inadecuada extracción de materiales de acarreo.
- c. Proponer medidas estratégicas de solución (estructural y no estructural) para el plan de Gestión de Riesgos. Las medidas estructurales son las defensas ribereñas como diques, espigones, descolmatación, limpieza de cauce, reforestación, etc. Las medidas estratégicas no estructurales corresponde al ordenamiento territorial, capacitaciones, sistema de alerta temprana, ordenanzas, delimitación de faja marginal, etc.

1.3 Articulación con los Planes Estratégicos

- o El Estudio se encuentra articulado al Plan Bicentenario El Perú hacia el 2021, mediante el Eje Estratégico 6: Recursos Naturales y Ambiente en los siguientes lineamientos políticos: (2) Impulsar la gestión integrada de los recursos naturales, la gestión integrada de los recursos hídricos y el ordenamiento territorial y (4) Fomentar la investigación sobre el patrimonio natural y las prácticas ancestrales de manejo de recursos y la reducción de la vulnerabilidad.
- o Se encuentra articulado a la Política 32 referido a la Gestión del Riesgo de Desastre, que tiene por finalidad proteger la vida, salud e integridad de la población y que debe ser implementada por los organismos públicos de todos los niveles de gobierno.

- El Plan Estratégico Sectorial Multianual 2007-2015, dentro de su lineamiento político Buena Gobernanza, indica que se deben fomentar políticas y estrategias nacionales de reducción de riesgos, así como de prevención y atención de desastres.
- Plan Estratégico de Desarrollo Regional Concertado de Piura Eje estratégico Recursos Naturales, Biodiversidad Gestión Ambiental y de Riesgo, objetivo, garantizar medios de vida adecuados a la población regional, conservando y aprovechando en forma sostenible los recursos naturales y la biodiversidad, con una óptima gestión del riesgo. Incluye los siguientes programas referido a la prevención ante inundaciones: (1) Construcción, ampliación y rehabilitación de defensas ribereñas, (2) Construcción, ampliación y rehabilitación del sistema de drenaje pluvial, (3) prevención ante fenómenos naturales y antrópicos, (4) programa de encauzamiento de ríos y protección de estructuras de captación.
- El Gobierno Regional de Piura, ha elaborado el Programado “Disminución de la vulnerabilidad frente al incremento de caudales originados por precipitaciones extremas en la cuenca del río Piura”, con código SNIP PROG-1-2013. Tiene por objeto reducir la vulnerabilidad de la cuenca del río Piura a través de la regulación de avenidas del río Piura, lo que permitirá: proteger sus riberas, evitando inundaciones, proteger las estructuras ubicadas en el río, tales como puentes y la presa Los Egidos, drenar las aguas pluviales de la ciudad de Piura (distritos de Piura y Castilla) directamente hacia el río por gravedad y evitar la recarga de la napa freática de la ciudad de Piura, disminuyendo el riesgo de licuefacción.
- La Autoridad Nacional del Agua, a través del Programa Modernización de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, ha elaborado el Plan de Gestión de Recursos Hídricos en la Cuenca Chira-Piura, aprobado mediante Resolución Jefatural N° 113-2014-ANA, de fecha 04 de abril de 2014. En el ítem Riesgos de desastres por peligros naturales y cambio climático, indica que uno de los peligros son las inundaciones y que parte de la región Piura es vulnerable a esta amenaza.

1.4 Ámbito del estudio

El presente Estudio se ubica en el cauce del río Piura, desde la laguna Ramón-pampa Salinas a una altitud promedio de 5 m.s.n.m. hasta la naciente a una altitud de 3200 m.s.n.m. La longitud del río Piura en el tramo indicado es de 304910 m

(305 km).

El ámbito de estudio se divide en tres valles: Alto Piura, desde Huarmaca hasta Tambogrande; Medio Piura, desde Tambogrande hasta la Presa Los Ejidos en la ciudad de Piura y el Bajo Piura, desde Piura hasta la Laguna Ramón-pampa Salina.

Comprende tres provincias: Sechura, Piura y Morropón y abarca los siguientes distritos: Sechura, Cristo Nos Valga, Rinconada Llicuar, Bernal, Bellavista de la Unión, La Unión, La Arena, Cura Mori, Catacaos, Castilla, Piura, Tambogrande, Chulucanas, La Matanza, Buenos Aires, Salitral y Huarmaca.

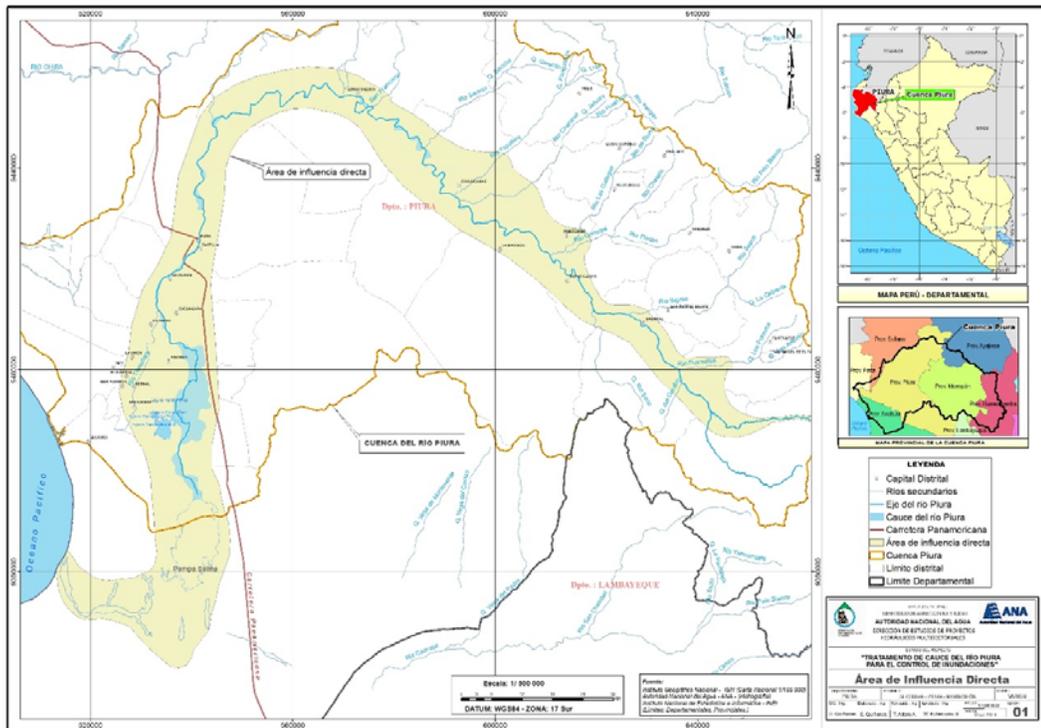


Figura 1. Área de influencia directa del estudio

1.5 Problemática

1.5.1 General

La ocurrencia de inundaciones en el País y su relación con los eventos extremos y los impactos económicos y sociales, ocurridas en el ámbito de las cuencas de las tres vertientes: Pacífico, Amazonas y del Titicaca; han originado anegamiento de calles y viviendas, desborde o destrucción de canales de riego, interrupción o

destrucción de carreteras, interrupción de suministro de agua potable y contaminación, inundación y erosión de predios agrícolas y falla de drenes. En resumen afectación importante a las actividades económicas del país.

El desarrollo de las ciudades y su expansión urbana han invadido la faja marginal (por lo general están asentadas las poblaciones de más bajos recursos), obstruyendo los cauces naturales de los ríos y quebradas, reduciendo su cauce y disminuyendo su capacidad de descarga.

En el norte del país, se nota una estrecha relación entre el Fenómeno El Niño (Los más intensos y catalogados como catastróficos se registraron en 1925, 1982-83 y 1997-98), las precipitaciones extremas y las inundaciones, sin embargo no siempre pueden ser atribuidas a este Fenómeno, sino también a procesos naturales meteorológicos.

El Fenómeno El Niño 1997-98 ocasionó daños en el país por US\$ 3500 millones de dólares (La Corporación Andina de Fomento, 2000). Los sectores productivos fueron afectados con 46% del daño total, transporte con 21% de los daños, agropecuaria sufrió el 17% de los daños totales. El Fenómeno El Niño 1982-83 ocasionó daños por US\$ 3283 millones de dólares (La Corporación Andina de Fomento), y US\$ 1000 millones de dólares según BIRF.

1.5.2 Específica

Durante el Fenómeno El Niño 1997-98, la ciudad de Piura fue inundada por las fuertes lluvias locales, agravado por la capacidad insuficiente de los drenes existentes, que permiten evacuar las aguas pluviales a derivaciones del río. Las crecidas del año 1998 alcanzaron un caudal pico estimado de 4424 m³/s. El encauzamiento del río diseñado para 4000 m³/s (construido después del fenómeno El Niño del año 1983) protegió de los desbordes en la ciudad. Los puentes Piura y Bolognesi colapsaron por problemas de socavación. Es necesario señalar que en verano del año 1999 se produjo una crecida con 3100 m³/s.

En la parte baja y media de Piura se registraron precipitaciones muy superiores a las medias normales durante el Fenómeno El Niño 1982-83, estación Talara 458.7 mm y estación Miraflores 773.8 mm, que significaron incrementos de 26882% y

2404% respecto a sus normales. En la zona intermedia como Chulucanas y Mallares las lluvias más altas se registraron en febrero y marzo, valores de 1095.2 mm y 692 mm respectivamente. En las zonas más altas, las lluvias en marzo de 1998, totalizaron 454 mm en Ayabaca que significó el 87% sobre su normal y 416.5 mm en Huarmaca que significó 74,2% sobre su normal.

Respecto a las máximas precipitaciones en 24 horas, los días 10, 19 y 22 de marzo se registraron los eventos pluviales más intensos, con 251.2 mm en Malacasi, 232.2 en Talara y 201 mm en Mallares.

En este proceso de inundación ocurrieron pérdidas de cultivos, disminución de tierras de cultivo, deterioro de infraestructura vial, hidráulica y centros poblados; amenazando la vida de los pobladores. Por lo tanto, el valle es considerado muy vulnerable ante la presencia de estos eventos de crecida; como consecuencia de la actividad antrópica y falta de suficientes obras de defensas ribereñas, cobertura vegetal casi inexistente, cauces colmatados, etc.

Si consideramos el Fenómeno El Niño 1997-98, los impactos socio-económico fueron: daños en colectores de desagüe de Catacaos y Castilla, pérdidas de cultivos, daños en la infraestructura de riego, colapso de puentes como Bolognesi e Independencia, daños parciales de las carreteras Piura-Morropón, Piura-La Arena-Sullana y Morropón-Cascajal-Motupe; poblaciones afectadas como El Arenal, Curamori, Tambo Grande, Chato Chico, San Antonio, Amotape, Miramar, La Soledad, Tamarindo, Vichayal y El Tallán (Diagnóstico de ocurrencia de sequías, inundaciones y cambio climático global, INRENA 2006).

1.6 Justificación

Según el Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos N° 29338, artículo 263º, indica que “la Autoridad Nacional del Agua definirá y pondrá a disposición de los gobiernos regionales y locales los criterios generales y caudales de los ríos que se utilizarán para el dimensionamiento de las obras que se proyecten en los programas de control de avenidas, desastres e inundaciones y otros proyectos específicos”.

En el artículo 264º de la misma Ley “la Autoridad Nacional del Agua, en

coordinación con las oficinas regionales de Defensa Civil, elabora los programas integrales de control de avenidas los mismos que debe ser incluido en los planes de gestión de recursos hídricos en la cuenca”.

El artículo 266º, hace mención que el programa integral de control de avenidas está constituido por el conjunto de acciones estructurales y no estructurales que permiten el control, prevención y mitigación de los efectos de los fenómenos naturales destinados a la protección de los bienes asociados al agua naturales o artificiales, tierras, poblaciones aledañas, vías de comunicación e infraestructura”. En la cuenca del río Piura se asientan distritos con potencial a sufrir inundaciones y erosiones, tales como Castilla, Piura, Curamori, Chato Chico, entre otros. En ello se desarrollan actividades económicas y existen infraestructura de servicios y vías de transporte que comunican a toda la cuenca.

En la evolución del río Piura, han ocurrido desbordes debido a las avenidas ordinarias o extraordinarias con gran capacidad para erosionar o sedimentar. En este proceso de inundación, se han perdido cultivos, tierras agrícolas, deterioro de la infraestructura de servicio y amenaza de la integridad de los pobladores. Las insuficientes obras de defensa ribereña y la deforestación de áreas en la cuenca alta, originan que estos cauces se colmaten y se erosionen las márgenes, poniendo en riesgo a la población asentada.

Ante esta situación la Autoridad Nacional del Agua del Perú propone medidas estratégicas, para prevenir o reducir el riesgo contra las inundaciones y erosiones fluviales; con la finalidad de dotar una herramienta de gestión a los actores de la cuenca, que les permita planificar y ejecutar proyectos que conlleven a la protección de la población, bienes y servicios.

1.7 Definiciones

Algunas de las definiciones que se mencionan fueron extraídas de la Ley de Recursos Hídricos y su Reglamento N° 29338.

- **Programas Integrales de Control de Avenidas.** El programa integral de control de avenidas comprende el conjunto de acciones estructurales y no estructurales destinadas a prevenir, reducir y mitigar riesgos de inundaciones

producidas por las avenidas de los ríos. Involucra proyectos hidráulicos de aprovechamientos multisectoriales y obras de encauzamiento y defensas ribereñas.

- **Acciones de prevención contra las inundaciones.** Consideran la identificación de puntos críticos de desbordamiento por la recurrencia de fenómenos hidrometeorológicos y de eventos extremos, que hacen necesaria la ejecución de actividades permanentes de descolmatación de cauces, mantenimiento de las pendientes de equilibrio y construcción de obras permanentes de control y corrección de cauce.
- **Acciones estructurales y no estructurales para el control de avenidas.** Permitan el control, prevención y mitigación de los efectos de los fenómenos naturales destinados a la protección de los bienes asociados al agua naturales o artificiales, tierras, poblaciones aledañas, vías de comunicación e infraestructura.
- **Acciones no estructurales.** Constituye la zonificación de zonas de riesgo; sistema de alerta temprana; operación de embalses y presas derivadoras en épocas de avenidas.
- **Acciones estructurales.** Constituye obras de defensa, embalses de regulación, obras de defensas provisionales, defensas vivas obras de encauzamiento y otras obras afines.
- **Obras de defensa.** Constituyen obras de defensa las que se ejecutan en las márgenes de los cursos de agua, en una o en ambas riberas. Las obras de defensa ribereñas son las obras de protección de poblaciones, infraestructura de servicios públicos, tierras de producción y otras contra las inundaciones y la acción erosiva del agua
- **Embalses de regulación.** Constituyen obras indirectas de defensas, cuando su capacidad permita el control de avenidas o atenúe de manera significativa la magnitud de las crecientes.

- **Obras de defensas provisionales.** Son obras de defensas provisionales, aquellas que se llevan a cabo para controlar la inundación y erosión del agua, y que por su carácter de expeditivas no ofrecen razonable seguridad en su permanencia. Caben en esta clasificación las obras de defensa que se ejecutan en situaciones de emergencia.
- **Defensas vivas.** Constituyen defensas vivas, la vegetación natural que se desarrolla en las riberas y márgenes de los álveos, así como la sembrada por el hombre para procurar su estabilización.
- **Obras de encauzamiento.** Constituyen obras de encauzamiento las que se ejecutan en las márgenes de los ríos en forma continua para formar un canal de escurrimiento que permita establecer el cauce del río o quebrada dentro de una zona determinada. En principio, las obras de encauzamiento tienen prioridad sobre las de defensa para la solución integral de los problemas creados por las avenidas extraordinarias.
- **Dique con enrocado.** Son medidas estructurales permanentes paralelas al flujo del agua, que se construyen en la margen del cauce del río. Conformado a base de material de río dispuesto en un cuerpo de forma trapezoidal compactado y revestido con roca en su cara húmeda. Permite contrarrestar los efectos erosivos del río.
- **Muro de gaviones o dique con gaviones.** Estructuras flexibles permanentes y paralelas al flujo del, que se construyen en la margen del cauce del río. Construidos con cajas de malla hexagonal tejida a doble torsión, compuesto de alambre galvanizado. Son colocados uno tras otro y uno sobre otro, llenados con cantos rodados que se encuentran en los cauces de los ríos. Son apropiados en zonas de ríos con pendiente suave y baja velocidad. Los gaviones son paralelepípedos rectangulares a base de un tejido de alambre de acero, el cual lleva tratamientos especiales de protección como la galvanización y la plastificación. Tiene las siguientes ventajas:

Durabilidad. La triple capa de zinc o “galvanización pesada”, aseguran una buena protección de PVC, el cual es recomendado en casos de corrosión

severa.

Economía

La facilidad de armado de los gaviones hace que no requieran mano de obra especializada. Las herramientas son simples (cizallas, alicates, etc.). Las piedras de relleno son extraídas del mismo lugar de la obra.

Resistencia

Los materiales de los gaviones cumplen con los estándares internacionales de calidad más exigente, asegurando de esta forma un gavión 100% confiable.

Versatilidad

Los materiales de los gaviones permiten que su construcción sea de manera manual o mecanizada en cualquier condición climática, en presencia de agua o en lugares de difícil acceso. Su construcción es rápida y entra en funcionamiento inmediatamente después de construido, permite su ejecución por etapas y una rápida reparación si se produjera algún tipo de falla.

Estética

Los Gaviones se integran de forma natural a su entorno, permitiendo el crecimiento de vegetación conservando el ecosistema preexistente.

Permeabilidad

Los gaviones al estar constituidos por malla y piedras, son estructuras altamente permeables, lo que impide que se generen presiones hidrostáticas para el caso de obras de defensas ribereñas.

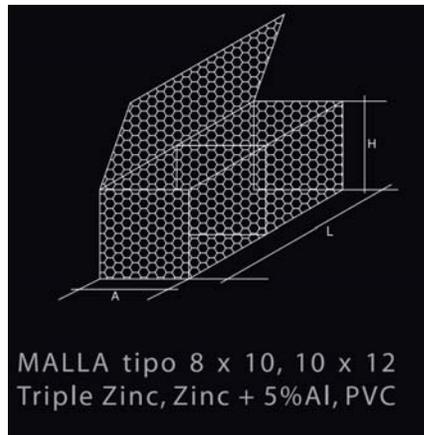


Figura 2. Gaviones tipo caja
Fuente CIDELSA

- **Diques con colchones antisocavantes de mallas.** Son medidas estructurales permanentes paralelas al flujo del agua, que se construyen en la margen del cauce del río. Consiste en un cuerpo compactado y protegido con mallas de alambre tipo colchón llenados en base a cantos rodados. Es recomendable emplear en tramos en tangente o curvas amplias de zonas por proteger o que hayan sido erosionados.

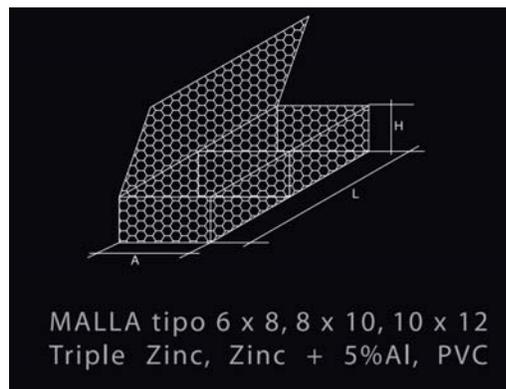


Figura 3. Gaviones tipo colchón
Fuente CIDELSA

- **Espigones.** Son estructuras permanentes y trabajan en conjunto, son empleados, cuando se desee orientar en forma convergente los cursos de agua o existan cauces demasiado amplios y de fácil erosión. Son ubicados en forma transversal al flujo del agua y pueden ser con roca o malla de gaviones.

- **Barcas, caballetes, gallineros.** Son estructuras temporales de forma paralela al flujo del agua, constituidos con troncos amarrados con alambre y una plataforma sobre la cual se colocará de preferencia cascote o rocas de 8 pulgadas de diámetro para dar estabilidad en longitudes continuas.
- **Cauce o álveo.** Continente de las aguas durante sus máximas crecidas, constituye un bien de dominio público hidráulico.
- **Riberas.** Áreas de los ríos, arroyos, torrentes, lagos y lagunas, comprendidas entre el nivel mínimo de sus aguas y el nivel de su máxima creciente. No se consideran las máximas crecidas registradas por eventos extraordinarios, constituye un bien de dominio público hidráulico.
- **Faja marginal.** Área inmediata superior al cauce o álveo de la fuente de agua, natural o artificial, en su máxima creciente, sin considerar los niveles de las crecientes por causas de eventos extraordinarios, constituye un bien de dominio público hidráulico.



CAPITULO II

Información básica de la cuenca

INDICE

CAPITULO II	18
INFORMACION BASICA DE LA CUENCA	18
2.1 Generalidades	18
2.1.1 <i>Ubicación</i>	<i>18</i>
2.1.2 <i>Vías de comunicación</i>	<i>19</i>
2.2 Características geomorfológicos.....	20
2.2.1 <i>Área de la cuenca (A).....</i>	<i>20</i>
2.2.2 <i>Perímetro de la cuenca (P).....</i>	<i>20</i>
2.2.3 <i>Longitud del cauce principal (L).....</i>	<i>20</i>
2.2.4 <i>Ancho promedio de la cuenca (Ap).....</i>	<i>20</i>
2.2.5 <i>Pendiente predominante del cauce y de la cuenca.....</i>	<i>22</i>
2.2.6 <i>Altitud media. (Hmd).....</i>	<i>24</i>
2.2.7 <i>Coefficiente de compacidad (Kc).....</i>	<i>21</i>
2.2.8 <i>Factor de forma (Kf).....</i>	<i>22</i>
2.3 Características climatológicas.....	24
2.3.1 <i>Precipitación.....</i>	<i>25</i>
2.3.2 <i>Temperatura.....</i>	<i>25</i>
2.3.3 <i>Humedad relativa (HR).....</i>	<i>26</i>
2.3.4 <i>Evaporación.....</i>	<i>26</i>
2.4 Red de drenaje	26
2.5 Zonas de vida	30
2.6 Características socio-económico	31
2.7 Evaluación e inventario de las obras de protección	31

Listado de cuadros

CUADRO 1. CLASES DE PENDIENTE, VAN ZUIDAM.....	23
CUADRO 2. CARACTERIZACIÓN DE LA PENDIENTE DE UNA CUENCA POR HERAS	23
CUADRO 3. PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA DEL RÍO PIURA.....	24
CUADRO 4. TIPOS DE CLIMA EN LA CUENCA DEL RÍO PIURA	25
CUADRO 5. RELACIÓN DE ESTRUCTURAS DE DEFENSA RIBEREÑA	32

Listado de figuras

FIGURA 1. UBICACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO PIURA.....	19
FIGURA 2. PENDIENTE DE LA CUENCA DEL RÍO PIURA.....	24
FIGURA 3. RÍO PIURA, AGUAS ARRIBA DE LA PRESA LOS EGIDOS	28
FIGURA 4. RÍO PIURA A LA ALTURA DE LA CONFLUENCIA CON EL RÍO BIGOTES	28
FIGURA 5. LAGUNA ÑAPIQUE CHICO.....	29
FIGURA 6. RED DE DRENAJE NATURAL DE LA CUENCA DEL RÍO LURÍN	29
FIGURA 7. ZONAS DE VIDA DE LA REGIÓN PIURA	30

CAPITULO II

INFORMACION BASICA DE LA CUENCA

2.1 Generalidades

2.1.1 Ubicación

La cuenca del río Piura tiene 10872.09 Km², está ubicada en la vertiente del Pacífico entre las coordenadas: 4° 42', 5°45' Latitud Sur y 79° 29', 81°00' Longitud Oeste; delimitado por el Este con la Cordillera Occidental, por el Sur con la cuenca Cascajal y la Intercuenca 13779; por el Norte con las cuencas Chira y por el Oeste con las Intercuencas 13779 y 1379, desembocando en el Estuario de Virrilá y finalmente el Océano Pacífico.

Las principales subcuencas de la margen derecha son: Chignia, Huarmaca, Pata-Pusmalca, Bigote, Corral del Medio, La Gallega, Charanal-Las Damas, Yapatera, San Francisco- Carneros. Las principales subcuencas de la margen izquierda son: Guarabo-Río Seco de Hualas, La Matanza – Totoritas, Tablazo Margen Izquierda y en la parte baja la cuenca del Bajo Piura.

El Río Piura nace a 3644 m.s.n.m., en la divisoria con la cuenca del río Huancabamba, el cauce principal tiene una longitud aproximada de 280 Km. Aguas arriba de la ciudad de Piura se ha construido en el cauce del río Piura, la Presa derivadora Los Ejidos que capta las aguas provenientes de Poechos y las nacientes del río Piura, derivándolas por el canal Biaggio Arbulú para irrigar el valle del Bajo Piura¹.

¹ Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos de la cuenca Chira-Piura, anexo 4: caracterización física y usos del suelo, ANA 2014).

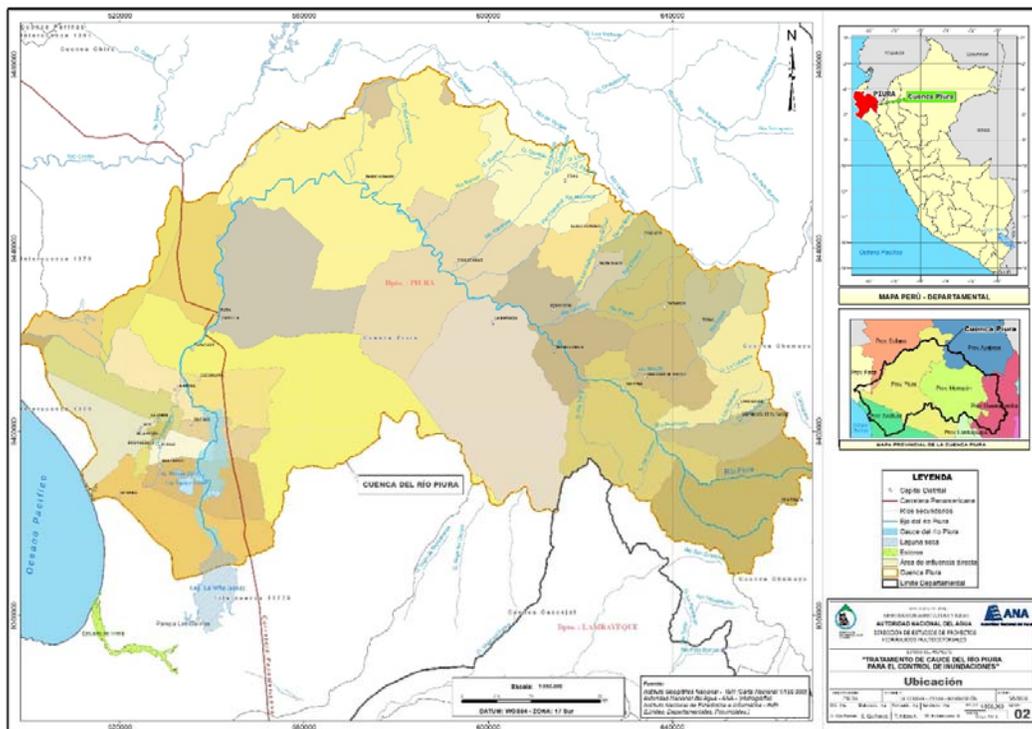


Figura 1. Ubicación de la cuenca del río Piura
Fuente: Elaboración propia

2.1.2 Vías de comunicación

En el Departamento de Piura el principal medio de transporte es el terrestre, las vías que comunican a las capitales de provincias son asfaltadas, a excepción de Ayabaca y Huancabamba, que son afirmadas.

La Carretera Panamericana permite interconectar las principales ciudades del departamento de Piura con las capitales de las regiones del norte y sur del país. También permite la articulación del Perú con los países vecinos del norte Ecuador, Colombia y Venezuela.

A través del eje transversal Paita-Piura-Olmos-Bagua-Tarapoto-Yurimaguas y ramal Bagua-Saramiriza, mantiene una estrecha articulación con los departamentos de Cajamarca, Amazonas, San Martín y Loreto.

Cuenta con dos (02) aeropuertos ubicados en Piura y Talara, además un campo de aterrizaje en Huancabamba, que no está en funcionamiento debido a que no hay la demanda suficiente para la operación de aviones comerciales.

2.2 Parámetros de la cuenca

PARÁMETROS BÁSICOS

2.2.1 Área de la cuenca (A).

Está definida como la proyección horizontal de toda el área de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural.

2.2.2 Perímetro de la cuenca (P).

El perímetro de la cuenca o la longitud de la línea de divorcio de la hoya es un parámetro importante, pues en conexión con el área nos puede decir algo sobre la forma de la cuenca.

2.2.3 Longitud del cauce principal (L).

Es la longitud mayor de recorrido que realiza el río, desde la cabecera de la cuenca, siguiendo todos los cambios de dirección o sinuosidades, hasta un punto fijo de interés, puede ser una estación de aforo o desembocadura, expresado en unidades de longitud.

2.2.4 Ancho promedio de la cuenca (Ap).

Relación entre el área de la cuenca y la longitud del cauce principal, cuya expresión es la siguiente:

$$Ap = A / L$$

Donde:

Ap = Ancho promedio de la cuenca (km).

A = Área de la cuenca (km²).

L = Longitud del cauce principal (km).

2.2.5 Desnivel altitudinal (DA)

Es el valor de la diferencia entre la cota más alta de la cuenca y la más baja. Se relaciona con la variabilidad climática y ecológica puesto que una cuenca con mayor cantidad de pisos altitudinales puede albergar más ecosistemas al presentarse variaciones importantes en su precipitación y temperatura:

$$DA = HM - Hm$$

Donde:

HM : Cota mayor

Hm : Cota menor

PARÁMETROS DE FORMA (MORFOLOGÍA)

La forma de una cuenca es determinante de su comportamiento hidrológico (cuencas con la misma área pero de diferentes formas presentan diferentes respuestas hidrológicas–hidrogramas diferentes por tanto- ante una lámina precipitada de igual magnitud y desarrollo), de ahí que algunos parámetros traten de cuantificar las características morfológicas por medio de índices o coeficientes. Los parámetros de forma principales son: Coeficiente de Gravelius-compacidad y Rectángulo equivalente y factor de forma.

2.2.6 Coeficiente de compacidad o Gravelius (Kc).

Este está definido como la relación entre el perímetro P y el perímetro de un círculo que contenga la misma área de la cuenca hidrográfica. Haciendo uso de la relación.

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

De la expresión, Kc puede ser mayor o igual a 1, y se incrementa con la irregularidad de la forma de la cuenca.

Una cuenca de forma circular posee el coeficiente mínimo igual a 1 y tiene mayor tendencia a las crecientes en la medida que el valor de Kc se aproxima a la unidad; cuando se aleja de la unidad, presenta una forma más irregular con relación al círculo.

Cuando:

Kc = 1 : tiempo de concentración menor, cuenca circular, mayor tendencia a crecientes;

Kc = 2 : tiempo de concentración mayor, cuenca de forma alargada, menor tendencia a crecientes.

2.2.7 Factor de forma (Kf)

Se define como el cociente entre el ancho promedio del área de la cuenca y la longitud. Haciendo uso de la relación.

$$Ff = \frac{Am}{L} = \frac{A/L}{L} = \frac{A}{L^2}$$

Donde:

A = Área de la cuenca (km²).

L = Longitud de cauce principal de la cuenca (km).

Explica que la cuenca es de forma alargada, se espera una respuesta moderada a las inundaciones debido a las precipitaciones

PARÁMETROS DE RELIEVE

El relieve de una cuenca tiene más influencia sobre la respuesta hidrológica que su forma; podemos decir que a mayor relieve o pendiente la generación de escorrentía se produce en tiempos menores.

Los parámetros de relieve principales son: pendiente media del cauce (Ic), pendiente media de la cuenca (j), curva hipsométrica, histograma de frecuencias altimétricas y altura media (H).

2.2.8 Pendiente media del cauce (Ic)

Relaciona la altitud máxima (HM), la altitud mínima (Hm) y la longitud del río, a través de la siguiente relación.

La pendiente del cauce se calcula con la siguiente relación:

$$Ic = \frac{HM - Hm}{1000 \times L}$$

2.2.9 Pendiente media de la cuenca (J)

La pendiente media de la cuenca depende de la configuración del terreno y es aquel parámetro que controla la velocidad con que se dará la escorrentía superficial en dicha cuenca, poder de arrastre y erosión sobre la cuenca.

Van Zuidam (1986) propone una categorización de la pendiente de la cuenca

(cuadro 1).

Según Heras, propone una categorización del relieve, según la pendiente del terreno (cuadro 2).

Cuadro 1. Clases de pendiente, Van Zuidam

Clase de pendiente		Condiciones del terreno
(°)	(%)	
0-2	0-2	Planicie, sin denudación apreciable.
2-4	2-7	Pendiente muy baja, peligro de erosión.
4-8	7-15	Pendiente baja, peligro severo de erosión.
8-16	15-30	Pendiente moderada, deslizamientos ocasionales, peligro de erosión severo
16-35	30-70	Pendiente fuerte, procesos denudacionales intensos (deslizamientos), peligro extremo de erosión de suelos.
35-55	70-140	Pendiente muy fuerte, afloramientos rocosos, procesos denudacionales intensos, reforestación posible.
> 55	> 140	Extremadamente fuerte, afloramientos rocosos, procesos denudacionales severos (caída de rocas), cobertura vegetal limitada.

Cuadro 2. Caracterización de la pendiente de una cuenca por Heras

Pendiente en %	Tipo de terreno
2	Llano
5	Suave
10	Accidentado medio
15	Accidentado
25	Fuerte Accidentado
50	Escarpado
> 50	Muy escapado

En la figura 5, se muestra la distribución de la pendiente de la cuenca del río Piura.

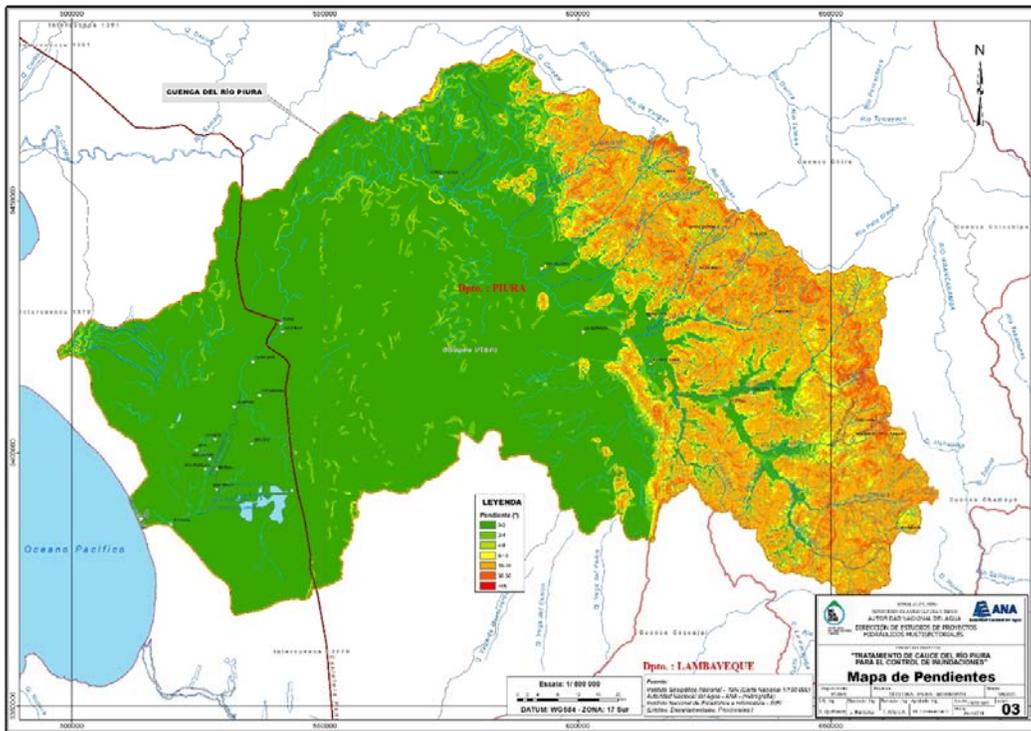


Figura 2. Pendiente de la cuenca del río Piura

2.2.10 Altitud media. (Hmd).

Se obtiene de la siguiente expresión:

$$Hmd = (HM + Hm)/2$$

En el cuadro 2, se muestra los parámetros de la cuenca.

Cuadro 3. Parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Piura

Nombre del cauce	Parámetros básicos					Parámetros de forma		Parámetros de relieve	
	Área (A) (Km ²)	Perímetro (P) (Km)	Longitud de cauce mayor (L) (Km)	Ancho promedio (Ap=A/L) (Km)	Altitud media de la cuenca m.s.n.m.	Coefficiente de compacidad (Kc) $Kc = \frac{P}{2\sqrt{A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$	Factor de forma (Ff) $Ff = \frac{Am}{L} = \frac{A/L}{L} = \frac{A}{L^2}$	Pendiente media del cauce (Ic) (%)	Pendiente media de la cuenca (%)
Río Piura	10872	655	304.9	35.7	465	1.8	0.12	0.011	13

Fuente: elaboración propia-ANA

2.3 Características climatológicas

Según la Clasificación Climática (W. KOPPEN), el clima de la cuenca del río Piura corresponde a una zona sub-tropical, según Pettersen el clima es del tipo semi-

tropical costero y según W. Thornthwaite es semicálido. Está caracterizado por pluviosidad moderada y altas temperaturas, con pequeñas oscilaciones estacionales².

En el cuadro 4, se presenta los tipos de climas en la cuenca del río Piura.

Cuadro 4. Tipos de clima en la cuenca del río Piura

TIPO DE CLIMA	COBERTURA	RANGO ALTITUDINAL (msnm)
Cálido	Esperanza, Mallares, Lancones, Las Lomas, Timbes, Suyo, Paimas, Sausal de Culucán, Piura, Chulucanas, Tambogrande, Morropón	Menor de 1 000
Semicálido	Nazaino, Sapillica, Montero, Sicchez, Sechura	1 000 – 1 700
Templado Cálido	Palo Blanco, Lagunas, Pacaipampa	1 700 – 2 300
Templado Frio	Los Alisos, Minas, Sauce, Ayabaca, Yangana, Pacaypampa	2 300 – 3 000
Semifrío	Arrendamiento, Las Pircas, Talaneo	3 000 – 3 500
Frio Moderado	Las cumbres más altas de la cuenca	Mayor de 3 500

Fuente: Autoridad Nacional del Agua, 2012

2.3.1 Precipitación.

El régimen de lluvias en las cuencas puede clasificarse en tres tipos:

- La zona baja entre las curvas de nivel 0,0 y 80 msnm con precipitaciones escasas del orden de 10 a 80 mm anuales (Ene-Abr).
- La franja ubicada entre los 80 y 500 msnm, donde las lluvias registradas son del orden de los 100 y 600 mm (Dic-May).
- La franja ubicada desde los 500 msnm hasta la línea divisoria de aguas de las 2 cuencas, con lluvias promedios anuales que varían entre 700 y 1100 mm, (Ene-May)².

2.3.2 Temperatura

La temperatura media anual en estas cuencas para las zonas baja y media tiene valores similares de 24°C, luego decrece en las cuencas altas con registros hasta

² Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos de la cuenca Chira, Autoridad Nacional del Agua, 2012

de 13°C. Los valores máximos puntuales se presentan entre las 13 y 15 horas, alcanzando 38°C en las zonas bajas (Febrero o Marzo) y de 27°C en la zona alta. Los mínimos se producen en los meses de Junio a Agosto, alcanzando 15°C en la Costa, bajando hasta 8°C en los meses de Junio-Septiembre en la parte alta³.

2.3.3 Humedad relativa (HR)

En la parte baja de los valles la humedad relativa tiene un comportamiento similar al régimen térmico, con tendencia a mantener valores mensuales comprendidos entre 67% y 73%. Este rango es superado en los meses con lluvias en años de Niño intenso, con valores que llegan hasta 91%.

La parte media de las cuencas presentan características similares a la parte baja, no así en la parte alta cuyos valores de humedad relativa fluctúan entre 70% y 95%. En esta zona los valores más bajos se dan en los meses de Julio y Agosto³.

2.3.4 Evaporación

Los valores de evaporación son medidos en tanques evaporímetros Clase "A". Debido a la incidencia directa de la radiación solar por ubicación geográfica en las zonas bajas de las cuencas alcanzan aproximadamente 2 500 mm/ año, en la zona media varía de 2 350 a 2 500 mm/año y en la zona alta se registra una variación promedio anual de 1 100 a 1 350 mm/año. Cabe mencionar que los mayores valores de evaporación, se presentan en el período Diciembre-Abril en la Costa y en el período de Julio-Octubre en la sierra³.

2.3.5 Horas de Sol

En la parte baja de las cuencas el valor medio anual de horas de sol alcanza 7,0 horas, en la parte media y alta 6,1 y 5,2 respectivamente. Los máximos valores se presentan en los meses de Agosto - Diciembre, disminuyendo en los meses de Enero-Marzo. Las horas máximas y mínimas diarias registradas se dan sólo en la parte alta, correspondiendo los valores de 10,1 y 0,7 respectivamente³.

2.4 Red de drenaje

- a. Río Piura**, de acuerdo a la información procesada de imágenes satelitales, tiene una longitud de 304.91 Km (desde su nacimiento hasta la laguna La Niña,

³ Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos de la cuenca Chira, Autoridad Nacional del Agua, 2013

pasando por la Laguna Ramón), nace por la confluencia de los ríos Chignia por la margen izquierda y el río Chalpa por la margen derecha, a una altitud de 3250 m.s.n.m. Tiene una pendiente promedio de 0.0064; en la parte alta de la cuenca hasta Tambogrande la pendiente promedio es de 0.0185, en la parte media hasta la presa Los Egidos, la pendiente promedio es de 0.00044 y en la parte baja hasta la laguna La Niña, la pendiente promedio es de 0.00036.

Afluentes principales

- **Río Pusmalca**, ubicado en la margen derecha, es conformado por las quebradas Los Potreros y San Antonio, es límite entre el distrito de San Miguel De El Faique y el distrito de Canchaque.
- **Río Bigote**, ubicado en la margen derecha, es conformado por el río Sapce y la quebrada La Cabrería, la naciente está a una altitud de 3050 m.s.n.m.
- **Río Corrales**, se ubica en la margen derecha y es conformado por los ríos Las Gallegas y Corrales, éste último lo conforman por los ríos Chalaco y Piscan.
- **Río Charanal**, ubicado en la margen derecha y está conformado por la quebrada Jahuay y el río Huaitaco.
- **Río Yapatera**, conformado por las quebradas Pariguanos, Challegrande y Panaña-Liza, en la margen derecha.
- **Río Sancor**, ubicado en la margen derecha, sus principales afluentes son las quebradas Soccha, Ceybal y La Pareja, nace a la altura de las localidades de Soccha, Casa Quemada y Huar Huar.
- **Quebrada San Francisco**, ubicada en la margen derecha, tiene como afluentes las quebradas de Sacarrón, Pueblo Nuevo, Carrizalillo y otros.
- **Quebrada Carnero**, ubicado en la margen derecha a la altura de la localidad de Tambogrande, lo conforman las quebradas Del Ereo, De La Noria y Del Repartidor.
- **Quebrada De Arcillas**, se ubica en la margen derecha y lo conforman las quebradas Del Cerro Negro y Colera.
- Por la margen izquierda se tiene como afluentes principales las quebradas Del Garabo y Río Seco.



Figura 3. Río Piura, aguas arriba de la presa Los Egidos



Figura 4. Río Piura a la altura de la confluencia con el río Bigotes

b. Lagunas, en la parte de la cuenca, existe la laguna Ñapique Chico, actualmente cuenta con volumen de agua, también se encuentran las lagunas Ñapique Grande y Ramón, actualmente no cuentan con almacenamiento de agua. También se suma la laguna La Ñina, que tampoco cuenta con almacenamiento de agua.



Figura 5. Laguna Napique Chico

En la figura 6, se muestra el mapa de hidrográfico de la cuenca del río Piura, se nota que la mayor cantidad de afluentes se encuentran en la margen derecha, por lo que se concluye que el mayor aporte de caudales en épocas de avenidas lo constituye de esta margen.

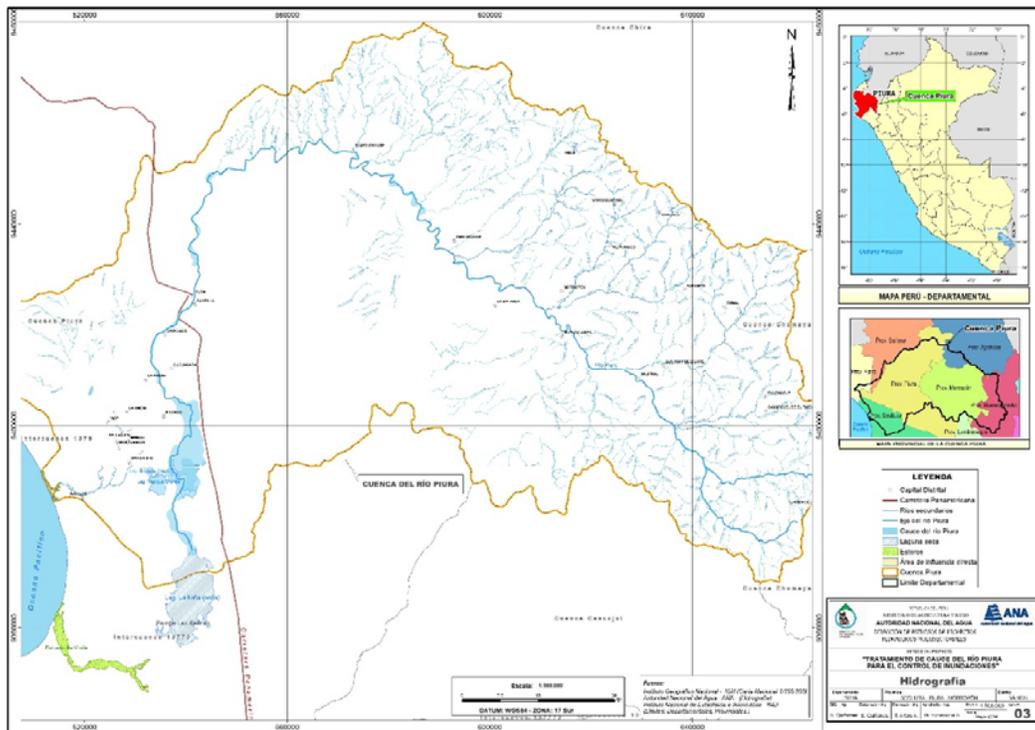
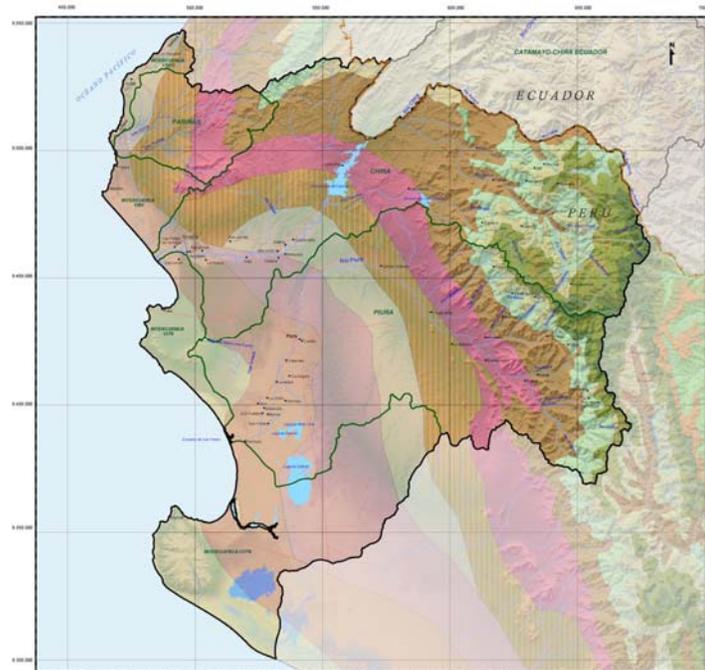


Figura 6. Red de drenaje natural de la cuenca del río Lurín

2.5 Zonas de vida

En la región Piura se han identificado 17 zonas de vida, desarrolladas en 5 pisos altitudinales⁴.

En la figura 7 se muestra un mapa con las 17 zonas de vida de la región Piura.



Leyenda:

- Bosque húmedo Montano Bajo Tropical
- Bosque húmedo Montano Tropical
- Bosque húmedo Premontano Tropical
- Bosque muy húmedo Montano Bajo Tropical
- Bosque muy seco tropical
- Bosque pluvial Montano Tropical
- Bosque seco Montano Bajo Tropical
- Bosque seco Premontano Tropical
- Bosque seco Tropical
- Desierto desecado Premontano Tropical
- Desierto perárido Premontano Tropical
- desierto superárido Premontano Tropical
- desierto superárido Tropical
- Matorral desértico Premontano Tropical
- Matorral transicional Tropical
- Monte espinoso Tropical

Figura 7. Zonas de vida de la región Piura

⁴ Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos de la cuenca Chira, Autoridad Nacional del Agua- Caracterización biológica y medioambiental

2.6 Características socio-económico

Existe una alta tasa de viviendas con características inadecuadas, con hacinamiento, las que no cuentan con desagüe de ningún tipo, donde además existe un alto porcentaje de niños(as) que no asisten en la escuela y hay alta dependencia económica.

La tasa de pobreza supera el 42,5% de la población. La tasa de médicos por cada 1000 habitantes es de 9,3%. La desnutrición infantil presenta una tasa del 24,4% con tendencia a ascender, siendo preocupante la frecuencia de las infecciones respiratorias agudas (IRA) y las enfermedades diarreicas en niños. La tasa de analfabetismo se sitúa en un 11,5%.

Aproximadamente el 68% de la población no cuenta con servicio de agua potable, especialmente la población de la Cuenca Media y Alta. A esto se suma que, la mayor proporción de hogares sin servicio higiénico se encuentra en el área rural (34,0%), utilizando letrina, pozo ciego o negro⁵.

2.7 Evaluación e inventario de las obras de protección

Previamente se ha establecido una ficha para el levantamiento de datos, la estrategia de búsqueda de las obras del inventario y el análisis de la información recolectada. El recorrido para el inventario se ha iniciado en la parte baja hacia la parte alta de la cuenca.

En el cuadro 5 se muestra la relación de las estructuras de defensas ribereñas, construidas con diferentes materiales como concreto, roca, gavión, mampostería, entre otros. En anexos, se muestran algunos mapas del inventario de las estructuras de defensa ribereña.

Estas estructuras fallan por asentamientos y deformaciones que experimenta la estructura debido a la socavación del suelo de fundación, o por excesiva exigencia que supera la elongación a que están sometidos los alambres electrosoldados en el caso de los gaviones antisocavantes.

⁵ Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos de la cuenca Chira, Autoridad Nacional del Agua

Cuadro 5. Relación de estructuras de defensa ribereña

RELACION DE ESTRUCTURAS DE DEFENSA RIBEREÑA										
N°	TIPO DE OBRA	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	NORTE	ESTE	LONGITUD (m)	MARGEN	MATERIAL	ESTADO
1	Dique de Tierra	Piura	Sechura, Piura	Cristo Nos Valga, Bernal, El Tallán, La Arena, Catacaos, Piura	9407627	535123	45447.0	D	Tierra Compactada	Bueno
2	Dique Revestido de Concreto	Piura	Piura	Piura	9426208	541601	2873.2	D	Concreto	Bueno
3	Dique de Tierra	Piura	Piura	Cura Mori, Catacaos, Castilla	9418818	536373	30087.5	I	Tierra Compactada	Bueno
4	Espigón de Roca	Piura	Piura	Cura Mori	9406984	535875	24.0	I	Roca acomodada	Bueno
5	Espigón de Roca	Piura	Piura	Cura Mori	9407072	535861	30.9	I	Roca acomodada	Bueno
6	Espigón de Roca	Piura	Piura	Cura Mori	9407162	535850	23.0	I	Roca acomodada	Bueno
7	Espigón de Roca	Piura	Piura	Cura Mori	9407229	535832	33.9	I	Roca acomodada	Bueno
8	Espigón de Roca	Piura	Piura	Cura Mori	9407300	535826	46.7	I	Roca acomodada	Bueno
9	Dique Revestido de Concreto	Piura	Piura	Castilla	9426049	541758	2727.2	I	Concreto	Bueno
10	Dique Enrocado	Piura	Piura	Tambo Grande	9454360	572542	390.9	D	Enchapado de roca	Bueno
11	Dique Enrocado	Piura	Piura	Tambo Grande	9454323	572992	292.9	D	Enchapado de roca	Bueno
12	Dique Enrocado	Piura	Piura	Tambo Grande	9454963	573621	555.5	D	Enchapado de roca	Bueno
13	Dique Enrocado	Piura	Piura	Tambo Grande	9454146	572407	550.0	I	Enchapado de roca	Bueno
14	Espigón de piedra enmallada	Piura	Morropón	Chulucanas	9440776	586904	32.5	D	Enmallado de piedra	Regular
15	Espigón de piedra enmallada	Piura	Morropón	Chulucanas	9440793	587040	37.2	D	Enmallado de piedra	Regular
16	Espigón de piedra enmallada	Piura	Morropón	Chulucanas	9440821	587168	35.7	D	Enmallado de piedra	Regular
17	Espigón de piedra enmallada	Piura	Morropón	Chulucanas	9440795	587321	27.5	D	Enmallado de piedra	Regular
18	Espigón de piedra enmallada	Piura	Morropón	Chulucanas	9440385	588232	35.7	D	Enmallado de piedra	Bueno
19	Espigón de piedra enmallada	Piura	Morropón	Chulucanas	9440270	588407	40.7	D	Enmallado de piedra	Bueno
20	Espigón de piedra enmallada	Piura	Morropón	Chulucanas	9440102	588478	43.5	D	Enmallado de piedra	Bueno
21	Espigón de piedra enmallada	Piura	Morropón	Chulucanas	9439901	588456	36.2	D	Enmallado de piedra	Bueno
22	Espigón de piedra enmallada	Piura	Morropón	Chulucanas	9439785	588439	38.1	D	Enmallado de piedra	Bueno
23	Espigón de piedra enmallada	Piura	Morropón	Chulucanas	9439682	588365	39.7	D	Enmallado de piedra	Bueno
24	Espigón de Roca	Piura	Morropón	Chulucanas	9439271	587657	34.7	I	Roca acomodada	Bueno
25	Espigón de Roca	Piura	Morropón	Chulucanas	9439152	587624	42.5	I	Roca acomodada	Bueno
26	Espigón de Roca	Piura	Morropón	Chulucanas	9439034	587630	53.3	I	Roca acomodada	Bueno
27	Espigón de Roca	Piura	Morropón	Chulucanas	9438866	587697	52.1	I	Roca acomodada	Bueno
28	Espigón de Roca	Piura	Morropón	Chulucanas	9438732	587816	52.2	I	Roca acomodada	Bueno
29	Dique Enrocado	Piura	Morropón	Chulucanas	9438892	587654	548.9	I	Enchapado de roca	Bueno
30	Espigón de Roca	Piura	Morropón	Chulucanas	9438627	587964	46.3	I	Roca acomodada	Bueno
31	Espigón de Roca	Piura	Morropón	Chulucanas	9438531	588118	45.6	I	Roca acomodada	Bueno
32	Espigón de Roca	Piura	Morropón	Chulucanas	9438421	588322	44.7	I	Roca acomodada	Bueno
33	Espigón de Roca	Piura	Morropón	Chulucanas	9438341	588462	32.9	I	Roca acomodada	Bueno
34	Espigón de Roca	Piura	Morropón	Chulucanas	9438390	588637	30.1	I	Roca acomodada	Bueno
35	Dique Enrocado	Piura	Morropón	Morropón	9424015	609043	87.5	D	Enchapado de roca	Bueno
36	Dique Enrocado	Piura	Morropón	Morropón	9423953	608975	78.0	I	Enchapado de roca	Bueno
37	Dique Enrocado	Piura	Morropón	Buenos Aires	9422952	610721	401.8	I	Enchapado de roca	Bueno
38	Dique Enrocado	Piura	Morropón	Buenos Aires	9417545	616662	230.4	I	Enchapado de roca	Bueno
39	Dique Enrocado	Piura	Morropón	Buenos Aires	9415304	617911	374.1	I	Enchapado de roca	Bueno
40	Dique Enrocado	Piura	Morropón	Buenos Aires	9415133	618553	185.0	D	Enchapado de roca	Bueno
41	Espigón de Roca	Piura	Morropón	Buenos Aires	9415135	618498	42.0	D	Roca acomodada	Bueno
42	Espigón de Roca	Piura	Morropón	Buenos Aires	9415112	618561	44.6	D	Roca acomodada	Bueno
43	Espigón de Roca	Piura	Morropón	Buenos Aires	9414583	618818	54.8	I	Roca acomodada	Bueno
44	Espigón de Roca	Piura	Morropón	Buenos Aires	9414401	619004	48.0	I	Roca acomodada	Bueno
45	Dique Enrocado	Piura	Morropón	Buenos Aires	9414041	619270	346.1	D	Enchapado de roca	Bueno
46	Espigón de Roca	Piura	Morropón	Buenos Aires	9413805	619074	50.3	I	Roca acomodada	Bueno
47	Espigón de Roca	Piura	Morropón	Buenos Aires	9413653	618945	42.9	I	Roca acomodada	Bueno
48	Dique Enrocado	Piura	Morropón	Buenos Aires	9413290	618839	260.8	I	Enchapado de roca	Bueno
49	Espigón de Roca	Piura	Morropón	Buenos Aires	9413042	619248	50.4	D	Roca acomodada	Bueno
50	Espigón de Roca	Piura	Morropón	Buenos Aires	9412873	619297	52.5	D	Roca acomodada	Bueno
51	Espigón de Roca	Piura	Morropón	Buenos Aires	9412695	619327	36.3	D	Roca acomodada	Bueno
52	Dique Enrocado	Piura	Morropón	Buenos Aires	9412419	619432	373.6	D	Enchapado de roca	Bueno
53	Dique Enrocado	Piura	Morropón	Salitral	9409058	628860	50.7	D	Enchapado de roca	Bueno

CAPITULO III

Geología y geotecnia



INDICE

CAPITULO III	36
GEOLOGÍA Y GEOTECNIA	36
3.1. GEOLOGÍA REGIONAL	36
3.1.1 <i>Unidades geomorfológicas</i>	36
3.1.2 <i>Litología y Estratigrafía</i>	38
3.1.3 <i>Geología Estructural</i>	39
3.2. SISMICIDAD	39
3.3. CATASTRO MINERO EN LA CUENCA DEL RÍO PIURA	40
3.4. PELIGROS GEOLÓGICOS REGISTRADOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO	41
3.4.1 <i>Inundaciones Fluviales</i>	44
3.4.2 <i>Erosión Fluvial</i>	45
3.4.3 <i>Flujos de Lodos y Detritos</i>	45
3.4.4 <i>Arenamientos</i>	45
3.4.5 <i>Derrumbe</i>	46
3.5. ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DE PROBLEMAS GEODINÁMICOS	46
3.5.1 <i>Medidas para Inundación y Erosión Fluvial</i>	46
3.5.2 <i>Medidas para flujos de lodos y detritos</i>	50
3.5.3 <i>Medidas para Arenamientos</i>	50
3.5.4 <i>Medidas para Derrumbes</i>	51
3.6. GEOTECNIA DEL ÁREA DE ESTUDIO	51
3.6.1 <i>Investigaciones Geotécnicas Zona I (Calicata C-1 y C-2)</i>	52
3.6.2 <i>Investigaciones Geotécnicas Zona II (Calicatas C-3 al C-6)</i>	55
3.6.3 <i>Investigaciones Geotécnicas Zona III (Calicatas C-7 al C-10)</i>	58
3.6.4 <i>Investigaciones Geotécnicas Zona VI (Calicatas C-11)</i>	62
3.6.5 <i>Condiciones Geotécnicas</i>	65
3.7. CANTERAS DE ENROCADO	65
3.7.1 <i>Cantera La Huaquilla</i>	66
3.7.2 <i>Cantera Carrasquillo</i>	67
3.8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
3.8.1 <i>Conclusiones</i>	68
3.8.2 <i>Recomendaciones</i>	69

Listado de cuadros

Cuadro 1. Unidades geomorfológicas cuenca del río Piura	37
Cuadro 2. Distribución por extensión de derechos mineros en la cuenca del río Piura	40
Cuadro 3. Peligros geológicos en el área de estudio	41
Cuadro 4. Ubicación de investigaciones geotécnicas en el cauce del río Piura	52
Cuadro 5. Parámetros geotécnicos Zona 1.....	54
Cuadro 6. Capacidad portante Zona I	55
Cuadro 7. Parámetros geotécnicos Zona II.....	57
Cuadro 8. Capacidad portante Zona II	58
Cuadro 9. Parámetros geotécnicos Zona III.....	60
Cuadro 10. Capacidad portante Zona III	61
Cuadro 11. Parámetros geotécnicos Zona IV	63
Cuadro 12. Capacidad portante Zona IV.....	64

Listado de figuras

Figura 1. Distribución de peligros geológicos por distritos en la cuenca del río Piura	44
Figura 2. Tipos de muros de contención	47
Figura 3. Modelo típico de un gavión	47
Figura 4. Modelo típico de un dique enrocado	48

CAPITULO III

Geología y geotecnia

3.1. Geología Regional

Geomorfológicamente, presenta dos zonas bien diferenciadas: la Occidental (Geoformas de Carácter Depositional y Agradacional), que constituye parte del Desierto de Sechura con terrenos plano-ondulados y la Oriental (Geoforma de Cracater Tectónico Degradacional y Erosional) conformada al inicio por promontorios de baja altura que ascienden en el "Macizo de la Cordillera" hasta 3 644 msnm.

En el territorio de la cuenca los grupos litológicos van desde el Precambriano caracterizado por rocas metamórficas del Complejo de Olmos; hasta el Cuaternario Reciente constituido por un conjunto de depósitos poco o nada coherentes (Depósitos aluviales).

En cuanto a la geodinámica, se han evaluado los procesos, tanto internos como externos, a fin de asegurar su seguridad física, en previsión de posibles riesgos. Son numerosos los tipos de fenómenos de geodinámica externa que han afectado a la cuenca, siendo las inundaciones el principal fenómeno que afecta las zonas planas, donde las cotas son menores a 25 msnm. Estas zonas son las más inundables y están relacionadas con el fenómeno meteorológico de "El Niño".

3.1.1 Unidades geomorfológicas

La cuenca del río Piura se ubica entre la pampa costanera y la cordillera occidental del Perú disectada por varios ríos y quebradas principalmente los ríos Chira, Piura y Huancabamba.

Los rasgos morfológicos observados en la cuenca del río Piura han sido desarrollados a través de la evolución producida por el tectonismo, el plutonismo y la erosión, factores que modelaron dicha región hasta alcanzar el actual paisaje morfo-estructural.

El cuadro 1 describe las unidades geomorfológicas observadas a lo largo del área de estudio, las mismas que han sido agrupadas según su origen.

Cuadro 1. Unidades geomorfológicas cuenca del río Piura

GEOFORMA	UNIDAD	SUBUNIDAD	DESCRIPCION	
DE CARÁCTER TECTÓNICO DEGRADACIONAL Y EROSIONAL	MONTAÑAS	Relieve Montañoso En Rocas Volcánico-Sedimentarias	Caracterizadas por presentar crestas altas e irregulares con pendientes que superan los 30° y alcanzan altitudes de 3400 m.s.n.m.	
		Relieve Montañoso En Rocas Metamórficas	Presentan laderas con pendientes moderadas a abruptas de cumbres redondeadas y alargadas, con altitudes de 3450 m.s.n.m.	
		Relieve Montañoso En Rocas Sedimentarias	Corresponden a rocas sedimentarias, presentan laderas con pendientes medias a fuertes.	
	COLINAS	Relieve De Colinas y Lomadas En Rocas Intrusivas	Se disponen como stocks y batolitos, de formas irregulares y alargadas, con cimas algo redondeadas en algunos casos, y laderas de pendientes bajas a medias.	
		Relieve De Colinas y Lomadas En Rocas Volcánicas	Presentan formas irregulares, cimas agudas y laderas con pendientes medias a altas. Se encuentra conformando las laderas hacia ambos márgenes del río Chipillico	
		Relieve De Colinas y Lomadas En Rocas Metamórficas	Corresponde a relictos de cadenas montañosas antiguas expuestas occidental de la región Piura. Presentan laderas con pendientes moderadas a abruptas con cimas agudas y alargadas.	
		Relieve De Colinas y Lomadas En Rocas Sedimentarias	Corresponde a floramientos de roca sedimentaria, reducidos por procesos denudativos, se encuentran conformando elevaciones alargadas, con laderas de baja a moderada pendiente.	
		Montes Isla	Corresponden a remanentes no reducidos de cordilleras, que configuran cerros aislados o pequeños grupos de cerros de corta longitud, resaltan por su forma y elevación dentro de la planicie que los rodea.	
	DE CARÁCTER DEPOSICIONAL Y AGRADACIONAL	PIEDEMONTES	Piedemonte Coluvio-Deluvial	Corresponde a las acumulaciones de ladera originadas por procesos de movimientos en masa del tipo deslizamientos, derrumbes, avalancha de rocas y/o movimientos complejos.
			Piedemonte Aluvial-Torrencial	Planicie inclinada extendida al pie de estribaciones andinas o los sistemas montañosos, formado por la acumulación de corrientes de agua estacionales, de carácter excepcional, asociados usualmente al fenómeno de El Niño.
Piedemonte Aluvial			Caracterizadas por planicies inclinadas, constituidas por una sucesión de abanicos aluviales o deluviales, que descienden de las colinas y montañas.	
Abanicos De Piedemonte			Corresponde a conos o abanicos de baja pendiente hacia el valle (2°-15°) formados por acumulaciones de material acarreado por flujos excepcionales, en la desembocadura de quebradas y ríos tributarios.	
PLANICIES Y DEPRESIONES		Llanura Aluvial o Cauce Inundable	Corresponden a superficies bajas, adyacentes a los fondos de valles principales y el mismo curso fluvial. Morfológicamente se distinguen como terrenos planos compuestos de material no consolidado, removible.	
		Terrazas Aluviales	Corresponden a terrenos localizados a los costados de la llanura de inundación o del lecho principal del río, a mayor altura representan niveles antiguos de sedimentación fluvial, los cuales han sido disectados por las corrientes como consecuencia de la profundización del valle.	
		Mantos De Arena	Geoforma conformada por la acumulación de arenas eólicas a manera de mantos, los cuales se encuentran cubriendo terrenos planos de la planicie costera; dentro de estos mantos se pueden encontrar pequeñas dunas.	
		Llanura o Planicie Costera	Geoforma que se extiende desde el borde litoral hasta los piedemontes y estribaciones andinas, poseen un relieve plano a plano-ondulado cuya pendiente es menor a 5°.	
		Lagunas, Embalses De Agua o Cuerpos De Agua	Unidad que reúne a todos los cuerpos de agua de origen natural y artificial.	

FUENTE: Elaboración Propia a partir de base de datos de INGEMMET

3.1.2 Litología y Estratigrafía

El área de estudio comprende una gran variedad de rocas con un rango comprendido entre el Precambriano al Cuaternario reciente. Las unidades litoestratigráficas observadas a lo largo del área de estudio corresponden a:

Complejo de Olmos Secuencia de esquistos, de naturaleza pelítica, con rumbo E-O a NE-SO. Los afloramientos más extensos están circunscritos en el sector oriental de la cuenca en los distritos de Yamango, Buenos Aires, Lalaquiz, San Juan de Bigote y Salitral. Al Complejo de Olmos se le asigna una edad Precambriana.

Grupo Salas Secuencia de rocas metamórficas conformadas por filitas y tobas pizarrosas. Los afloramientos del Grupo Salas pueden ser observados hacia el Este de la cuenca del río Piura en los distritos de Morropón, La Matanza, Salitral, Canchaque y San Miguel del Faique, entre otros.

Formación Río Seco Constituida por bancos de cuarcitas color gris oscuras a negruzcas, bastante recristalizadas y con abundantes segregaciones de cuarzo lechoso. Encontrándose bien expuesta en el caserío Río Seco cerca a la carretera Morropón – Huancabamba.

Grupo Goyllarizquisga Compuesta predominantemente por cuarcitas bastante tectonizadas, expuestas en los sectores de: San Miguel de El Faique, Huarmaca y Buenos Aires.

Formación Chignia Secuencia de composición calcáreo-piroclástica, encontrándose intensamente comprimida presentando estratos estirados y ciertos niveles afectados por una marcada esquistosidad de fractura. Los afloramientos pueden observarse en el sector de Huarmaca hacia la margen izquierda del río Piura.

Formación Yapatera Secuencia de conglomerados diagenizados intercalados con areniscas tobáceas, debido a la oxidación del terreno donde aflora esta unidad tiene una coloración rojiza a violácea. Se encuentran expuestos hacia el NE de la localidad de Chulucanas.

Formación Tambogrande Conformada por bancos gruesos de areniscas semiconsolidadas, blanco - grisáceas, intercalados con niveles lenticulares de cenizas dacíticas, blancas, areniscas tobáceas, lodolitas gris y microconglomerados; en ciertos sectores estos últimos se hacen bastante considerables. Sus afloramientos se exponen a lo largo de la margen derecha del río Piura cerca de la localidad de Tambogrande.

Tablazo Lobitos secuencia conglomerádica poco consolidada, con rodados

subangulosos y de naturaleza variada; incluye formas faunísticas bien conservadas no fosilizadas, con presunta matriz bioclástica o areniscosa. Sus afloramientos pueden observarse en ambos márgenes del río Piura cerca a los distritos de Cristo nos Valga y Sechura.

Depósitos aluviales Los materiales depositados corresponden a conglomerados y fanglomerados polimícticos, poco consolidados con una matriz areniscosa o limoarcillosa, cuyas composiciones varían de acuerdo a los terrenos de donde provienen. Se pueden observar a lo largo del río Piura y sus afluentes.

Depósitos fluviales Constituidos por conglomerados inconsolidados, arenas sueltas y materiales limo-arcillosos; estos depósitos tiene mayor amplitud en los tramos de valle y llanura y son más importantes en el río Piura.

Depósitos Eólicos Los depósitos eólicos cubren gran parte del desierto de Sechura, cuya migración ha sido detenida por las estribaciones de la Cordillera Occidental y por río Piura; el movimiento de los mantos de arena de sur a norte y de suroeste a noroeste, ha originado la desviación del cauce del río Piura hacia el norte.

3.1.3 Geología Estructural

La cuenca del río Piura se encuentra conformada en el sector costero por las cuencas geológicas de Sechura, Lancones y Ñaupe; y en el sector andino por el Macizo de la Cordillera Occidental.

Las cuencas en el sector costero presentan fallamiento gravitacional o fallamiento en bloques característico del NorOeste Peruano. Información sísmica de reflexión realizada en la Cuenca de Sechura revela la presencia de suaves flexiones con ejes de rumbo NE-SO.

En el sector andino los fenómenos tectónicos han tenido una gran incidencia en la configuración fisiográfica actual, así las rocas más antiguas han soportado fenómenos tectónicos e intrusiones batolíticas han intruído a las rocas de esta área, estos procesos están relacionados a la deflexión de Huancabamba que afecta a la Cordillera Occidental.

3.2. Sismicidad

De acuerdo al Mapa de Zonificación Sísmica del Perú, según la Norma Técnica de Construcciones E-030, 1989), la Cuenca del río Piura se ubica en la Zona III, la cual se

caracteriza por una actividad sísmica Alta, se recomienda adoptar en los diseños Sismo-Resistentes, el siguiente parámetro:

$$\text{Factor de Zona} = 0.40 \text{ Factor (g)}$$

Las intensidades máximas que prevalecen en la cuenca del río Piura es del orden de VII y VIII (MM).

El entorno sismotectónico del Perú se caracteriza por la colisión y subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana, el mismo que dio origen a la aparición de la fosa peruana-chilena, a la Cordillera de los Andes, a los principales sistemas de fallas activas y a la ocurrencia continua de un gran número de sismos de diversas magnitudes. Estas características geomorfológicas, geológicas y geofísicas, permiten considerar al Perú como uno de los países de mayor riesgo sísmico en América Latina.

3.3. Catastro Minero en la Cuenca del río Piura

En base al “Catastro Minero Nacional” realizado y actualizado por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico INGEMMET, se ha generado el Mapa del Catastro Minero de la cuenca del río Piura, encontrándose en el área de estudio 436 derechos mineros que ocupan 308,753.23 hectáreas de la cuenca del río Piura.

La distribución por extensión de áreas con Derechos Mineros (Catastro al 09/05/2014) se detalla en el siguiente cuadro:

Cuadro 2. Distribución por extensión de derechos mineros en la cuenca del río Piura

NÚMERO DE DERECHOS MINEROS	ESTADO	DISTRITOS	HAS	TIPO DE SUSTANCIA
2	Cantera D.S. 037-96-EM	Castilla	12.93	No Metálica
32	Derecho Minero Extinguido	Tambogrande, Las Lomas, Chulucanas, La Matanza, Catacaos, otros.	14,300	No Metálica y Metálica
130	Derecho Minero en Trámite	Tambogrande, Las Lomas, Chulucanas, La Matanza, Catacaos, otros.	67,900	No Metálica y Metálica
272	Derecho Minero Titulado	Tambogrande, Canchaque, Chulucanas, la Unión, Sechura, Castillo, otros.	226,540.30	No Metálica y Metálica

FUENTE: Elaboración Propia a partir de base de datos de INGEMMET

Como se observa, las concesiones con Derechos Mineros Titulados ocupan la mayor extensión en la cuenca del río Piura, en comparación con los derechos mineros en Trámite y Extinguidos. El tipo de sustancia en exploración y/o explotación corresponde a sustancias metálicas (Minerales como: Oro, Cobre, Plata, Zinc, entre otros), y no metálicas (Materiales de construcción).

En el departamento de Piura se han identificado áreas restringidas a la actividad minera, entre ellas destacan: El Coto de Caza “El Angolo” y la zona reservada de “Illescas”, asimismo se tienen registrados 266 sitios arqueológicos.

3.4. Peligros Geológicos registrados en el Área de Estudio

En el área de estudio, se han registrado un total de 89 ocurrencias de peligros que corresponden a: inundación fluvial, erosión fluvial, flujos de lodos y detritos, arenamientos y derrumbes. Para la identificación de los peligros se realizó una recopilación usando la base georreferenciada de los peligros geológicos registrados por el INGEMMET, el siguiente cuadro muestra los peligros identificados:

Cuadro 3. Peligros geológicos en el área de estudio

N°	CODIGO	NORTE	ESTE	DISTRITO	PARAJE	PELIGRO
1	15081	9395473	535685	Bernal	Pampa Calixto y Alto de la Coronada	Arenamiento
2	30114	9396628	538807	Bernal	Pozo Oscuro antiguo	Inundación Fluvial
3	14840	9414700	619600	Buenos Aires	Cerro Piedras Gordas	Derrumbe
4	18610	9410945	621126	Buenos Aires	Km. 31+800 carretera Huancabamba - Hualas	Derrumbe
5	26188	9421446	611450	Buenos Aires	km. 14+587 Chulucanas - Morropon	Erosión Fluvial
6	7049	9412722	618907	Buenos Aires	Margen izquierda de la qda. Río Seco	Erosión Fluvial
7	14841	9410883	618908	Buenos Aires	Margen izquierda quebrada Carrizal	Erosión Fluvial
8	26189	9411214	620149	Buenos Aires	Margen izquierda del río Piura	Erosión Fluvial
9	11115	9414996	617378	Buenos Aires	Lindero del Ala	Flujo de Detrito
10	3302	9421462	611376	Buenos Aires	Cerro Iirrajon (km. 14+587)	Flujo de Detrito
11	29904	9420866	611601	Buenos Aires	Pueblo Nuevo (km. 15 + 2002 carretera a Morropón)	Flujo de Detrito
12	22380	9420346	612578	Buenos Aires	Pedregal	Flujo de Detrito
13	26366	9418664	614124	Buenos Aires	Km. 18+800	Flujo de Detrito
14	22381	9413313	618731	Buenos Aires	El Ala	Flujo de Detrito
15	29905	9411387	618433	Buenos Aires	Poblado Juan Velasco	Flujo de Detrito
16	18609	9410957	619708	Buenos Aires	Río Seco	Flujo de Detrito
17	7050	9410821	621392	Buenos Aires	Hualas	Flujo de Detrito
18	26365	9417736	614847	Buenos Aires	Sector Buenos Aires - Km. 19+140	Flujo de Lodo
19	22609	9445948	544544	Castilla	Hacienda San Vicente, margen izquierda río Piura	Erosión Fluvial
20	26426	9430916	543258	Castilla	Alto Mirador	Flujo de Lodo
21	11183	9439625	544678	Castilla	Quebrada de Pampa Papayo	Flujo de Lodo
22	29954	9413471	532956	Catacaos	Río Piura	Erosión Fluvial
23	26445	9417939	534001	Catacaos	Toma Cumbibira	Erosión Fluvial
24	15095	9416798	533843	Catacaos	Monte Suyon, La Rinconada	Inundación Fluvial
25	7079	9434800	590800	Chulucanas	Chulucanas	Erosión Fluvial
26	3329	9434200	592400	Chulucanas	Puente Cañará	Erosión Fluvial
27	7298	9430150	596000	Chulucanas	Río Piura, sector Tamarindo	Erosión Fluvial
28	30131	9430702	601973	Chulucanas	Quebrada de las Damas	Erosión Fluvial
29	18806	9432093	603961	Chulucanas	Quebrada de Las Damas	Erosión Fluvial
30	22400	9428650	593700	Chulucanas	Cerro Vicus Km. 202 +030	Flujo de Detrito
31	7299	9432265	603365	Chulucanas	San Jose de Chorro	Flujo de Detrito
32	22377	9448800	585900	Chulucanas	El Mellizo	Inundación Fluvial
33	29931	9444872	587155	Chulucanas	Quebrada de Paccha	Inundación Fluvial
34	10958	9435472	592758	Chulucanas	Río San Jorge	Inundación Fluvial
35	10953	9434890	591950	Chulucanas	Confluencia del río Piura con Chira	Inundación Fluvial
36	18640	9430684	595320	Chulucanas	Río Piura	Inundación Fluvial
37	18639	9433654	596858	Chulucanas	Río Charanal	Inundación Fluvial
38	7279	9392180	531602	Cristo Nos Valga	Laguna Napique Chico	Erosión Fluvial
39	22593	9392771	530342	Cristo Nos Valga	Río Tronadero	Inundación Fluvial
40	15082	9407099	535867	Cura Mori	Chato Chico	Erosión Fluvial

41	30115	9410625	534566	Cura Mori	Sector Cura Mori, margen izquierda río Piura	Erosión Fluvial
42	15083	9397843	543417	El Tallan	Sector Tabanco Km 966+360 carretera Panamericana	Erosión Fluvial
43	29926	9389982	642956	Huarmaca	Hualcas Alto	Flujo de Detrito
44	15080	9405220	536355	La Arena	Fundo La Joya	Erosión Fluvial
45	26420	9407853	534951	La Arena	Sector Chatlito	Erosión Fluvial
46	26364	9427702	595620	La Matanza	Km. 200+120	Flujo de Lodo
47	18793	9405405	529041	La Union	Sector Dos Altos	Arenamiento
48	18807	9428139	602145	Morropon	Margen derecha río Piura	Erosión Fluvial
49	11191	9427586	606322	Morropon	Margen derecha río Piura	Erosión Fluvial
50	3488	9424016	609047	Morropon	Puente Carrazquillo	Erosión Fluvial
51	30136	9429770	601599	Morropon	Margen izquierda de la Qda. de Las Damas	Flujo de Detrito
52	30132	9432000	603992	Morropon	Quebrada tributario de la margen izq. de Las Damas	Flujo de Detrito
53	30135	9428277	604568	Morropon	Franco Bajo	Flujo de Detrito
54	15108	9428034	605737	Morropon	Sector Franco Alto	Flujo de Detrito
55	30134	9430579	607592	Morropon	Quebrada Franco	Flujo de Detrito
56	7300	9429638	607850	Morropon	A 700 m de qda. Franco	Flujo de Detrito
57	22618	9428390	610636	Morropon	Quebrada El Cerezo	Flujo de Lodo
58	29955	9429816	542469	Piura	Piura	Inundación Fluvial
59	14909	9435800	540600	Piura	La Palma	Inundación Fluvial
60	3317	9393800	640250	Salitral	Hornopampa	Avalancha de Roca
61	11114	9410830	626684	Salitral	Río Piura - Carretera entre Malacasi y Tortola	Erosión Fluvial
62	10942	9408965	628898	Salitral	Puente Salitral - Río Piura	Erosión Fluvial
63	18622	9401709	633373	Salitral	Km. 49+040 carretera Morropon	Erosión Fluvial
64	7051	9409360	626862	Salitral	Malacasi	Flujo de Detrito
65	3303	9407426	629489	Salitral	Salitral	Flujo de Detrito
66	22386	9405928	630803	Salitral	Quebrada Pasmara	Flujo de Detrito
67	14851	9403449	631946	Salitral	Km. 880 Cerezo	Flujo de Detrito
68	18623	9402610	632618	Salitral	Palo Blanco km. 47+980	Flujo de Detrito
69	18621	9401494	633542	Salitral		Flujo de Detrito
70	29915	9402177	633078	Salitral	Salitral	Flujo de Detrito
71	3318	9399582	635397	Salitral	Cerral	Flujo de Detrito
72	14850	9400506	634652	Salitral	Quebrada La Tranca	Flujo de Detrito
73	29912	9397171	636640	Salitral	Quebrada del Garobo	Flujo de Detrito
74	10941	9394814	638433	Salitral	Quebrada Tutuno	Flujo de Detrito
75	26198	9399082	636623	Salitral	Km. 23+700 carretera Morropon - río Huarmaca	Inundación Fluvial
76	22385	9398776	638426	San Miguel De El Faique	Las Huacas km. 55+644 carretera Canchaque - Morropon	Flujo de Detrito
77	26186	9386384	520036	Sechura	Río Piura - Pte. Sechura	Inundación Fluvial
78	7306	9454657	557645	Tambo Grande	Río Piura, Hacienda Santa Agreda	Erosión Fluvial
79	10926	9454770	573563	Tambo Grande	Quebrada Carneros	Erosión Fluvial
80	7304	9454124	549157	Tambo Grande	Puente Valle Hermoso, Qda. Parales	Flujo de Detrito
81	7305	9455900	552900	Tambo Grande	Quebrada Honda	Flujo de Detrito
82	22625	9457800	555466	Tambo Grande	Quebrada Salto	Flujo de Detrito
83	15113	9460397	561981	Tambo Grande	Puente Manco Inca, quebrada Chica	Flujo de Detrito
84	30149	9459692	567591	Tambo Grande	Puente Pedregal I, quebrada de los Luises	Flujo de Detrito
85	26442	9458577	571768	Tambo Grande	Puente Pedregal II, Km 1059	Flujo de Detrito
86	26184	9454274	572812	Tambo Grande	Río Piura	Inundación Fluvial
87	22432	9401003	524816	Vice	Entrada a Vice - Quebrada Cornelio	Flujo de Detrito
88	22431	9402965	525076	Vice	Chalaco (entrada a Vice)	Flujo de Detrito
89	18667	9402816	527437	Vice	Quebrada Melliso	Inundación Fluvial

FUENTE: Elaboración Propia a partir de base de datos de INGEMMET

En base a la información recabada se observa que los distritos de: Salitral, Morropón, Chulucanas y Bernal han tenido una mayor ocurrencia de peligros geológicos tipo: erosión fluvial, inundación fluvial y flujos de lodos y detritos.

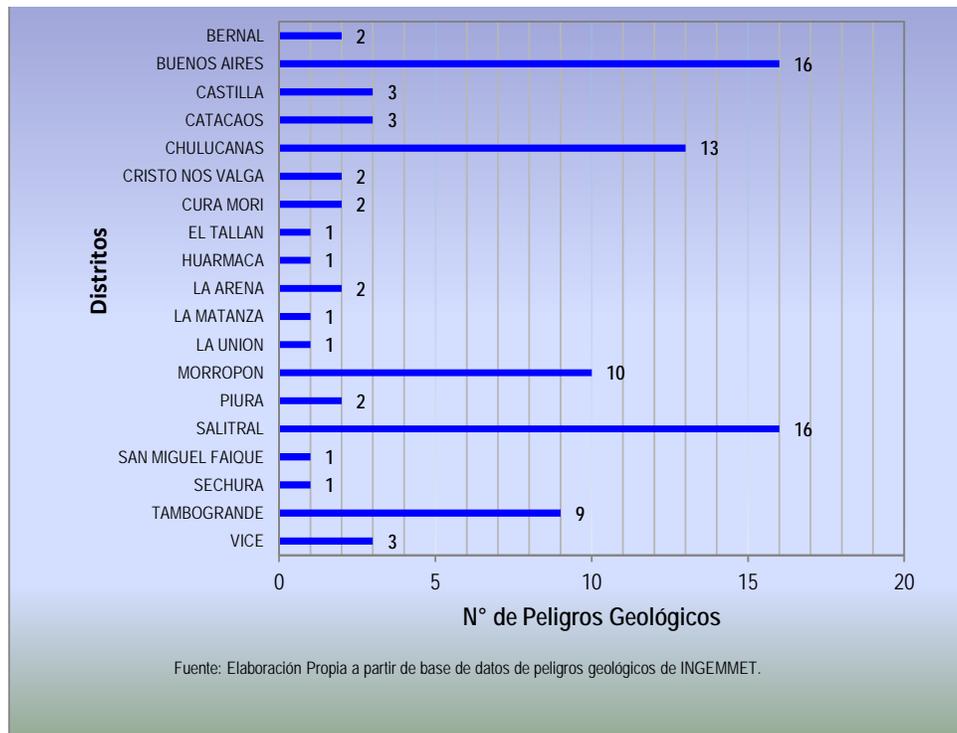


Figura 1. Distribución de peligros geológicos por distritos en la cuenca del río Piura

A continuación se hace una breve descripción de los peligros registrados en el área de estudio:

3.4.1 Inundaciones Fluviales

Son los principales fenómenos de geodinámica externa que afectan a la Cuenca, su ocurrencia tiene mayor incidencia en la cuenca baja, en el sector de la planicie costanera conocida como Desierto de Sechura.

El fenómeno de El Niño es el principal causante de las inundaciones, se manifiesta con la presencia de aguas muy cálidas frente al litoral, lluvias torrenciales y el colapso del ecosistema marino. Este fenómeno ocurre sobre todo en el Medio y Bajo Piura afectando zonas planas de la cuenca, constituida en gran parte por tablazos marinos y áreas planas depresionadas.

En el sector del Alto Piura las inundaciones tienen como causa directa las crecientes producidas durante el periodo lluvioso en los meses de Abril y Junio, en estos sectores el valle se ensancha y carece de terrazas altas que permitan encauzar sus descargas y evitar el desborde.

Otra causa de las inundaciones es la existencia de tierras bajas aledañas al cauce del río, tal como ocurre en el sector de la Laguna Ramón donde a pesar de haberse construido defensas ribereñas tienden a reducir su vida útil debido a la sedimentación del río y a su escasa gradiente.

3.4.2 Erosión Fluvial

Proceso de geodinámica externa cuya ocurrencia tiene como principales causas: el incremento brusco de sus descargas en cada temporada de lluvias y las variaciones de su dinámica fluvial; afectando obras de infraestructura vial y agrícola, campos de cultivo y viviendas que se ubican en las riberas.

3.4.3 Flujos de Lodos y Detritos

Fenómenos localizados en la cuenca alta del río Piura y sus principales afluentes, sus efectos además de ser locales generan situaciones de riesgo tales como: represamientos, inundaciones, erosión de riberas y desvíos del cauce del río, afectando a las obras de infraestructura vial, campos de cultivo, centros poblados, entre otros.

Las variables que determinan la ocurrencia de estos fenómenos son: las precipitaciones pluviales intensas, presencia de grandes masas de materiales sueltos en las vertientes y lecho de las quebradas, pendientes fuertes en las quebradas y terrenos.

3.4.4 Arenamientos

Este fenómeno de geodinámica externa está relacionado con la migración de arenas en la Cuenca Baja, como dunas – barkanas y Pur Pur, ocupando grandes extensiones de terreno en la Planicie costanera y la margen izquierda del valle del Medio y Alto Piura, cubriendo las terrazas marinas y las pequeñas cadenas de promontorios que limitan el flanco occidental del Valle. Su generación se debe a la acción de fuertes vientos y ausencia de vegetación (por acción de la naturaleza y del hombre).

Las zonas donde se producen este fenómeno son inestables y de gran riesgo para las obras proyectadas en ellas ya que originan problemas de cimentaciones de las obras de infraestructura así como la destrucción de la vegetación con tendencia a recubrir progresivamente poblaciones desprotegidas.

3.4.5 Derrumbe

Este fenómeno puede ser observado en el Alto Piura y sus principales afluentes, existen del tipo activo e inactivo. Su ocurrencia es debido a la fuerte pendiente de las vertientes en la parte media de los valles, la composición litológica de sus flancos, el fracturamiento y grado de alteración de las rocas que generan la acumulación de escombros, y el factor antrópico que al desarrollar actividades agrícolas, pecuarias y viales; altera el estado de equilibrio natural de los taludes.

3.5. Alternativas para el Manejo de Problemas Geodinámicos

Para el desarrollo de esta sección se ha considerado la información publicada por INGEMMET en los años 1994 y 2013 (Estudio Geodinámico de la Cuenca del Río Piura y Riesgo Geológico en la Región Piura).

Los factores naturales y antrópicos influyen en la inestabilidad de las laderas. Los factores naturales se encuentran ligados a las condiciones que presenta el terreno como: litología, pendientes del terreno, precipitaciones pluviales, movimientos sísmicos, entre otras. Mientras que los factores antrópicos relacionados a las actividades realizadas por el hombre como: agricultura, pastoreo, ocupación antrópica, construcción de carreteras, entre otros.

3.5.1 Medidas para Inundación y Erosión Fluvial

En los tramos del río, en los cuales actúa la erosión lateral e inundaciones, se pueden proteger mediante estructuras debidamente diseñadas, ubicadas y orientadas. Estas obras pueden ser:

- a. **Obras Marginales** Son estructuras de encausamiento contra crecidas o construcciones longitudinales, es decir en el mismo sentido de la corriente del río, que protege directamente la pendiente de la acción erosiva de la corriente. Se consideran las siguientes estructuras:

Muros de Contención. Dado su elevado costo, solamente en casos estrictamente necesarios y de acuerdo a las características del suelo y dinámica fluvial son recomendables los muros de contención, de hormigón o de hormigón armado, siendo adecuado para cualquier altura.

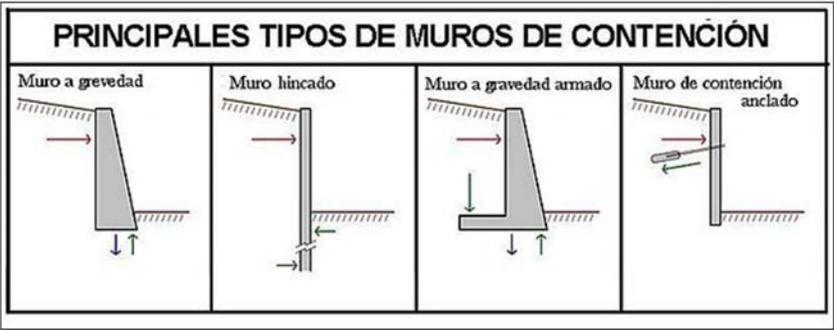


Figura 2. Tipos de muros de contención

Gaviones. Estas estructuras son adecuadas debido a sus características de flexibilidad, permeabilidad, alta resistencia mecánica, facilidad y rapidez de ejecución y principalmente por su bajo costo. Los gaviones utilizados pueden ser del tipo fuertemente galvanizado, en malla hexagonal a doble torsión.

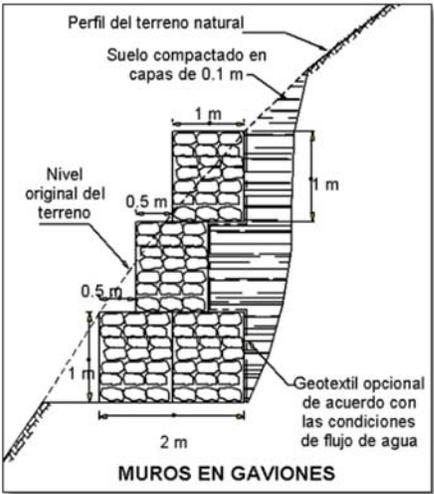


Figura 3. Modelo típico de un gavión

Enrocados Son estructuras de seguridad de márgenes formados por acumulación de piedras grandes de alta resistencia mayor de un metro, colocada en forma ordenada con una inclinación de 45° y construidas a lo largo de las orillas de los ríos.

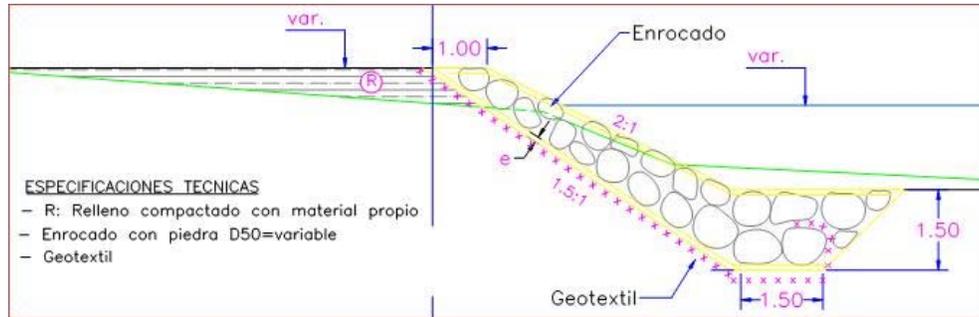


Figura 4. Modelo típico de un dique enrocado

- b. **Obras Paralelas.** Se ubican a una distancia determinada, paralelamente a la orilla, de modo que con esta estructura la corriente del río pierda su velocidad, así como parte de su fuerza erosiva, permitiendo de esta manera la deposición de los acarrees en el espacio comprendido entre el dique y la orilla del río.

A esta función contribuyen también los diques transversales, los que se disponen paralelamente entre sí uniéndolo con la orilla.

Diques Transversales. Son construcciones que se realizan sobre la corriente fluvial. Su fin es desviar la corriente de la orilla o retener los acarrees. Estas estructuras se podrán construir ya sea perpendicularmente a la dirección de la corriente o bien siguiendo un ángulo determinado, pueden ser; espigones disipadores de energía y espigones de sedimentación.

- Espigones disipadores de energía. Esta obra puede ser perpendicular u oblicua con respecto al flujo de la corriente y su objeto es disipar el flujo torrente que pasa cerca a la orilla del río hacia el eje principal central, mediante una estructura sumamente rígida capaz de amortiguar impactos y fricciones del flujo torrencioso. Su estructura será de concreto armado de alta resistencia, con núcleo formado por rieles de acero empotrado en la cimentación.
- Espigones de Sedimentación. Son estructuras ubicadas en forma escalonada paralelamente y espaciadas unos de otras. La estructura será de sección

trapezoidal construida de mampostería de piedra, cuyos parámetros serán asentados y emboquillados con mortero cemento-arena con núcleo constituido por material granular y piedras grandes. El objetivo de esta obra es provocar la acumulación de material que arrastre la corriente entre los espigones.

Encausamiento. Los trabajos comprendidos en esta actividad contemplan la excavación, remoción y transporte de material del fondo del lecho del río.

Tienen por objeto encausar y fijar en forma estable el curso del río, de tal manera que se mejoren las condiciones hidráulicas sobre todo durante las épocas de avenidas. Las secciones hidráulicas pueden ser de perfil trapezoidal o con suelos redondeado en forma de parábola cúbica. Este perfil posibilita una conducción compacta del agua sin formación de meandros y las excavaciones deberán ser refinadas de manera que en ningún punto de la sección excavada quede un desnivel mayor de 10 cm.

Todo encauzamiento del río debe proveer tanto el caudal medio como el caudal de crecidas.

Dragado. Por razones económicas, se deben realizar dragados sólo en los lugares en donde la fuerza de arrastre del río no alcance a labrar su propio cauce. El material de dragado sería utilizado para rellenar los antiguos brazos del río y para la construcción del perfil del caudal de crecida.

Regulación del Caudal. Significa la construcción de presas a fin de regular y represar el caudal de crecidas y a la vez detener el arrastre de material. Esta medida de protección es muy costosa y se justifica económicamente solo cuando simultáneamente se hace uso del agua represada con fines agrícolas, hidroeléctricos, piscícolas y recreacionales.

Medidas de Regulación en los Afluentes. Son diques contra crecidas, diseñados de acuerdo al mismo principio ya descrito con anterioridad. Hay embalses pequeños y medianos; debiendo tenerse en cuenta lo siguiente:

Deben ser ubicadas a lo largo de las quebradas, en forma escalonada y a una distancia determinada (10 a 20 m.), de acuerdo a las condiciones locales y haciendo una minuciosa investigación hidrológica y geomorfológica.

Representan una medida eficaz para la protección de los afluentes o quebradas subsidiarias contra la erosión que estas zonas suele ser pronunciada.

Su construcción es simple (de piedras, tierra, madera, etc) y no necesita de trabajos especiales.

Derivación de Cauces. En casos en que el río socava obras de infraestructura en su talud inferior y la otra orilla está constituida de roca firme, se puede desviar y encauzar el curso del río a esa orilla mediante trabajos con maquinarias pesadas y con la ayuda de espigones.

Forestación. Se sabe la importancia que tiene la forestación y reforestación como una medida eficaz de ayuda contra la erosión, por lo tanto es necesario sembrar árboles con eucaliptos, pinos, ciprés y otros en las orillas de los ríos y áreas aledañas, que al mismo tiempo redunden en beneficio económico de la comunidad.

3.5.2 Medidas para flujos de lodos y detritos

Una vez producido el huayco es difícil su control, por lo tanto las acciones deberán tomarse antes de que se produzca este fenómeno, mediante:

- La zonificación de áreas sensibles a la influencia de las precipitaciones pluviales o zonas desprevista de vegetación, luego consolidación de estas áreas mediante repoblación forestal o de bosques.
- En las quebradas con huaycos menores, proyectar la canalización y limpiar el cauce periódicamente.
- Construcción de diques reguladores o azudes, cuya ubicación debe estar en función de la morfología de la quebrada, pendiente, litología y clima.
- Desbroce de los materiales sueltos (desquinche) en los taludes y construcción de bancales, andenes, terrazas, etc., con eliminación de obstáculos en el curso de la quebrada (ensanche de pasos estrechos).
- En los conos deyección encausar el curso mediante estructuras transversales marginales, paralelas y diseñar debidamente las obras (puentes, alcantarillas, cruce de quebradas) para el paso normal del huayco.

3.5.3 Medidas para Arenamientos

La corrección de estos fenómenos, dada su gran magnitud, es casi imposible pero deberán tomarse medidas que impidan o detengan su avance; entre ellas se tienen:

- Instalación de estaciones de medición de vientos.
- Empezar campañas de forestación intensiva, a fin de contener el avance de las arenas en áreas con procesos de arenamiento.

3.5.4 Medidas para Derrumbes

Para la corrección de estos fenómenos se deben aplicar las siguientes medidas:

- Modificación del perfil del talud con corte y relleno.
- Mejoramiento de la red de drenaje superficial y subterráneo.
- Descarga del material inestable del talud, mediante la construcción de banquetes cuando el talud es mayor de 10.0 m. de altura.
- Sellado y apizonamiento de grietas.
- Inyección de grietas y de la superficie del talud afectado.
- Establecimiento de pantallas de protección en el pie del talud.
- Mejoramiento de la resistencia del terreno.
- Construcción de defensas y muros empleando gaviones.
- Sembrío de gramíneas, forestación y/o reforestación.

3.6. Geotecnia del Área de Estudio

En el área de estudio (riberas del río Piura), se realizaron investigaciones geotécnicas mediante 12 excavaciones exploratorias (calicatas) y 02 muestreos de roca; a fin de evaluar las propiedades físico-mecánicas de los materiales de cimentación y materiales a ser empleados en la construcción de las obras.

Las investigaciones tuvieron lugar en los sectores de: Nuevo Tallán, Chato Chico, Puente Independencia, Viduque-Simbila, Castilla, Cereza, Tambogrande, Qda. San Francisco, río Yapatera, Qda. Las Damas, Buenos Aires, Cantera Cerritos, Cantera Huaquillas y Cantera Carrasquillo.

Las muestras representativas de suelos y rocas fueron clasificadas, seleccionadas y enviadas al laboratorio de mecánica de suelos en la ciudad de Piura, para realizar los siguientes ensayos:

Cuadro 4. Ubicación de investigaciones geotécnicas en el cauce del río Piura

NOMBRE	UBICACIÓN	ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS			
		GRANULOMETRIA	CLASIFICACION SUCS	LIMITES DE ATTERBERG	DENSIDAD NATURAL
CALICATA 1	Nuevo Tallan	1	1	1	1
CALICATA 2	Chato Chico	1	1	1	1
CALICATA 3	Puente Independencia	1	1	1	1
CALICATA 4	Viduque - Simbila	1	1	1	1
CALICATA 5	Castilla	1	1	1	1
CALICATA 6	Cerezal	1	1	1	1
CALICATA 7	Tambogrande	1	1	1	1
CALICATA 8	Oda San Francisco	1	1	1	1
CALICATA 9	Rio Yapatera	1	1	1	1
CALICATA 10	La bocana	1	1	1	1
CALICATA 11	Buenos aires I	1	1	1	1

Fuente: Propia.

En base a los resultados del laboratorio de mecánica de suelos, las obras proyectadas se ubican en cuatro sectores, caracterizados por presentar materiales de cimentación de clasificación SUCS SP y CL, los mismos que se describen a continuación.

3.6.1 Investigaciones Geotécnicas Zona I (Calicata C-1 y C-2)

Localizada entre el poblado Sinchao y La Arena, se encuentra caracterizado por suelos arenosos de clasificación SUCS SP (arenas mal gradadas), incluye las calicatas C-1 y C-2.

Resultados de Laboratorio Los resultados de laboratorio de mecánica de suelos se detallan a continuación:

LOCALIZACIÓN	:	Nuevo Tallán	Chato Chico
CALICATA	:	C-01	C-02
PROFUNDIDAD DE EXCAVACIÓN	:	2.00 m	2.00 m
COORDENADAS ESTE (X)	:	543,425	536,621

COORDENADAS NORTE (Y)	:	9 397794	9,406,066
CLASIFICACION SUCS	:	SP	SP
NOMBRE CLÁSICO	:	Arenas mal gradadas, arenas con grava, poco o ningún fino	Arenas mal gradadas, arenas con grava, poco o ningún fino
CONTENIDO DE ARENA MEDIA	:	0.10	0.20
CONTENIDO DE ARENA FINA	:	99.43	92.87
CONTENIDO DE LIMO+ARCILLA	:	0.47	6.93
LIMITES DE ATTERBERG	:	NP	NP
HUMEDAD	:	10.85	0.11
DENSIDAD NATURAL	:	1.64 Tn/m ³	1.66 Tn/m ⁴

Análisis de Cimentación. Según la Norma NTE E.050 Suelos y Cimentación – Capitulo IV Cimentaciones Superficiales, la profundidad de cimentación mínima para el caso de construcción deberá ser de 1.00 metro de profundidad. Se adoptó calcular la capacidad admisible por corte local aplicando la teoría de Terzaghi con la siguiente formula:

$$q_{Ult} = 1.3 \cdot c \cdot N_c + D_f \cdot \gamma \cdot N_q + 0.4 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma$$

Donde:

- q_{Ult} : Capacidad última de carga
- q_{adm} : Capacidad admisible de carga
- F_s : Factor de seguridad
- γ : Densidad natural
- B : Ancho de la Zapata
- D_f : Profundidad de la cimentación de zapatas
- C : Cohesión
- $N_\gamma, N_c, N_q, N_\gamma$: Factores de Carga en Función del Ángulo de Fricción

En base a las investigaciones geotécnicas y ensayos de laboratorio de mecánica de suelos, se obtuvieron los siguientes parámetros geotécnicos para la Zona I.

Cuadro 5. Parámetros geotécnicos Zona 1

NOMBRE	UBICACIÓN	SECTOR	TIPO DE SUELO	PARAMETROS GEOTECNICOS		
				DENSIDAD (Tn/m ³)	ANGULO FRICCIÓN INTERNA ϕ (°)	COHESION c (Tn/m ³)
CALICATA 1	ZONA I	Nuevo Tallan	Arena de consistencia suelta a muy suelta (SP)	1.64	30.00	0.00
CALICATA 2		Chato Chico		1.66	30.00	0.00

Para la determinación de la carga al corte se han considerado los siguientes parámetros:

Profundidad de cimentación D_f 1.50 m.

Ancho de la Cimentación de Zapatas B 1.00 m.

Factor de Seguridad FS 3

Para el cálculo de Asentamientos se empleó como base la teoría de la elasticidad conociendo el tipo de cimentación superficial recomendado y el asentamiento inicial elástico para:

$$\leftarrow = \frac{q \cdot B(1 - u^2)}{E_s} \cdot I \rightarrow$$

Donde:

\leftarrow Asentamiento probable en (cm)

q Esfuerzo neto transcurrido (Tn/m²)

B Ancho de la cimentación zapata (m)

E_s Módulo de elasticidad (Tn/m²)

u^2 Relación de Poisson

$I \rightarrow$ Factor de influencia, en función de la forma y rigidez de la cimentación (cm/m)

Reemplazando los valores se obtiene los siguientes resultados:

Cuadro 6. Capacidad portante Zona I

DESIGNACION	TIPO DE SUELO	ANCHO DE ZAPATA B (mts)	PROFUND. DESPLANTE D_f (mts)	CAPACIDAD PORTANTE (Kg/cm ²)	ASENTAMIENTO (cm)
CALICATA C-1	ARENA MAL GRADADA	1.0	1.50	2.00	0.52
CALICATA C-2	ARENA MAL GRADADA	1.0	1.50	2.02	0.53

Fuente: Propia

Las Hojas de cálculo de la Capacidad Portante se presentan en anexos - Calculo de La Capacidad Portante Zona I.

Interpretación Geotécnica. Los materiales evaluados (SP) corresponden a Arenas mal gradadas color marrón claro, suelta a muy suelta, no plástico, con bajo contenido de humedad. Se encuentran localizados en la parte superior de la terraza y presentan una potencia superior a 3.0 m., no presenta nivel freático

Estos materiales son razonablemente estables, como terrenos de apoyo resultan ser buenos, debido a su alta capacidad de carga superior a 2.00 Kg/cm². Asimismo, presenta muy bajo riesgo de asentamientos, bajo riesgo de deslizamientos de taludes y muy baja modificación de resistencia por cambios de humedad.

La capacidad portante calculada para estos materiales supera los 2.00 Kg/cm²; considerando profundidades de desplante en 1.5m., 2.0 m. y 3.0 m. se tienen asentamientos de 0.52 cm a 2.12 cm; no se evidencia asentamientos de 1" (2.54 cm).

3.6.2 Investigaciones Geotécnicas Zona II (Calicatas C-3 al C-6)

Localizada entre el poblado de Cucúngara y Sur de Piura, se encuentra caracterizado por suelos arcillosos de clasificación SUCS CL (arcillas de baja plasticidad), incluye las calicatas C-3, C-4, C-5 y C-6; los resultados de laboratorio de mecánica de suelos se muestran a continuación:

LOCALIZACIÓN	:	Puente Independencia	Viduque - Simbila	Castilla	Cereza
CALICATA	:	C-3	C-4	C-5	C-6
PROFUNDIDAD DE EXCAVACIÓN	:	2.00 m	2.00 m	2.00 m	2.00 m
COORDENADAS ESTE (X)	:	533,416	536,662	541,464	540,978
COORDENADAS NORTE (Y)	:	9,414,006	9,419,120	9,424,696	9,441,166
CLASIFICACION SUCS	:	CL	CL	CL	CL
NOMBRE CLÁSICO	:	Arcilla arenosa de baja plasticidad	Arcilla arenosa de baja plasticidad	Arcilla arenosa de baja plasticidad	Arcilla arenosa de baja plasticidad
CONTENIDO DE ARENA MEDIA	:	0.89	0.00	2.55	0.45
CONTENIDO DE ARENA FINA	:	34.00	2.49	17.58	40.68
CONTENIDO DE LIMO+ARCILLA	:	65.11	97.51	79.87	58.87
LIMITE LIQUIDO	:	NP	44.50	29.00	32.30
LIMITE PLASTICO	:	NP	26.19	20.53	21.88
INDICE DE PLASTICIDAD	:	NP	18.31	8.47	10.42
HUMEDAD	:	7.48	7.00	8.43	8.10
DENSIDAD NATURAL	:	1.76 Tm/m3	1.80 Tm/m4	1.77 Tm/m3	1.75 Tm/m3

Análisis de Cimentación Se adoptó calcular la capacidad admisible por corte local aplicando la teoría de Terzaghi con la siguiente formula:

$$q_{Ult} = 1.3.c.Nc + Df.\gamma.Nq + 0.4.\gamma.B.N\gamma$$

Donde:

q_{Ult}	:	Capacidad última de carga
q_{adm}	:	Capacidad admisible de carga
Fs	:	Factor de seguridad
γ	:	Densidad natural

- B : Ancho de la Zapata
 Df : Profundidad de la cimentación de zapatas
 C : Cohesión
 N_y, N_c, N_q, N_γ : Factores de Carga en Función del Ángulo de Fricción

En base a las investigaciones geotécnicas y ensayos de laboratorio de mecánica de suelos, se obtuvieron los siguientes parámetros geotécnicos para la Zona II:

Cuadro 7. Parámetros geotécnicos Zona II

NOMBRE	SECTOR	TIPO DE SUELO	NIVEL FREÁTICO	PARAMETROS GEOTECNICOS		
				DENSIDAD (Tn/m ³)	ANGULO FRICCION INTERNA ϕ (°)	COHESION c (Tn/m ³)
CALICATA 3	Puente Independencia	Arcilla arenosa medianamente compacta (CL)	N.P	1.76	20°	1.60
CALICATA 4	Viduque - Simbila			1.80	20°	1.60
CALICATA 5	Castilla			1.77	20°	1.60
CALICATA 6	Cereza			1.75	20°	1.60

Para la determinación de la carga al corte se han considerado los siguientes parámetros:

- Profundidad de cimentación Df 1.50 m.
 Ancho de la Cimentación de Zapatas B 1.00 m.
 Factor de Seguridad FS 3

Para el cálculo de Asentamientos se empleó como base la teoría de la elasticidad conociendo el tipo de cimentación superficial recomendado y el asentamiento inicial elástico para:

$$\leftarrow = \frac{q \cdot B(1 - u^2)}{E_s} \cdot I \rightarrow$$

Donde:

- ← Asentamiento probable en (cm)
 q Esfuerzo neto transcurrido (Tn/m²)
 B Ancho de la cimentación zapata (m)
 E_s Módulo de elasticidad (Tn/m²)
 u² Relación de Poisson

I → Factor de influencia, en función de la forma y rigidez de la cimentación (cm/m)

Reemplazando los valores se obtiene los siguientes resultados:

Cuadro 8. Capacidad portante Zona II

DESIGNACION	TIPO DE SUELO	ANCHO DE ZAPATA B (mts)	PROFUND. DESPLANTE D_f (mts)	CAPACIDAD PORTANTE (Kg/cm ²)	ASENTAMIENTO (cm)
CALICATA C-3	ARCILLA MEDIANAMENTE COMPACTA (CL).	1.5	1.50	1.78	1.13
CALICATA C-4	ARCILLA MEDIANAMENTE COMPACTA (CL).	1.0	1.50	1.73	0.73
CALICATA C-5	ARCILLA MEDIANAMENTE COMPACTA (CL).	1.0	1.50	1.72	0.72
CALICATA C-6	ARCILLA MEDIANAMENTE COMPACTA (CL).	1.0	1.50	1.71	0.72

Fuente: Propia

Las Hojas de cálculo de la Capacidad Portante se presentan en anexos - Calculo de La Capacidad Portante Zona II.

Interpretación Geotécnica. Los materiales evaluados se encuentran localizados en la parte superior de la terraza aluvial y presentan una potencia superior a 3.0 m., no presenta nivel freático. Corresponden a Arcillas arenosas de color marrón claro de clasificación SUCS (CL), presentan consistencia medianamente compacta, plasticidad y humedad ligera.

Estos materiales son considerados como pobres a medianos terrenos de apoyo, la capacidad portante calculada varía de 1.71 a 1.78 Kg/cm², considerando como profundidad de desplante 1.5m., se tienen asentamientos de 0.72 cm a 1.13 cm; no se evidencia asentamientos superiores a 1" (2.54 cm).

3.6.3 Investigaciones Geotécnicas Zona III (Calicatas C-7 al C-10)

Localizada entre el poblado de Tambogrande y Morropón, se encuentra caracterizado por suelos arenosos de clasificación SUCS SP (Arenas mal gradadas), incluye las

calicatas C7, C-8, C-9 y C-10. Los resultados de laboratorio de mecánica de suelos se muestran a continuación:

LOCALIZACIÓN	Tambogrande	Qda. San Francisco	Río Yapatera - chulucanas	Qda. Las Damas
CALICATA	C-7	C-8	C-9	C-10
PROFUNDIDAD DE EXCAVACIÓN	2.00 m	2.00 m	2.00 m	2.00 m
COORDENADAS ESTE (X)	573,118	576,249	592,119	601,217
COORDENADAS NORTE (Y)	9,454,380	9,452,652	9,434,774	9,429,372
CLASIFICACION SUCS	SP	SC	SP	SW
NOMBRE CLÁSICO	Arena mal gradada	Arena Arcillosa	Arena Malgradada	Arena bien gradada
CONTENIDO DE GRAVA GRUESA	0.00	0.00	0.00	7.87
CONTENIDO DE GRAVA FINA	0.00	0.00	3.37	9.69
CONTENIDO DE ARENA GRUESA	0.00	0.75	1.51	13.83
CONTENIDO DE ARENA MEDIA	1.36	33.75	50.36	55.53
CONTENIDO DE ARENA FINA	93.43	27.17	44.25	12.04
CONTENIDO DE LIMO+ARCILLA	5.21	38.33	0.51	1.04
LIMITE LIQUIDO	NP	30.25	NP	NP
LIMITE PLASTICO	NP	20.57	NP	NP
INDICE DE PLASTICIDAD	NP	9.68	NP	NP
HUMEDAD	9.86	8.03	9.78	9.25
DENSIDAD NATURAL	1.64 Tn/m3	1.73 Tn/m4	1.63 Tn/m3	1.68 Tn/m3

Análisis de Cimentación Se adoptó calcular la capacidad admisible por corte local aplicando la teoría de Terzaghi con la siguiente formula:

$$qUlt = 1.3.c.Nc + Df.\gamma.Nq + 0.4.\gamma.B.N\gamma$$

Donde:

- q_{Ult} : Capacidad última de carga
 q_{adm} : Capacidad admisible de carga
 F_s : Factor de seguridad
 γ : Densidad natural
 B : Ancho de la Zapata
 D_f : Profundidad de la cimentación de zapatas
 C : Cohesión
 $N_\gamma, N_c, N_q, N_\phi$: Factores de Carga en Función del Ángulo de Fricción

En base a las investigaciones geotécnicas y ensayos de laboratorio de mecánica de suelos, se obtuvieron los siguientes parámetros geotécnicos para la Zona III:

Cuadro 9. Parámetros geotécnicos Zona III

NOMBRE	SECTOR	TIPO DE SUELO	NIVEL FREÁTICO	PARAMETROS GEOTECNICOS		
				DENSIDAD (Tm/m3)	ANGULO FRICCION INTERNA ϕ (°)	COHESION c (Tm/m3)
CALICATA 7	Tambogrande (Qda. Carneros)	Arena mal gradada	N.P	1.64	30°	0.00
CALICATA 8	Qda. San Francisco	Arena arcillosa		1.73	30°	0.00
CALICATA 9	Chulucanas - río Yapatera	Arena mal gradada		1.63	30°	0.00
CALICATA 10	Qda. Las Damas	Arena bien gradada		1.68	30°	0.00

Para la determinación de la carga al corte se han considerado los siguientes parámetros:

Profundidad de cimentación D_f 1.50 m.

Ancho de la Cimentación de Zapatas B 1.00 m.

Factor de Seguridad FS 3

Para el cálculo de Asentamientos se empleó como base la teoría de la elasticidad conociendo el tipo de cimentación superficial recomendado y el asentamiento inicial elástico para:

$$\leftarrow = \frac{q \cdot B(1 - u^2)}{E} \cdot I \rightarrow$$

Donde:

- ← Asentamiento probable en (cm)
q Esfuerzo neto transcurrido (Tn/m²)
B Ancho de la cimentación zapata (m)
Es Módulo de elasticidad (Tn/m²)
u² Relación de Poisson
I → Factor de influencia, en función de la forma y rigidez de la cimentación (cm/m)

Reemplazando los valores se obtiene los siguientes resultados:

Cuadro 10. Capacidad portante Zona III

DESIGNACION	TIPO DE SUELO	ANCHO DE ZAPATA B (mts)	PROFUND. DESPLANTE D _r (mts)	CAPACIDAD PORTANTE (Kg/cm ²)	ASENTAMIENTO (cm)
CALICATA C-7	ARENA MAL GRADADA (SP)	1.0	1.50	2.00	0.52
CALICATA C-8	ARENA ARCILLOSA (SC)	1.0	1.50	2.11	0.55
CALICATA C-9	ARENA MAL GRADADA (SP)	1.0	1.50	1.99	0.52
CALICATA C-10	ARENA BIEN GRADADA (SW)	1.0	1.50	2.05	0.54

Fuente: Propia

Las Hojas de cálculo de la Capacidad Portante se presentan en anexos - Calculo de La Capacidad Portante Zona III.

Interpretación Geotécnica. Los materiales evaluados corresponden a suelos arenosos con predominancia de Arenas mal graduadas de clasificación SUCS (SP) con grava y finos, de color marrón claro, de grano fino, de consistencia suelta a muy suelta, poco humedad. Se presentan con una potencia superior a 3.0 m.

Estos materiales son razonablemente estables, como terrenos de apoyo resultan ser buenos, debido a su alta capacidad de carga superior a 2.00 Kg/cm². Asimismo,

presenta muy bajo riesgo de asentamientos, bajo riesgo de deslizamientos de taludes y muy baja modificación de resistencia por cambios de humedad.

La capacidad portante calculada para estos materiales supera los 2.00 Kg/cm²; considerando una profundidad de desplante de 1.5m. Se tienen asentamientos de 0.52 cm a 0.55 cm; no se evidencia asentamientos que superen los 2.54 cm.

3.6.4 Investigaciones Geotécnicas Zona VI (Calicatas C-11)

Localizada cerca al el poblado de Buenos Aires, se encuentra caracterizado por suelos arenosos de clasificación SUCS SP (Arenas mal gradadas), incluye las calicatas C7, C-8, C-9 y C-10. Los resultados de laboratorio de mecánica de suelos se muestran a continuación:

LOCALIZACIÓN	:	Poblado de Buenos Aires
CALICATA	:	C-11
PROFUNDIDAD DE EXCAVACIÓN	:	2.00 m
COORDENADAS ESTE (X)	:	612,907
COORDENADAS NORTE (Y)	:	9,420,170
CLASIFICACION SUCS	:	CL
NOMBRE CLÁSICO	:	Arcilla Arenosa
CONTENIDO DE ARENA GRUESA	:	0.00
CONTENIDO DE ARENA MEDIA	:	0.39
CONTENIDO DE ARENA FINA	:	10.89

CONTENIDO DE LIMO+ARCILLA	:	88.72
LIMITE LIQUIDO	:	36.70
LIMITE PLASTICO	:	22.43
INDICE DE PLASTICIDAD	:	14.27
HUMEDAD	:	7.11
DENSIDAD NATURAL	:	1.77 Tm/m3

Análisis de Cimentación Se adoptó calcular la capacidad admisible por corte local aplicando la teoría de Terzaghi con la siguiente fórmula:

$$q_{Ult} = 1.3.c.N_c + D_f.\gamma.N_q + 0.4.\gamma.B.N_\gamma$$

Donde:

q_{Ult}	:	Capacidad última de carga
q_{adm}	:	Capacidad admisible de carga
F_s	:	Factor de seguridad
γ	:	Densidad natural
B	:	Ancho de la Zapata
D_f	:	Profundidad de la cimentación de zapatas
C	:	Cohesión
$N_\gamma, N_c, N_q, N_\gamma$:	Factores de Carga en Función del Ángulo de Fricción

En base a las investigaciones geotécnicas y ensayos de laboratorio de mecánica de suelos, se obtuvieron los siguientes parámetros geotécnicos para la Zona IV:

Cuadro 11. Parámetros geotécnicos Zona IV

NOMBRE	SECTOR	TIPO DE SUELO	NIVEL FREÁTICO	PARAMETROS GEOTECNICOS		
				DENSIDAD (Tm/m3)	ANGULO FRICCIÓN INTERNA ϕ (°)	COHESION c (Tm/m3)
CALICATA 11	Buenos Aires	Arcilla arenosa medianamente compacta (CL)	N.P	1.77	20°	1.60

Para la determinación de la carga al corte se han considerado los siguientes parámetros:

Profundidad de cimentación D_f 1.50 m.

Ancho de la Cimentación de Zapatas B 1.00 m.

Factor de Seguridad FS 3

Para el cálculo de Asentamientos se empleó como base la teoría de la elasticidad conociendo el tipo de cimentación superficial recomendado y el asentamiento inicial elástico para:

$$\leftarrow = \frac{q \cdot B(1 - u^2)}{E_s} \cdot I \rightarrow$$

Donde:

- \leftarrow Asentamiento probable en (cm)
- q Esfuerzo neto transcurrido (Tn/m²)
- B Ancho de la cimentación zapata (m)
- E_s Módulo de elasticidad (Tn/m²)
- u^2 Relación de Poisson
- $I \rightarrow$ Factor de influencia, en función de la forma y rigidez de la cimentación (cm/m)

Reemplazando los valores se obtiene los siguientes resultados:

Cuadro 12. Capacidad portante Zona IV

DESIGNACION	TIPO DE SUELO	ANCHO DE ZAPATA B (mts)	PROFUND. DESPLANTE D_f (mts)	CAPACIDAD PORTANTE (Kg/cm ²)	ASENTAMIENTO (cm)
CALICATA C-11	ARCILLA MEDIANAMENTE COMPACTA (CL).	1.0	1.50	1.72	0.72

Fuente: Propia

Las Hojas de cálculo de la Capacidad Portante se presentan en anexos - Calculo de La Capacidad Portante Zona IV.

Interpretación Geotécnica. Los materiales evaluados corresponden a Arcillas arenosas de color marrón claro de clasificación SUCS (CL), presentan consistencia

medianamente compacta, ligeramente plástica y húmeda. De espesor superior a los 3.0 m., no presenta nivel freático.

Estos materiales son considerados como pobres a medianos terrenos de apoyo. La capacidad portante calculada corresponde a 1.72 Kg/cm², con profundidades de desplante de 1.5m. Se tienen asentamientos de 0.72 cm.; no se evidencia asentamientos de 1" = 2.54 cm.

3.6.5 Condiciones Geotécnicas

En base a las investigaciones geotécnicas y ensayos de laboratorio realizados se tiene que en el área de estudio (Zonas I, II, III y IV) predominan los suelos granulares tipo: Arena de Consistencia suelta a muy suelta (SP) y Arcilla arenosa medianamente compacta (CL), con capacidad portante superior a 1.73 Kg/m².

En las 4 zonas, los asentamientos no superan los 1.50 cm., no evidenciándose asentamientos que superen los 2.54 cm.

El tipo y profundidad de cimentación de la uña de enrocado es de 1.50 – 2.00 metro bajo el ángulo de socavamiento. Considerar un ángulo de reposo y entrapamiento geotécnico de 2:1 (H:V).

Los materiales de enrocado evaluados corresponden a las canteras de La Huaquilla y Carrasquillo las cuales reúnen las especificaciones requeridas para su utilización en la construcción de obras de defensas ribereñas (alta dureza, resistencia a la meteorización, elevada densidad y diámetros superiores a 0.80 metros).

3.7. Canteras de Enrocado

Se han prospectado y/o verificado canteras de enrocado que aporten los materiales factibles de ser utilizados durante el proceso de construcción de defensas ribereñas. Las áreas para la explotación de enrocados se han localizado en los sectores de La Huaquilla y Carrasquillo, los afloramientos rocosos corresponden a rocas metamórficas recristalizadas del tipo cuarcitas caracterizadas por su alto grado de dureza y alta capacidad de carga.

Para la evaluación de las canteras de enrocado se han tenido en cuenta los resultados de laboratorio de mecánica de rocas y Tablas Generalizadas de Clasificación de Rocas (Ver Anexo B – Cuadros G 15 al G 19), a continuación se describen las características físico-mecánicas de los materiales evaluados:

3.7.1 Cantera La Huaquilla

Localización	Margen derecha del río Piura
Sector	Centro Poblado La Huaquilla - Caserío Chisca Blanca
Coordenadas	X= 608,683 Y=9 425,464

Propiedades Macróscopicas

Litología	Roca Metamórfica (cuarcita)
Color	Gris oscuras a negruzcas
Dureza	Muy Dura (R5)
Alteración	Poco alterada (A2)
Fracturamiento	Fracturada (F2)
Meteorización	Ligera (W2)

Resultados de Laboratorio

Peso específico	2.5 gr/cm ³
Absorción	0.28%
Abrasión	18.80%
Disponibilidad Estimada	3,000 – 3,500 m ³
Rendimiento de Cantera	75%
Método de Explotación	Por Voladura 70% Con cargador Frontal 30%

Observaciones. Los afloramientos rocosos corresponden a bancos de 3 a 4 metros de cuarcitas de color gris oscuras a negruzcas, bastante recristalizadas, intercaladas con filitas y pizarras.

La disponibilidad del material se estima en 3,000 – 3,500 m³, con un rendimiento de cantera del orden de 75%. Las dimensiones o tamaños menores de roca requeridos, se obtendrán por medio de voladuras menores o martillos neumáticos; determinada la selección de volumen o peso, se ha de emplear “maquinaria convencional” para su aprovechamiento y transporte.

De acuerdo a las propiedades físico mecánicas, los materiales prospectados reúnen condiciones favorables para ser empleados como canteras de enrocado.

3.7.2 Cantera Carrasquillo

Localización	Margen izquierda del río Piura	
Sector	Centro Poblado Carrasquillo	
Coordenadas	X= 608,541	Y=9 421,996

Propiedades Macróscopicas

Litología	Roca Metamórfica (cuarcita)
Color	Gris oscuras a negruzcas
Dureza	Muy Dura (R5)
Alteración	Poco alterada (A2)
Fracturamiento	Fracturada (F2)
Meteorización	Ligera (W2)

Resultados de Laboratorio

Peso específico	2.54 gr/cm ³
Absorción	0.03%
Abrasión	17.76%
Disponibilidad Estimada	1,500 – 2,000 m ³
Rendimiento de Cantera	65%
Método de Explotación	Por Voladura 70%
	Con cargador Frontal 30%

Observaciones. Los afloramientos rocosos corresponden a bancos de 3 a 4 metros de cuarcitas de color gris oscuras a negruzcas, bastante recristalizadas, intercaladas con filitas y pizarras.

La disponibilidad del material se estima en 1,500 – 2,000 m³, con un rendimiento de cantera del orden de 65%. Las dimensiones o tamaños menores de roca requeridos, se obtendrán por medio de voladuras menores o martillos neumáticos; determinada la selección de volumen o peso, se ha de emplear “maquinaria convencional” para su aprovechamiento y transporte.

De acuerdo a las propiedades físico mecánicas, los materiales prospectados reúnen condiciones favorables para ser empleados como canteras de enrocado.

3.8. Conclusiones y Recomendaciones

3.8.1 Conclusiones

Geomorfológicamente, el área de estudio se emplaza sobre cuatro unidades geomorfológicas: Montañas, Colinas, Piedemontes y Planicies; cuya morfogénesis se encuentra vinculada a procesos tectónicos y procesos erosivos.

Las unidades litológicas identificadas corresponden a una gran variedad de rocas de edades desde el Precambriano al Cuaternario reciente. En la parte baja y media de la cuenca predominan los depósitos cuaternarios: aluviales y eólicos; y hacia la parte alta rocas sedimentarias y metamórficas.

Estructuralmente, el sector Costero se encuentra caracterizado por Fallamiento en bloques y el sector Andino por Fenómenos tectónicos e intrusiones batolíticas.

La Cuenca del río PIURA se encuentra en una Zona con actividad sísmica Alta, las máximas intensidades sísmicas en el sector corresponden al grado VII y VIII en la escala de Mercalli (MM).

En base al Catastro Minero (INGEMMET), en la Cuenca del río Piura existen 436 derechos mineros que ocupan 308,753.23 hectáreas de la cuenca; de los cuales 272 corresponden a Derechos Mineros Titulado. El tipo de sustancia en exploración y/o explotación corresponde a sustancias metálicas y no metálicas.

Los principales peligros geológicos registrados en la Cuenca del río Piura corresponden a: inundación fluvial, erosión fluvial, flujos de lodos y detritos, arenamientos y derrumbes; siendo los distritos de: Salitral, Morropón, Chulucanas y Bernal los que han tenido una mayor ocurrencia de peligros geológicos.

Los peligros geológicos del tipo inundación fluvial y erosión fluvial se consideran de mayor interés para el proyecto.

Las investigaciones geotécnicas tuvieron lugar en los sectores de Nuevo Tallán, Chato Chico, Puente Independencia, Viduque-Simbila, Castilla, Cereza, Tambogrande, Qda. San Francisco, río Yapatera, Qda. Las Damas, Buenos Aires, Cantera Cerritos, Cantera Huaquillas y Cantera Carrasquillo.

En base, a los resultados de laboratorio de mecánica de suelos se determinaron 4 zonas caracterizadas en su mayoría por materiales granulares de clasificación SUCS: SP y CL; de capacidad portante 2.00 Kg/cm² – 1.73 Kg/cm² y asentamientos 0.52 cm. a 0.80 cm. respectivamente. En ambos casos, los materiales son considerados terrenos de apoyo bueno a mediano. El tipo y profundidad de cimentación de la uña de enrocado es de 1.50 – 2.00 metro bajo el ángulo de socavamiento.

Las áreas para la explotación de enrocados se han localizado en los sectores de La Huaquilla y Carrasquillo; constituidas por rocas metamórficas tipo cuarcitas caracterizadas por su alta dureza, resistencia a la meteorización, elevada densidad, diámetros superiores a 0.80 metros, disponibilidad superior a 1,500 m³ y rendimiento de cantera por encima de los 65%, las mismas que reúnen las especificaciones requeridas para su utilización en la construcción de obras de defensas ribereñas.

3.8.2 Recomendaciones

Se recomienda adoptar en los diseños Sismo-Resistentes, el siguiente parámetro sísmico: Factor de Zona = 0.40 Factor (g).

Se recomienda construir defensas de carácter rígido que requieran cimentación. La colocación de gaviones en mallas sobre las riberas afectadas. Considerar un ángulo de reposo y entrapamiento geotécnico de 2:1 (H:V).

Motivar mediante programas la construcción responsable y el ordenamiento territorial. Resoluciones Administrativas, emitidas por la Autoridad Local de Agua; donde se especifiquen respetar el ancho estable del río, caudales máximos de diseño, entre otros parámetros o variables.

Programa de capacitación y sensibilización, sobre Alerta Temprana, Gestión de Riesgos ante inundaciones, simulacros, etc. Este programa debe ser promovido por el Gobierno Regional, Gobierno Local, Sectores y entidades privadas.



CAPITULO IV

Caudales Máximos

INDICE

CAPITULO IV.....	73
------------------	----

CAUDALES MÁXIMOS-EVENTOS EXTREMOS.....	73
4.1 Eventos climáticos extremos en el Perú	73
4.2 Planteamiento hidrológico	75
4.2.1 Método estadístico.....	77
4.2.2 Método Fuller.....	79
4.2.3 Método Envolvente de Creager	80
4.3 Resultados.....	81
4.4 Conclusiones	85

Listado de cuadros

<i>Cuadro 1. Resumen del planteamiento hidrológico</i>	<i>76</i>
<i>Cuadro 2. Resumen de información hidrométrica.....</i>	<i>79</i>
<i>Cuadro 3. Valores de los coeficientes según región del Perú.....</i>	<i>80</i>
<i>Cuadro 4. Caudales máximos para varios periodos de retorno, mediante funciones probabilísticas.....</i>	<i>82</i>
<i>Cuadro 5. Caudales calculados por el método de Creager</i>	<i>83</i>
<i>Cuadro 6. Caudales calculados por el método de Creager y método estadístico.....</i>	<i>83</i>

<i>Cuadro 7. Caudales calculados por el método de Creager</i>	<i>83</i>
<i>Cuadro 8. Caudales máximos para varios periodos de retorno, mediante funciones probabilísticas.....</i>	<i>84</i>
<i>Cuadro 9. Caudales calculados por el método de Creager</i>	<i>85</i>
<i>Cuadro 10. Área bajo influencia de cada estación de control</i>	<i>85</i>

Listado de figuras

<i>Figura 1. Ubicación de la estación de control</i>	<i>76</i>
<i>Figura 2. Mapa de Regionalización de las Avenidas del Perú.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 3. Gamma 3 parámetros mejor ajuste, método gráfico.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 4. Gamma 2 parámetros mejor ajuste, método gráfico.....</i>	<i>84</i>

CAPITULO IV

CAUDALES MÁXIMOS-EVENTOS EXTREMOS

Un evento climático extremo, son fenómenos meteorológicos normalmente raros que están por encima del percentil 90° y más bajo que el percentil 10° y varía según los lugares. Un fenómeno climático extremo es una media de una serie de fenómenos meteorológicos en un período concreto, media que de por sí es extrema (por ejemplo la precipitación durante una estación)¹.

En el periodo de 1995 al 2011 la ocurrencia de inundaciones, sequías, heladas, deslizamientos y huaycos han afectado más de 6 millones de personas (damnificados, fallecidos, heridos y desaparecidos), 478 mil viviendas afectadas y destruidas y más de 430 mil hectáreas de cultivos afectados. De los peligros mencionados, las heladas son los que han ocasionado mayores daños personales y las inundaciones son los que han tenido mayores impactos negativos en viviendas y cultivos. En el periodo de 2001 al 2010 las inundaciones recurrentes han tenido mayores efectos negativos en las regiones de Cusco, Ucayali, Piura, Madre de Dios, Puno, San Martín y Huánuco. Estos eventos han afectado a más de 180 mil personas, 22 mil viviendas destruidas-afectadas y 56 mil hectáreas perdidas. En la región Puno las pérdidas de animales han superado los 137 mil unidades de ganado ovino y vacuno principalmente².

4.1 Eventos climáticos extremos en el Perú

De Diciembre 1982 y Junio 1983, llovió en Piura unos 3400 mm, mientras que el año 1972, también húmedo, llovió solamente 171 mm. El río Piura tiene aportes propios esporádicos, y recibe los volúmenes trasvasados de la cuenca del Chira. Las lluvias torrenciales se manifestaron también en el Valle del Bajo Piura, donde la pendiente muy reducida del río no permitieron el escurrimiento natural y rápido.

Durante el fenómeno El Niño 1997-98, la ciudad de Piura fue inundada por las

¹ IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)

² Prevención ante eventos climáticos extremos en el Perú, T. Alfaro

fuerzas lluvias locales, agravado por la capacidad insuficiente de los drenes existentes, que permiten evacuar las aguas pluviales a derivaciones del río. Los drenes que desembocan en el río fueron cerrados durante todo el período de crecidas, aunque habría podido funcionar en períodos con niveles del río suficientemente bajos. Las crecidas del año 1998 alcanzaron un caudal pico estimado: 4,424 m³/s. El encauzamiento del río diseñado para 4000 m³/s (construido después del fenómeno El Niño del año 1983) protegió de los desbordes en la ciudad. Los puentes Piura y Bolognesi colapsaron por problemas de socavación. Es necesario señalar que en verano del año 1999 se produjo una crecida con 3,100 m³/s³.

Los caudales extraordinarios rebasan la capacidad hidráulica del río Piura ocasionan los mayores daños a la economía regional. Las descargas máximas registradas en la Estación Puente Sánchez Cerro/los Ejidos fueron de 3,200 m³/s en 1,983; 4424 m³/s en 1,998 y 3,642 m³/s en 2,002⁴.

Como consecuencia del último FEN muy fuerte del año 1998, han ocurrido graves problemas que han paralizado totalmente la vida normal de las ciudades provocando pérdidas económicas de varias decenas de millones de dólares, incluyendo:

- a) Destrucción parcial del sistema de transporte terrestre y dificultades del transporte durante varios meses después del fenómeno.
- b) Daños al sistema de alcantarillado urbano de las aguas residuales, debido a que este no cuenta con capacidad para aceptar y transportar los grandes caudales adicionales de aguas pluviales.
- c) Emergencias sanitarias debido al afloramiento de aguas servidas en la superficie.
- d) Paralización total o parcial del abastecimiento de las ciudades y de la población, provocando escasez de los productos alimenticios, insumos para la construcción, combustibles y otros.
- e) Inundación de ciertas áreas en las ciudades dando como resultado la evacuación de sectores de la población, destrucción de viviendas y graves daños económicos y materiales.

³ Diagnóstico de la ocurrencia de sequías, inundaciones y cambio climático global en el Perú-INRENA

⁴ Plan de defensas ribereñas y encauzamiento de ríos, 2007

- f) Interrupción de los servicios básicos como agua potable, electricidad, eliminación de la basura.
- g) Destrucción total de varios puentes, de los cuales dos ubicados en la zona urbana de Piura y Castilla⁵.

4.2 Planteamiento hidrológico

- a. Los caudales se calcularon en 6 puntos o Estaciones de Control (EC), distribuido como se muestra en la figura 1.
- b. En la parte baja de la cuenca, altura de la presa Los Ejidos, los caudales se calcularon en la EC 01, haciendo uso del método Estadístico. Para ello se contó con un registro histórico de caudales máximos instantáneos de 81 años (1926-2008) de la estación Puente Sánchez Cerro, administrada por el Proyecto Especial Chira-Piura. Se ha tomado en cuenta los caudales del Fenómeno El Niño.
- c. En Tambogrande, aguas debajo de la confluencia del río Piura y la quebrada San Francisco (EC 02), se calcularon los caudales mediante el método de la Curva Envolvente de Creager. Previamente los coeficientes adimensionales C_1 y C_2 , fueron determinados a partir de los caudales de la EC 01.
- d. En Chulucanas, aguas abajo del río Yapatera (EC 03), los caudales se calcularon mediante el método de la Curva Envolvente de Creager. Los coeficientes adimensionales C_1 y C_2 , corresponden al promedio de los obtenidos en la estación hidrométrica de Puente Sánchez Cerro, Malacasi y Puente Ñácara.
- e. En la confluencia del río Piura con el río Corrales (EC 04), los caudales se calcularon mediante el método de la Curva Envolvente de Creager. Los coeficientes adimensionales son el promedio de los obtenidos en las estaciones hidrométricas de Malacasi y Puente Ñácara.
- f. En la estación hidrométrica Malacasi, aguas debajo de la confluencia con el río Bigotes (EC 05), el caudal se ha calculado mediante el método estadístico, para ello se utilizó 21 años de información histórica de caudales máximos entre los años 1973 y 1993. Los caudales máximos instantáneos se calcularon por el método de Fuller.
- g. En la confluencia de los ríos Piura y Pusalca, correspondiente a la EC 06, los caudales se calcularon por el método de la Curva Envolvente de Creager,

⁵ Diagnóstico de la ocurrencia de sequías, inundaciones y cambio climático global en el Perú-INRENA

considerando los coeficientes adimensionales obtenidos en la EC 05.

Cuadro 1. Resumen del planteamiento hidrológico

Estación de control (EC)	Método	Descripción
EC 01	Estadístico	Empleo de las distribuciones probabilísticas
EC 02	Curva Envolvente Creager	Coefficientes adimensionales se obtienen de la EC 01
EC 03	Estadístico y Curva Envolvente Creager	Caudales preliminares a partir de la estación Ñacara, empleando el método estadístico. Los caudales finales se obtuvieron por Creager, los coeficientes adimensionales se tomaron de la EC 01, EC 03 y EC 05
EC 04	Curva Envolvente Creager	Coefficientes adimensionales se obtienen de la EC 03 y EC 05
EC 05	Estadístico y Fuller	Empleo de las distribuciones probabilísticas y el método Fuller para calcular los caudales instantáneos
EC 06	Curva Envolvente Creager	Coefficientes adimensionales se obtienen de la EC 05

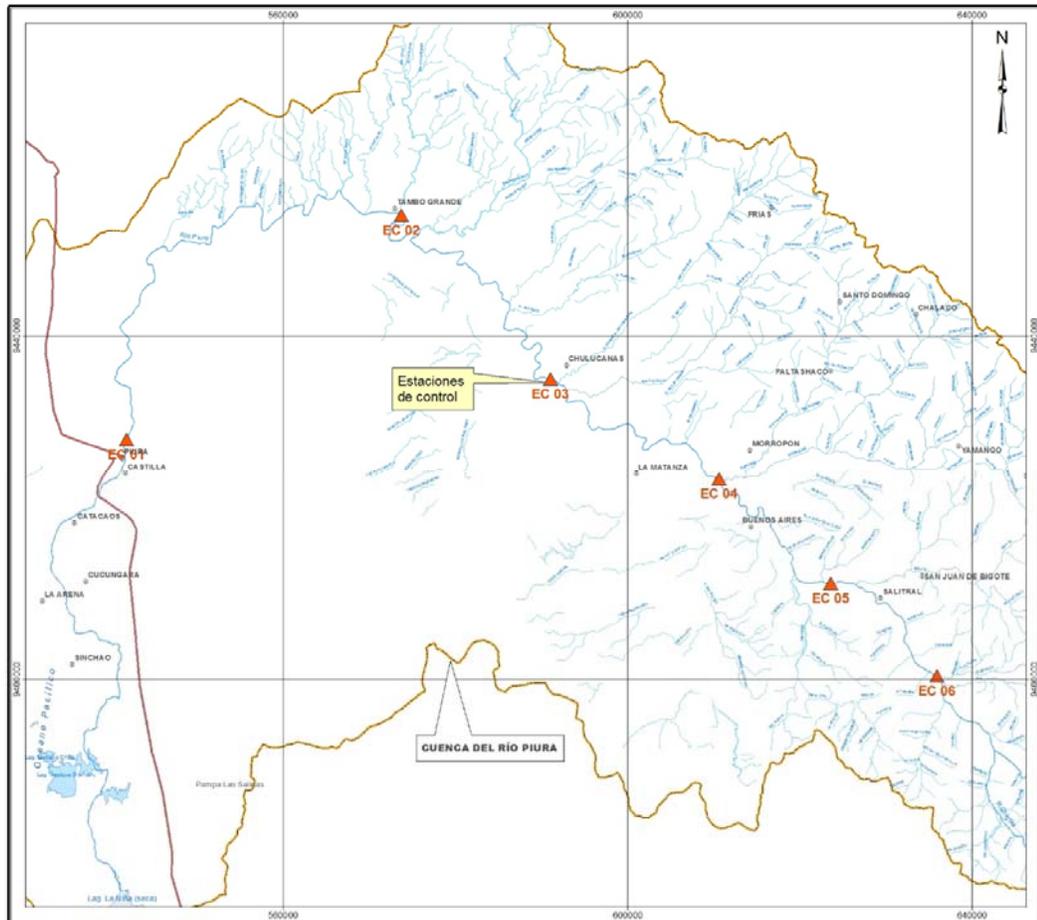


Figura 1. Ubicación de la estación de control

4.2.1 Método estadístico

a. Sustento teórico. Este método está basado en el análisis de la frecuencia de las crecidas. El caudal es considerado como una variable aleatoria continua, que permite evaluar su distribución estadística, el cual puede ser ajustado a una ley teórica de probabilidad (Gumbel, Log Pearson II, etc.).

Con el uso del programa HidroEsta, se evaluó la serie histórica de caudales máximos anuales con 8 modelos probabilísticos, considerando un nivel de significancia de 5%, método de estimación de parámetros, Parámetros Ordinarios y pruebas de bondad de ajuste por Kolmogorov.

Normal. Una variable aleatoria X se distribuye de acuerdo con una distribución de probabilidades Normal si su Función de Densidad de Probabilidades está dada como:

$$f_x(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu_x)^2}{2\sigma_x^2}}$$

Los parámetros son: media, μ_x , desviación estándar σ_x . La asimetría de la distribución es cero.

Log-Normal 2 parámetros. Cuando los logaritmos, $\ln(x)$, de una variable x están normalmente distribuidos, entonces se dice que la distribución de x sigue la distribución de probabilidad log-normal, en que la función de probabilidad log-normal $f(x)$ viene representado como:

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma_y\sqrt{2\pi}} \text{EXP} \left\{ -\frac{1}{2} \left[\frac{\ln x - \mu_y}{\sigma_y} \right]^2 \right\}$$

Parámetro de escala μ_y y parámetro de forma σ_y

Log-Normal 3 parámetros. Muchos casos el logaritmo de una variable aleatoria x, del todo no son normalmente distribuido, pero restando un parámetro de límite inferior x_0 , antes de tomar logaritmos, se puede conseguir que sea normalmente

distribuida.

La función de densidad, de la distribución log-normal de 3 parámetros, es:

$$f(x) = \frac{1}{(x-x_0)\sigma_y\sqrt{2\pi}} \text{EXP} \left\{ -\frac{1}{2} \left[\frac{\ln(x-x_0) - \mu_y}{\sigma_y} \right]^2 \right\}$$

Parámetro de posición x_0 , parámetro de escala μ_y y parámetro de forma σ_y^2 .

Gamma 2 parámetros. Se dice que una variable aleatoria x , tiene una distribución gamma de 2 parámetros si su función densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{x^{\gamma-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^\gamma \Gamma(\gamma)}$$

Parámetro de forma γ , parámetro de escala β

Gamma 3 parámetros o Pearson Tipo III. Cuando una variable aleatoria x se ajustan a una distribución Pearson Tipo III, se dice que la variable aleatoria x se ajusta a una distribución Log Pearson Tipo III. Su función densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{(x-x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(x-x_0)}{\beta}}}{\beta^\gamma \Gamma(\gamma)}$$

Gumbel. A partir de la distribución general de valores extremos, se pueden derivar tres tipos de distribuciones: la tipo I, comúnmente conocida como Gumbel, la tipo II y la tipo III, llamada también Weibull.

Ellas difieren entre sí por el valor del parámetro de forma. La expresión general de la función de densidad de probabilidades para la distribución extrema tipo I o Gumbel es:

$$f_x(x) = \frac{1}{\alpha} \exp \left[-\frac{x-\beta}{\alpha} \exp \left(-\frac{x-\beta}{\alpha} \right) \right]$$

Parámetros de escala α y parámetro de posición β

Distribución Log-Gumbel. La función de distribución acumulada de la distribución Gumbel tiene la forma:

$$F(x) = e^{-e^{\frac{(x-\mu)}{\alpha}}}$$

para: $-\infty < x < \infty$

donde:

$0 < \alpha < \infty$ es el parámetro de escala

$-\infty < \mu < \infty$ es el parámetro de posición, llamado también valor central o moda, si en la ecuación, la variable x se reemplaza por $\ln x$, se obtiene la función acumulada de la distribución log-Gumbel, o distribución de Fréchet.

b. Información empleada. Se ha empleado información de las estaciones: Puente Sánchez Cerro, Puente Ñacara y Malacasi, operado por el Proyecto Especial Chira-Piura.

Cuadro 2. Resumen de información hidrométrica

Estación	Tipo de información	Periodo	Mejor distribución
Puente Sánchez Cerro	Caudales máximos instantáneos	1926-2008	Gamma 3 parámetros
Puente Ñacara	Caudales máximos diarios	1972-2003	Gamma 3 parámetros
Malacasi	Caudales máximos diarios	1972-1993	Gamma 2 parámetros

Fuente. Proyecto Especial Chira-Piura

4.2.2 Método Fuller

Para diseño de estructuras de protección o control de inundaciones se requiere caudales máximos instantáneos razón por la cual se empleará el método de Fuller, a partir de los caudales calculados con el método estadístico

Empleando el método de Fuller, se calcularon los caudales máximos instantáneos, a partir de los caudales máximos diarios calculados con el método estadístico.

$$Q_{inst} = Q \cdot \left(1 + \frac{2.66}{A^{0.3}} \right) \quad A \text{ en km}^2$$

Caudal instantáneo Q_{inst} , caudal calculado para un determinado periodo de retorno Q , área de la cuenca húmeda o de interés A (en km^2).

4.2.3 Método Envolvente de Creager

Los caudales máximos se calcularán en función del área de la cuenca y el periodo de retorno, con la siguiente relación

$$Q_{max} = (C_1 + C_2) * \text{Log}(T) * A^{m \cdot A^{-n}}$$

Donde,

C_1 , C_2 , m y n son coeficientes adimensionales para diferentes regiones del Perú.

Q_{max} , caudal máximo

T , periodo de retorno

En el cuadro 3, se muestra los valores de los coeficientes para cada región del Perú y en la figura 2, se muestra la regionalización de avenidas del Perú. Según estas consideraciones el ámbito de estudio se ubica en la región 1.

Cuadro 3. Valores de los coeficientes según región del Perú

Nº	Región	Cuencas
1	Costa Norte (frontera)	Tumbes a Piura
2	Costa Norte	Cuzcojal a Santa
3	Sierra Norte	Alto Marañón
4	Costa Central	Lacramarca a Camaná-Majes
5	Costa Sur	Quilca a Caplina
	Titicaca	Titicaca
6	Sierra Central Sur	Mastara, Apuzimac y Ukubamba
7	Selva	Ucayali, Bajo Marañón, Madre de Dios y Amazonas

Región	C_1	C_2	m	n
1	1.01	4.37	1.02	0.04
2	0.10	1.28	1.02	0.04
3	0.27	1.48	1.02	0.04
4	0.09	0.36	1.24	0.04
5	0.11	0.26	1.24	0.04
6	0.18	0.31	1.24	0.04
7	0.22	0.37	1.24	0.04

Fuente: Análisis regional de las avenidas en los ríos del Perú; Trau W. y Gutierrez R.; 1979



Figura 2. Mapa de Regionalización de las Avenidas del Perú

Fuente: Análisis regional de las avenidas en los ríos del Perú; Trau W. y Gutierrez R.; 1979

4.3 Resultados

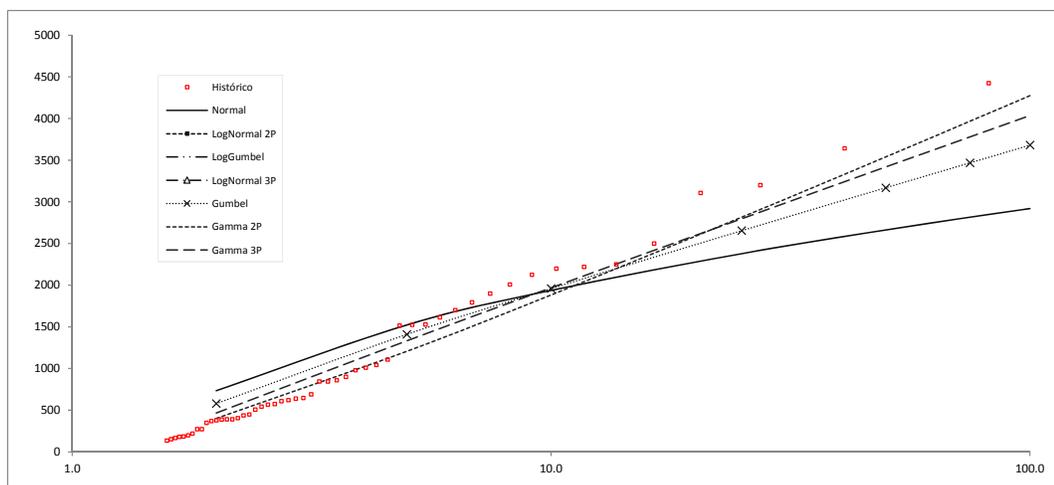
- a. Los caudales en la estación de control EC 01, que abarca desde la presa Los Egidos hacia la laguna La Niña. En el cuadro 4, se indican los caudales máximos instantáneos para varios periodos de retorno, calculados mediante el método estadístico.

Cuadro 4. Caudales máximos para varios periodos de retorno, mediante funciones probabilísticas

Período de Retorno (T)	P	Distribución Normal	Distribución Log Normal 2 parámetros	Distribución Log Normal 3 parámetros	Gamma 2 parámetros	Gamma 3 parámetros	Log-Pearson tipo III	Gumbel	Log Gumbel
2.0	0.500	733.1	278.7	326.8	400.7	464.2		578.8	
5.0	0.200	1523.6	1075.1	1037.8	1207.7	1331.5		1409.0	
10.0	0.100	1937.2	2179.1	1862.9	1882.8	1968.0		1958.6	
25.0	0.040	2378.1	4627.4	3453.7	2816.0	2797.2		2653.1	
50.0	0.020	2662.8	7525.9	5135.0	3540.4	3418.3		3168.3	
75.0	0.013	2815.6	9769.6	6349.9	3969.0	3779.7		3467.7	
100.0	0.010	2918.9	11655.1	7329.7	4274.7	4035.1		3679.7	

En la figura 3, se observa que el registro histórico de caudales, tiene un buen ajuste a la distribución Gamma 3 parámetros; por lo tanto se tomarán estos caudales para los estudios y diseño de estructuras.

Figura 3. Gamma 3 parámetros mejor ajuste, método gráfico



- b. Los caudales en la estación de control EC 02, que abarca de Tambogrande hasta la presa Los Egidos, se muestra en el cuadro 5.

Cuadro 5. Caudales calculados por el método de Creager

T.R. (años)	C = (C1+C2)	A (Km ²)	m	n	Q max (m ³ /s)
2	2.97	5907	1.02	0.04	410.5
5	3.66	5907	1.02	0.04	1177.4
10	3.79	5907	1.02	0.04	1740.4
25	3.85	5907	1.02	0.04	2473.6
50	3.87	5907	1.02	0.04	3022.9
75	3.88	5907	1.02	0.04	3342.4
100	3.88	5907	1.02	0.04	3568.3

- c. Los caudales en la estación de control EC 03, que abarca desde Chulucanas hasta Tambogrande, se muestra en el cuadro 6.

Cuadro 6. Caudales calculados por el método de Creager y método estadístico

T.R. (años)	C = (C1+C2)	A (Km ²)	m	n	Q max (m ³ /s)
2	3.038	4612	1.02	0.04	374.6
5	3.272	4612	1.02	0.04	937.0
10	3.303	4612	1.02	0.04	1353.3
25	3.314	4612	1.02	0.04	1897.7
50	3.314	4612	1.02	0.04	2306.6
75	3.313	4612	1.02	0.04	2544.7
100	3.312	4612	1.02	0.04	2713.2

- d. Los caudales en la estación de control EC 04, que abarca desde Buenos Aires hasta Chulucanas, se muestra en el cuadro 7.

Cuadro 7. Caudales calculados por el método de Creager

T.R. (años)	C = (C1+C2)	A (Km ²)	m	n	Q _{max} (m ³ /s)
2	3.07	3232	1.02	0.04	319.5
5	3.08	3232	1.02	0.04	742.5
10	3.06	3232	1.02	0.04	1057.4
25	3.05	3232	1.02	0.04	1470.4
50	3.04	3232	1.02	0.04	1781.1
75	3.03	3232	1.02	0.04	1962.2
100	3.03	3232	1.02	0.04	2090.4

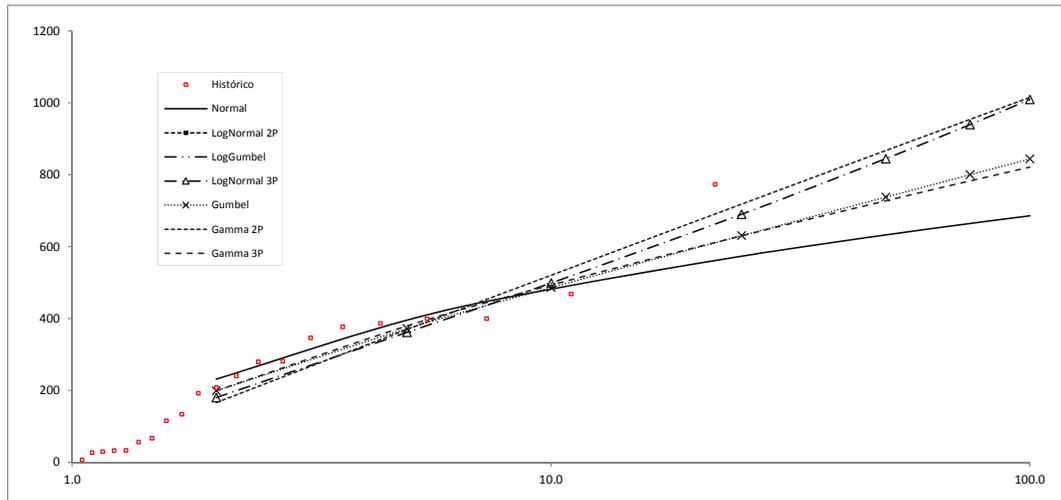
e. Los caudales en la estación de control EC 05, que abarca desde Salitral hasta Buenos Aires, se muestra en el cuadro 8.

Cuadro 8. Caudales máximos para varios periodos de retorno, mediante funciones probabilísticas

Período de Retorno (T)	P	Distribución Normal	Distribución Log Normal 2 parámetros	Distribución Log Normal 3 parámetros	Gamman 2 parámetros	Gamman 3 parámetros	Log-Pearson tipo III	Gumbel	Log Gumbel	Q _{inst}	Area (Km ²)
2.0	0.500	231.2	137.5	180.1	166.0	199.2		199.1	112.2	212.2	1852
5.0	0.200	395.6	389.0	361.5	369.1	379.2		371.7	334.6	471.8	1852
10.0	0.100	481.6	670.5	498.7	520.1	493.0		486.0	689.7	664.8	1852
25.0	0.040	573.3	1197.8	689.9	718.0	630.0		630.5	1720.2	917.8	1852
50.0	0.020	632.5	1742.4	844.4	866.8	727.3		737.6	3388.9	1108.1	1852
75.0	0.013	664.2	2130.4	939.4	953.5	782.5		799.9	5026.0	1219.0	1852
100.0	0.010	685.7	2440.7	1009.0	1015.0	820.9		843.9	6642.9	1297.5	1852

En la figura 4, se observa que el registro histórico de caudales, tiene un buen ajuste a la distribución Gamma 2 parámetros; por lo tanto se tomarán estos caudales para los estudios y diseño de estructuras.

Figura 4. Gamma 2 parámetros mejor ajuste, método gráfico



f. Los caudales en la estación de control EC 06, que abarca desde la confluencia del río Chignia con el río Piura hasta Salitral, se muestra en el cuadro 9.

Cuadro 9. Caudales calculados por el método de Creager

T.R. (años)	C = (C1+C2)	A (Km ²)	m	n	Q _{max} (m ³ /s)
2	2.70	926	1.02	0.04	146.5
5	2.59	926	1.02	0.04	325.7
10	2.55	926	1.02	0.04	458.9
25	2.52	926	1.02	0.04	633.6
50	2.50	926	1.02	0.04	764.9
75	2.49	926	1.02	0.04	841.5
100	2.49	926	1.02	0.04	895.7

En el cuadro 10, se indican un resumen de los caudales máximos instantáneos para estación de Control.

Cuadro 10. Área bajo influencia de cada estación de control

Estación de control (EC)	Caudal (m3/s)		
	P.R. 25 años	P.R. 50 años	P.R. 100 años
EC 01	2727.2	3418.3	4035.1
EC 02	2473.6	3022.9	3568.3
EC 03	1897.7	2306.6	2713.2
EC 04	1470.4	1781.1	2090.4
EC 05	718.0	866.8	1015.0
EC 06	633.6	764.9	895.7

4.4 Conclusiones

El presente estudio abarca todo el cauce; por lo tanto, fue necesario establecer 6 puntos o estaciones de control para calcular los caudales.

Los métodos elegidos, ha considerado el tipo de información de las 3 estaciones hidrométricas existente (Puente Sánchez Cerro, Puente Ñacara y Malacasi).

Con fines de diseño de defensas ribereñas y el dimensionamiento de las estructuras, se recomienda periodos de retorno de 50 años para zonas agrícolas

y 100 años para zonas urbanas.



Análisis de la Vulnerabilidad

INDICE

<i>CAPITULO V</i>	90
<i>ANALISIS DE LA VULNERABILIDAD</i>	90
5.1 Identificación y descripción de los puntos críticos por sectores	90
5.2 Influencia de los tributarios en el comportamiento del río Piura	119

Listado de figuras

Figura 1. Punto crítico 01, sector Crisóstomo	91
Figura 2. Área agrícola en riesgo por inundación	91
Figura 3. Punto crítico 02, sector Santa Rosa	92
Figura 4. Riesgo de inundación centros poblados y áreas de cultivos	93
Figura 5. Punto crítico 03 en el sector La Cordillera	93
Figura 6. Punto crítico 04 en el sector Chotuque	94
Figura 7. Punto crítico 05, sector Chato Chico	95
Figura 8. Desborde del río Piura hacia la Panamericana Norte	95
Figura 9. Punto crítico 06, sector Chatochico	96
Figura 10. Desborde por posible rotura de dique, hacia poblaciones y cultivos	96
Figura 11. Punto crítico 07, sector Independencia	97
Figura 12. Punto crítico 08, sector Mocará	98
Figura 13. Desborde del río por encima del dique	98
Figura 14. Punto crítico 09, sector Mocará	99
Figura 15. Desborde por encima del dique, poniendo en riesgo viviendas, cultivos y caminos de acceso	99
Figura 16. Punto crítico 10, sector Viduque-Simbila	100
Figura 17. Punto crítico 11, sector Puente Bolognesi	100
Figura 18. Desborde del río Piura hacia la ciudad de Castilla	101
Figura 19. Punto crítico 12, puente Cáceres	101
Figura 20. Cauce del río debajo del puente Cáceres colmatado	102
Figura 21. Punto crítico 13, sector Chapaira	102
Figura 22. Desborde del río Piura hacia el sector Chapaira	103
Figura 23. Punto crítico 14, sector Lágrimas de Curumuy	104
Figura 24. Punto crítico 15, sector Santa Clara-Olivares	104
Figura 25. Punto crítico 16, sector Punta Arena	105
Figura 26. Punto crítico 17, sector Carneros	105
Figura 27. Desborde la quebrada Carneros hacia Tambogrande y la planta de tratamiento de aguas residuales	106
Figura 28. Punto crítico 18, sector La Grade	106
Figura 29. Inundación y erosión del río Piura en viviendas y áreas agrícolas	107
Figura 30. Punto crítico 19, sector Santa Rosa de Curvan	108
Figura 31. Erosión de la margen derecha de la quebrada San Francisco	108
Figura 32. Punto crítico 20, sector Malingas	109
Figura 33. Punto crítico 21 y 22, ubicado en el sector Niácara	110
Figura 34. Desborde de la quebrada Niácara y río Piura, hacia cultivos, puente vehicular y viviendas	110
Figura 35. Punto crítico 23, sector Vicus	111
Figura 36. Punto crítico 24, sector Charanal, acumulación de material de acarreo.	112
Figura 37. Puntos críticos 25, 25 y 27, ubicados en los sectores La Bocana, Pabur Viejo y Monterrico	113
Figura 38. Puntos críticos 28, 29 y 30, ubicados en los sectores de Talanquera-Pabur, Mena y Franco Alto	114
Figura 39. Puntos críticos 31, 32 y 33, ubicados en los sectores de Burneo, La Huaquilla y Puente Carrasquillo.	115
Figura 40. Punto crítico 34 y 35, sectores La Toma y Pedregal-Buenos Aires	116
Figura 41. Punto crítico 36, sector Huaro	116
Figura 42. Punto crítico 37, sector Hualas	117
Figura 43. Erosión de la vía asfaltada	117
Figura 44. Ubicación de puntos críticos	119
Figura 45. Ubicación de las subcuencas tributarias	121

Listado de cuadros

<i>Cuadro 1. Ubicación de puntos críticos por inundación y erosión</i>	<u>118</u>
<i>Cuadro 2. Características de los principales tributarios del río Piura</i>	<u>120</u>

CAPITULO V

ANALISIS DE LA VULNERABILIDAD

La Ley N° 29664, Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD), define la vulnerabilidad como la susceptibilidad de la población, la estructura física o las actividades socioeconómicas, de sufrir daños por acción de un peligro o amenaza.

El análisis de la vulnerabilidad, es el proceso mediante el cual se evalúa las condiciones existentes de los factores de la vulnerabilidad: exposición, fragilidad y resiliencia, de la población o de sus medios de vida.

Este capítulo se refiere a la identificación de puntos críticos por desborde y erosión, como consecuencia del desnivel topográfico de las riberas o áreas aledañas y las condiciones físico-mecánico del suelo y taludes.

Cabe diferenciar que los puntos críticos, son aquellos lugares donde hay antecedentes que ha ocurrido desborde, erosión o que a la vista se encuentre en un inminente peligro.

5.1 Identificación y descripción de los puntos críticos por sectores

La identificación de los puntos críticos se realizó in situ, con el apoyo de personas del lugar y se recorrió desde la laguna La Niña (actualmente sin agua) parte baja, ubicado en el distrito de Sechura; hasta la parte alta, distrito de Salitral. Se han identificado 37 puntos críticos y se describen por distrito:

DISTRITO CRISTO NOS VALGA

Se ha identificado un (01) punto crítico en el sector Crisóstomo:

- 1. Sector Crisóstomo.** Posibilidad que el dique Tapa de Crisóstomo de rompa ante una inundación, lo que pondría en riesgo a centros poblados como Cerrito, San Cristo, Coronado y Bernal; así como también cultivos y canales de riego.

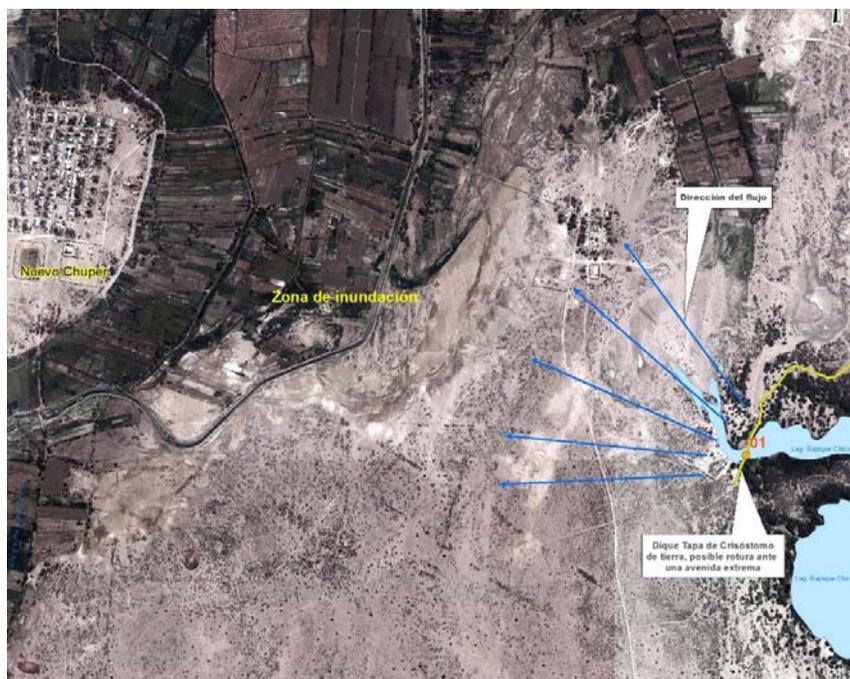


Figura 1. Punto crítico 01, sector Crisóstomo



Figura 2. Área agrícola en riesgo por inundación

DISTRITO BERNAL-EL TALLAN

Se ha identificado (03) puntos críticos en los sectores Santa Rosa, La Cordillera y Chotuque.



Figura 4. Riesgo de inundación centros poblados y áreas de cultivos

3. **Sector La Cordillera.** Existe riesgo de inundación (o desborde) de áreas de cultivos y viviendas del centro poblado El Piedral.

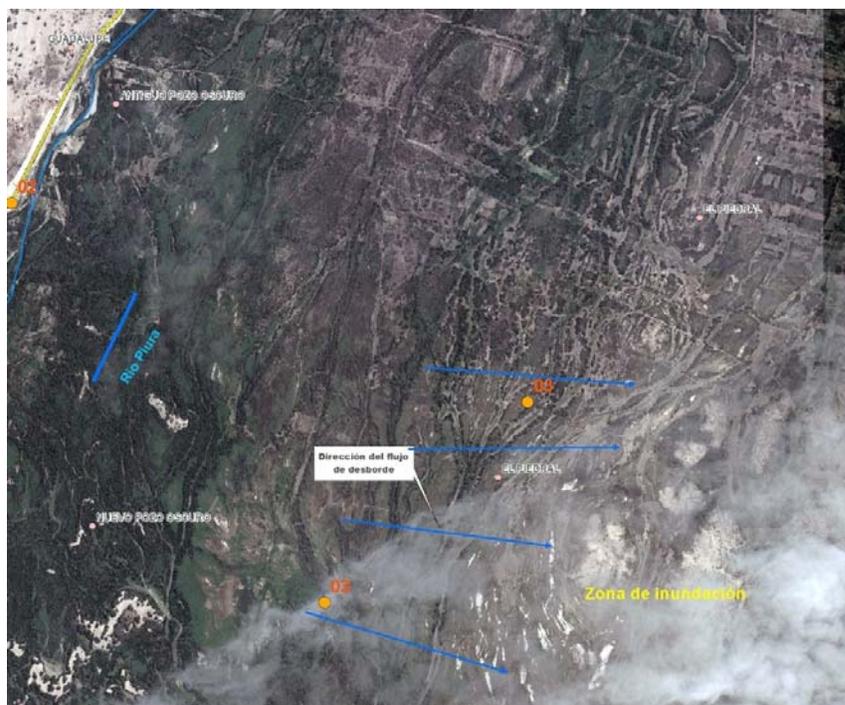


Figura 5. Punto crítico 03 en el sector La Cordillera

- Sector Chotuque.** Desborde del río Piura por la margen izquierda afectaría la Panamericana Norte, los centros poblados de Nuevo Pedregal y Tabanco y cultivos.

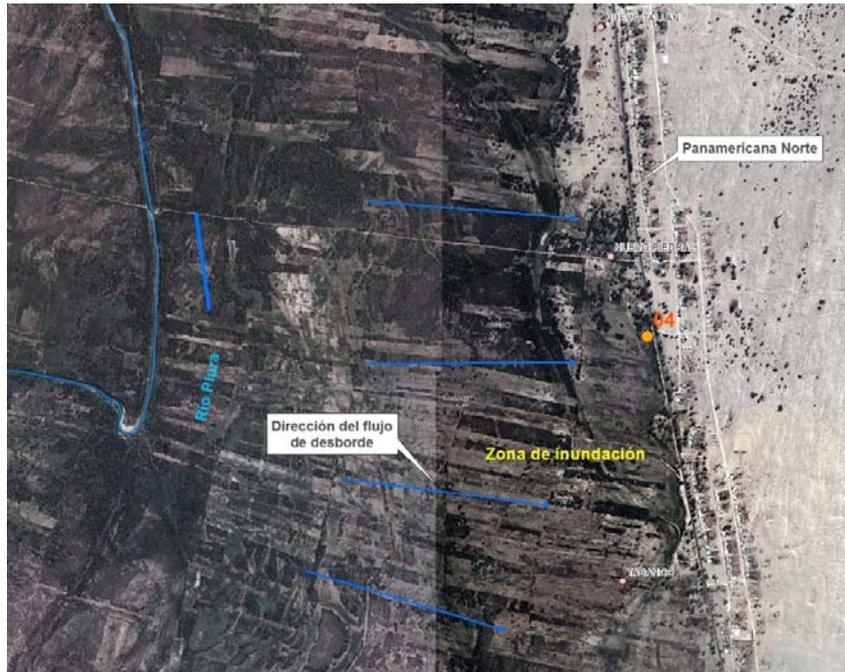


Figura 6. Punto crítico 04 en el sector Chotuque

DISTRITO CURA MORI

Se ha identificado un (01) punto crítico en el sector Chato Chico.

- Sector Chato Chico.** Desborde por encima del dique de tierra (margen izquierda) afectaría la Panamericana Norte, incluso viviendas y otra infraestructura.

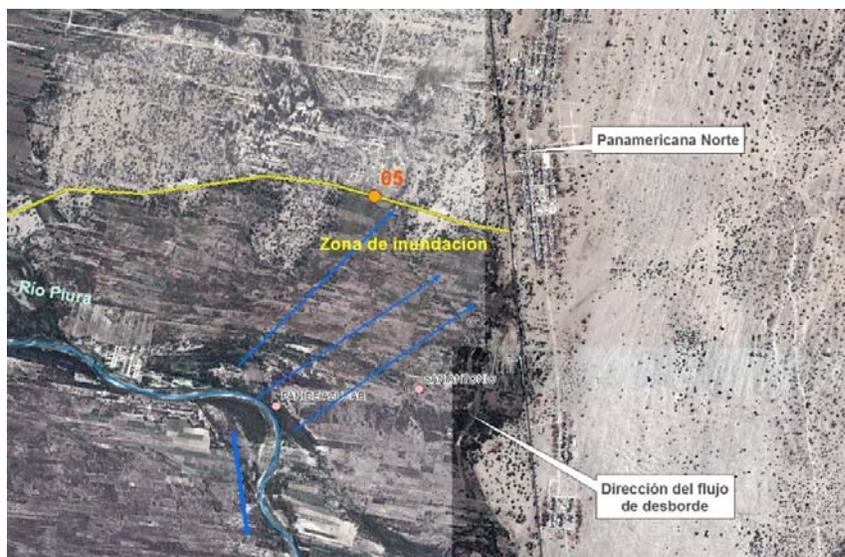


Figura 7. Punto crítico 05, sector Chato Chico



Figura 8. Desborde del río Piura hacia la Panamericana Norte

DISTRITO LA ARENA

Se ha identificado un (01) punto crítico en el sector La Joya

6. **Sector La Joya.** Posibilidad de rotura de dique ante una avenida extrema del río Piura, poniendo en riesgo los centros poblados de Sinchao Grande,

Canizal Chico, Chatito y otros.

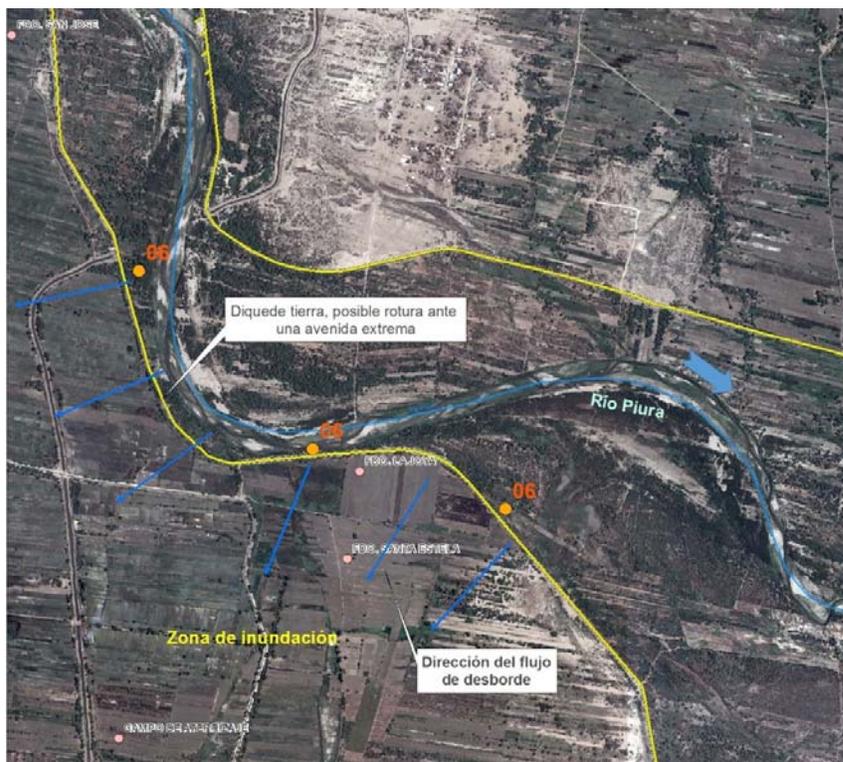


Figura 9. Punto crítico 06, sector Chatochico



Figura 10. Desborde por posible rotura de dique, hacia poblaciones y cultivos

DISTRITO DE CATACAOS

Se ha identificado 04 puntos críticos en los sectores Independencia, Mocará, Narihuala y Viduque-Simbilá.

- 7. Sector Independencia.** Posibilidad de rotura del dique frente a una avenida extrema, poniendo en riesgo a poblaciones como Pedregal Chico, Molino Azul y Fdo. Yolanda Gonzales.



Figura 11. Punto crítico 07, sector Independencia

- 8. Sector Mocará.** Posibilidad de desborde por encima del dique de tierra, poniendo en riesgo centro poblados como Pampa Silva, Moncará, Jesús María y El Alto de los Mechatos, áreas de cultivos y caminos de acceso.



Figura 12. Punto crítico 08, sector Mocará



Figura 13. Desborde del río por encima del dique

9. **Sector Mocará.** Posibilidad de desborde por encima del dique de tierra, poniendo en riesgo de inundación a poblaciones como Narihuala, cultivos y caminos de acceso.



Figura 14. Punto crítico 09, sector Mocará



Figura 15. Desborde por encima del dique, poniendo en riesgo viviendas, cultivos y caminos de acceso

10. Sector Viduque-Simbila. Posibilidad de desborde por encima del dique de tierra, poniendo en riesgo de inundación a la ciudad de Catacaos y poblados como Pueblo Nuevo, Viduque, Mundaca y Simbila, así como cultivos y vías de acceso.



Figura 16. Punto crítico 10, sector Viduque-Simbila

DISTRITO DE CASTILLA

Se ha identificado 03 puntos críticos, ubicados en los sectores de Puente Bolognesi, Puente Cáceres y Chapaira.

11. Sector Puente Bolognesi. Posibilidad de desborde del río Piura, poniendo en riesgo a la ciudad de Castilla e infraestructura de servicio.



Figura 17. Punto crítico 11, sector Puente Bolognesi



Figura 18. Desborde del río Piura hacia la ciudad de Castilla

12. Sector Puente Cáceres. Material de acarreo se encuentra acumulado debajo del puente Cáceres, disminuyendo la sección hidráulica del cauce del río, lo que pone en situación favorable para un aumento de la socavación ante una avenida extrema, poniendo en riesgo las estructuras del puente.



Figura 19. Punto crítico 12, puente Cáceres

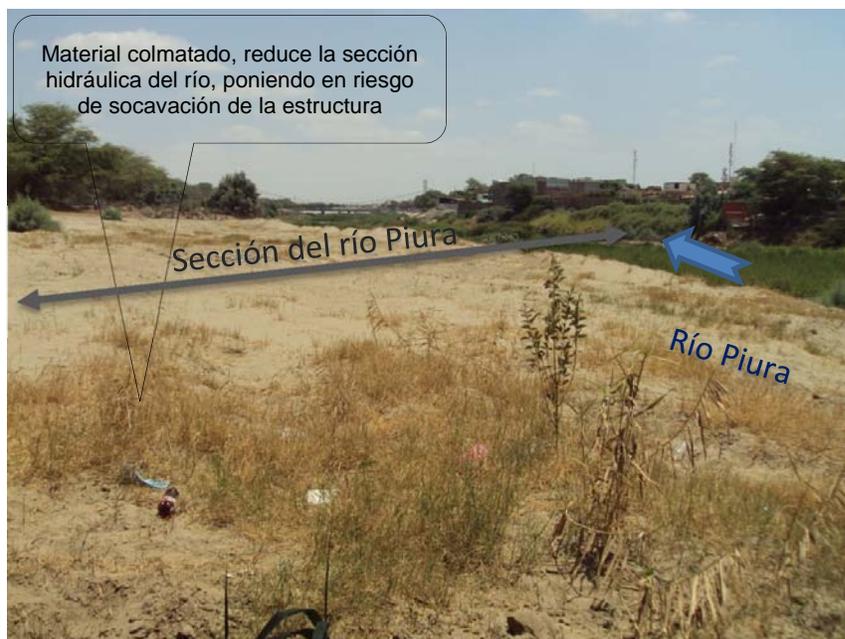


Figura 20. Cauce del río debajo del puente Cáceres colmatado

13. Sector Chapaira. Desborde del río Piura hacia campos agrícolas y viviendas, caminos de acceso, una captación y canales de riego.

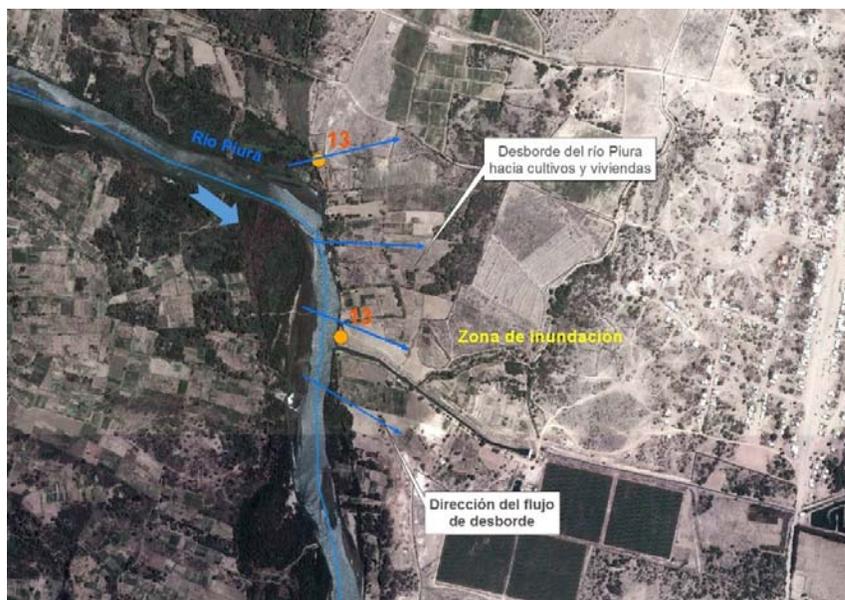


Figura 21. Punto crítico 13, sector Chapaira



Figura 22. Desborde del río Piura hacia el sector Chapaira

DISTRITO DE PIURA

Se ha identificado 02 puntos críticos, ubicados en los sectores Lágrimas de Curumuy y Santa Clara-Olivares.

14. Sector Lágrimas de Curumuy. Desborde por la margen derecha del río Piura hacia campos agrícolas y viviendas, caminos de acceso y canales de riego.

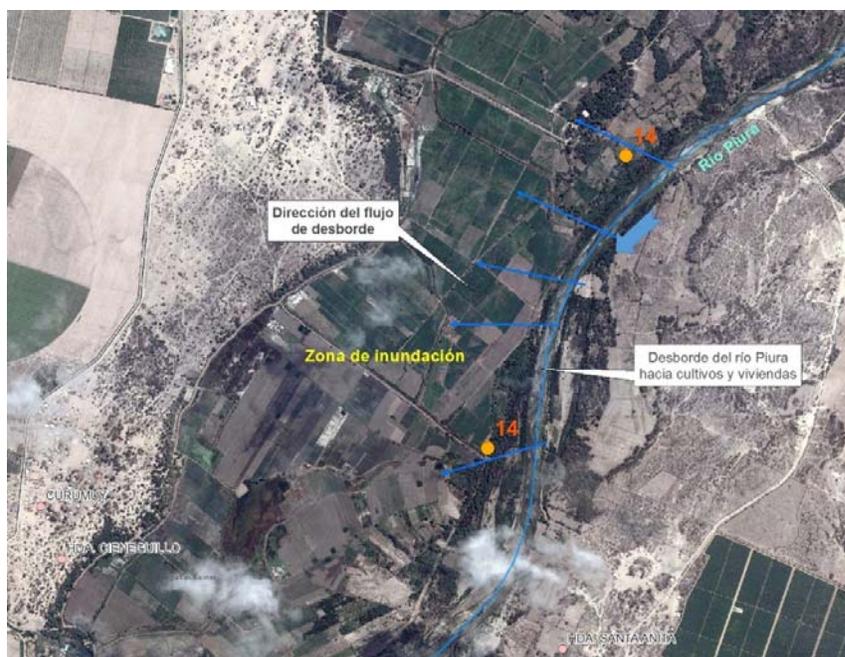


Figura 23. Punto crítico 14, sector Lágrimas de Curumuy

15. Sector Santa Clara-Olivares. Desborde por la margen derecha del río Piura hacia campos agrícolas y viviendas, caminos de acceso y canales de riego.

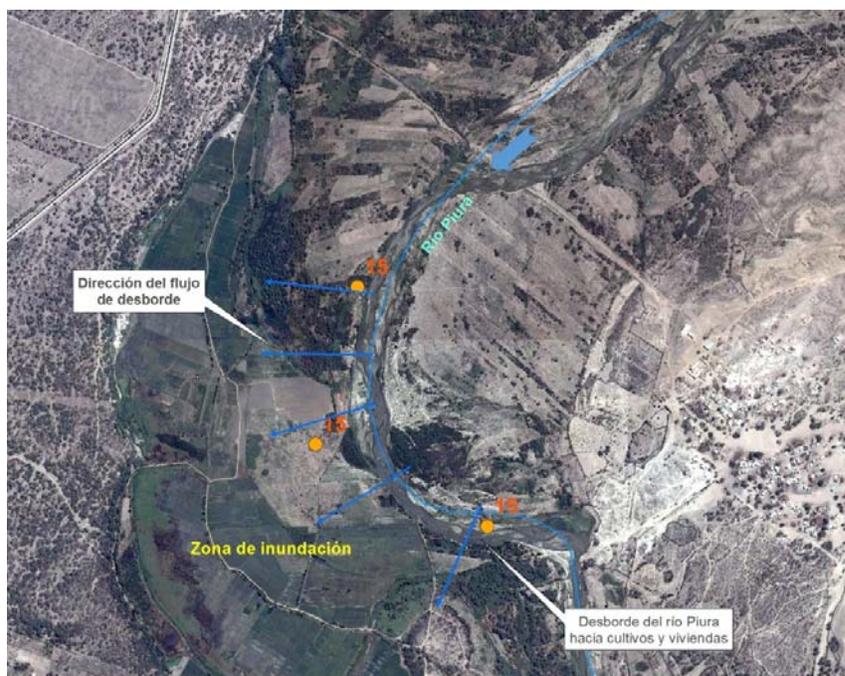


Figura 24. Punto crítico 15, sector Santa Clara-Olivares

DISTRITO DE TAMBOGRANDE

Se ha identificado 05 puntos críticos, ubicados en los sectores Punta Arena, Carneros, La Grade, Santa Rosa de Curvan y Malingas.

16. Sector Punta Arena. Desborde por la margen izquierda del río Piura hacia campos agrícolas.

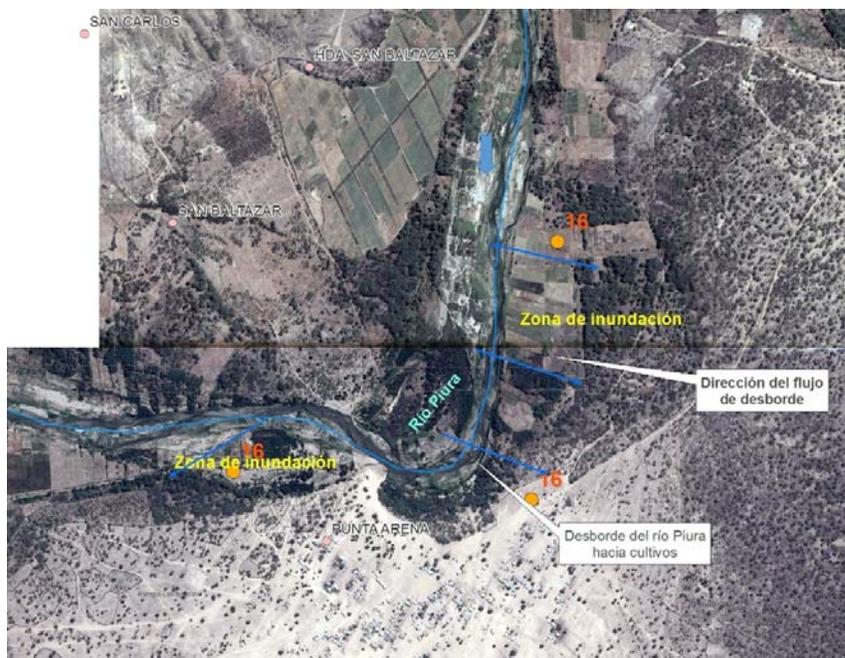


Figura 25. Punto crítico 16, sector Punta Arena

17. Sector Carneros. Desborde del río Piura y la quebrada Carneros hacia el distrito de Tambogrande, poniendo en riesgo viviendas, la planta de tratamiento de aguas residuales, áreas agrícolas y caminos de acceso.



Figura 26. Punto crítico 17, sector Carneros



Figura 27. Desborde la quebrada Carneros hacia Tambogrande y la planta de tratamiento de aguas residuales

18. Sector La Grada. Posibilidad de desborde y erosión del río Piura pone en riesgo viviendas, áreas agrícolas, caminos de acceso y canales de riego.

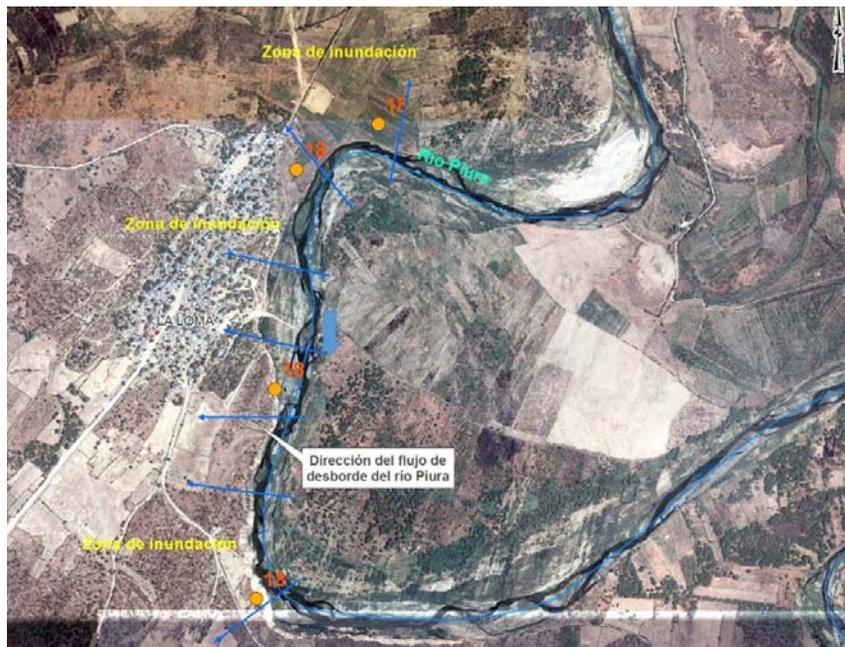


Figura 28. Punto crítico 18, sector La Grade



Figura 29. Inundación y erosión del río Piura en viviendas y áreas agrícolas

19. Sector Santa Rosa de Curvan. Posibilidad de desborde y erosión de la quebrada San Francisco, hacia el centro poblado de Santa Rosa de Curvan y áreas agrícolas, también existe el riesgo de inundación de cultivos del río Piura.

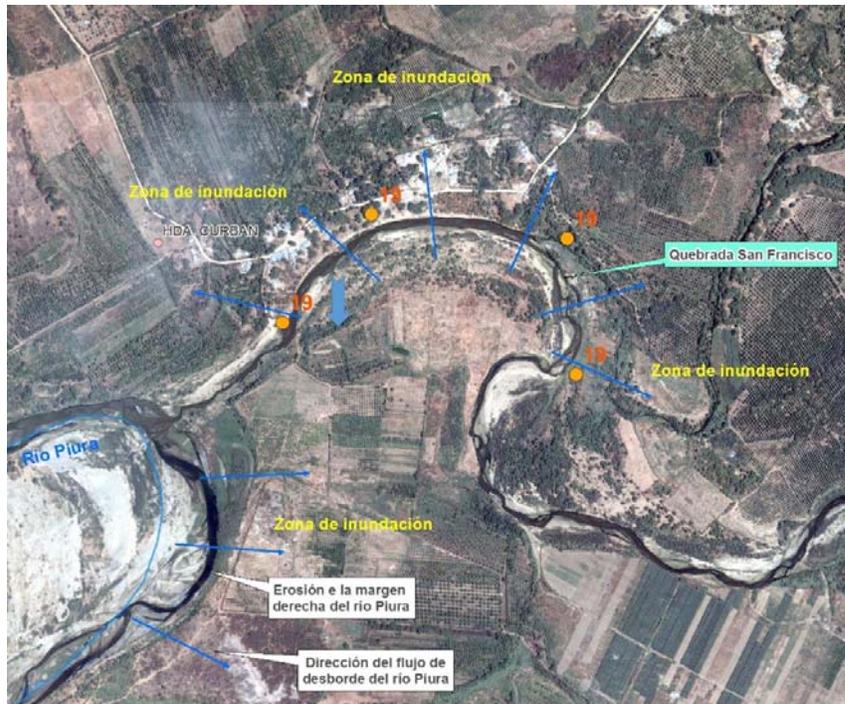


Figura 30. Punto crítico 19, sector Santa Rosa de Curvan



Figura 31. Erosión de la margen derecha de la quebrada San Francisco

20. Sector Malingas. Desborde de la quebrada San Francisco por la margen izquierda, poniendo en riesgo de inundación al centro poblado de Malingas, áreas agrícolas y un puente vehicular.



Figura 32. Punto crítico 20, sector Malingas

DISTRITO DE CHULUCANAS

Se ha identificado 05 puntos críticos, ubicados en los sectores Nácara, Vicus, Charanal y La Bocana.

21. Sector Nácara. Desborde de la quebrada Nácara en ambas márgenes, con posibilidad de romper el dique ubicado en la margen izquierda del río Piura, poniendo en riesgo, viviendas, el puente Nácara, cultivos y el instituto tecnológico superior.

22. Sector Nácara. Desborde de la quebrada Nácara en la margen derecha, poniendo en riesgo, viviendas y servicios en el distrito de Chulucanas; así como cultivos.



Figura 33. Punto crítico 21 y 22, ubicado en el sector Nácara



Figura 34. Desborde de la quebrada Niácara y río Piura, hacia cultivos, puente vehicular y viviendas

23. Sector Vicus. Desborde y erosión del río Piura por la margen izquierda, hacia viviendas y cultivos.

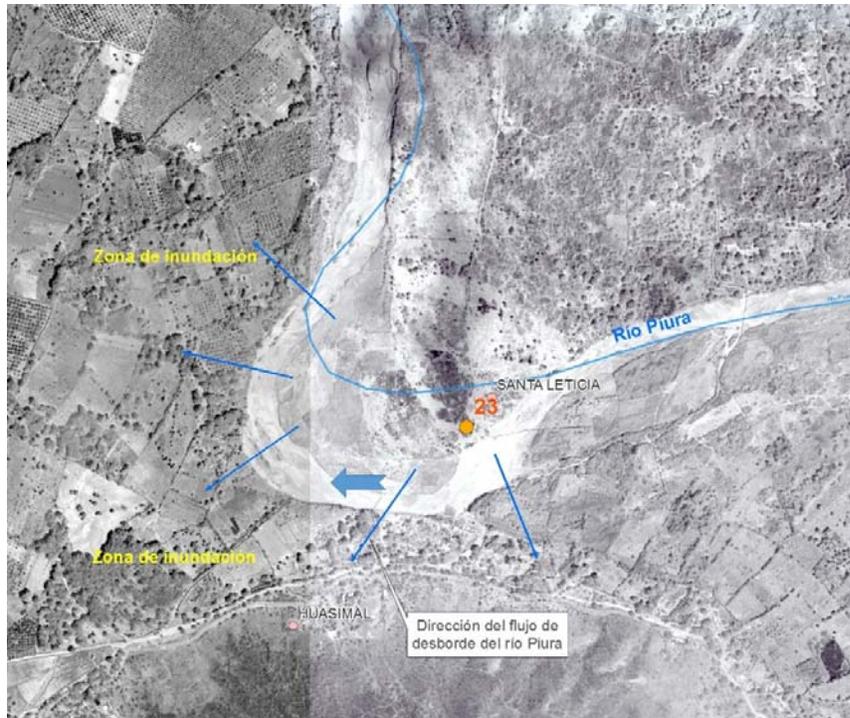


Figura 35. Punto crítico 23, sector Vicus

24. Sector Charanal. El material de acarreo acumulado, ha creado condiciones favorables para las inundaciones de la margen derecha de la quebrada Charanal.



Figura 36. Punto crítico 24, sector Charanal, acumulación de material de acarreo.

25. Sector La Bocana. La quebrada Las Damas en ambas márgenes, presenta condiciones para desborde y erosiones ante avenidas extremas, poniendo en riesgo a las poblaciones de Piura La Vieja y la Bocana; así como áreas agrícolas.

DISTRITO LA MATANZA

Se ha identificado 01 punto crítico, ubicado en el sector Pabur Viejo.

26. Sector Pabur Viejo. Hacia la margen izquierda del río Piura, presenta condiciones de erosión e inundación hacia el poblado de Pabur Viejo.

DISTRITO MORROPON

Se ha identificado 08 puntos críticos, ubicados en los sectores Monterrico, Talanquera-Pabur, Mena, Franco Alto, Burneo, La Huaquilla, La Toma y Puente Carrasquillo.

27. Sector Monterrico. Hacia la margen derecha del río Piura, presenta condiciones de erosión e inundación hacia el poblado de Monterrico.



Figura 37. Puntos críticos 25, 25 y 27, ubicados en los sectores La Bocana, Pabur Viejo y Monferrico

- 28. Sector Talanquera-Pabur.** Hacia la margen derecha del río Piura, presenta condiciones de erosión e inundación hacia el poblado de Talanquera y áreas de cultivos hacia la margen derecha.

- 29. Sector Mena.** Hacia ambas márgenes de la quebrada Mena, presenta condiciones inundación hacia zonas agrícolas y viviendas del poblado Franco.

- 30. Sector Franco Alto.** Hacia ambas márgenes de la quebrada De Franco, presenta condiciones inundación hacia el poblado de Franco Alto.



Figura 38. Puntos críticos 28, 29 y 30, ubicados en los sectores de Talanquera-Pabur, Mena y Franco Alto

- 31. Sector Burneo.** Presenta condiciones de desbordes en ambas márgenes del río Piura hacia zonas agrícolas.
- 32. Sector La Huaquilla.** Hacia la margen derecha del río Piura existe riesgo de erosión de la vía afirmada, que va hacia Chulucanas.
- 33. Sector Puente Carrasquillo.** La colmatación con material de acarreo, ha disminuido la sección hidráulica del río Piura, poniendo en riesgo de socavación de la cimentación del puente vehicular Carrasquillo.

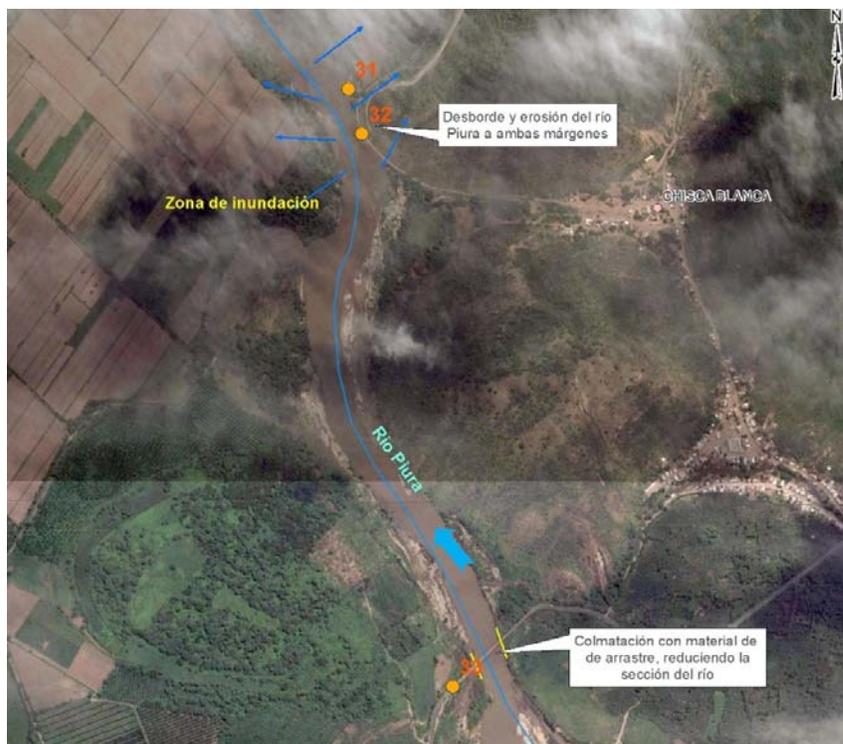


Figura 39. Puntos críticos 31, 32 y 33, ubicados en los sectores de Burneo, La Huaquilla y Puente Carrasquillo.

34. Sector La Toma. En la margen derecha del río Piura existe riesgo de erosión de zonas de cultivos, influenciado por el río Corrales y hacia la margen izquierda hay riesgo de inundación del poblado La Toma.

DISTRITO MORROPON

Se ha identificado 03 puntos críticos, ubicados en los sectores Pedregal-Buenos Aires, Huaro y Hualas.

35. Sector Pedregal-Buenos Aires. Desborde y erosión hacia los poblados de Pueblo Nuevo y Chihuahua, desborde o inundación hacia zonas de cultivos.

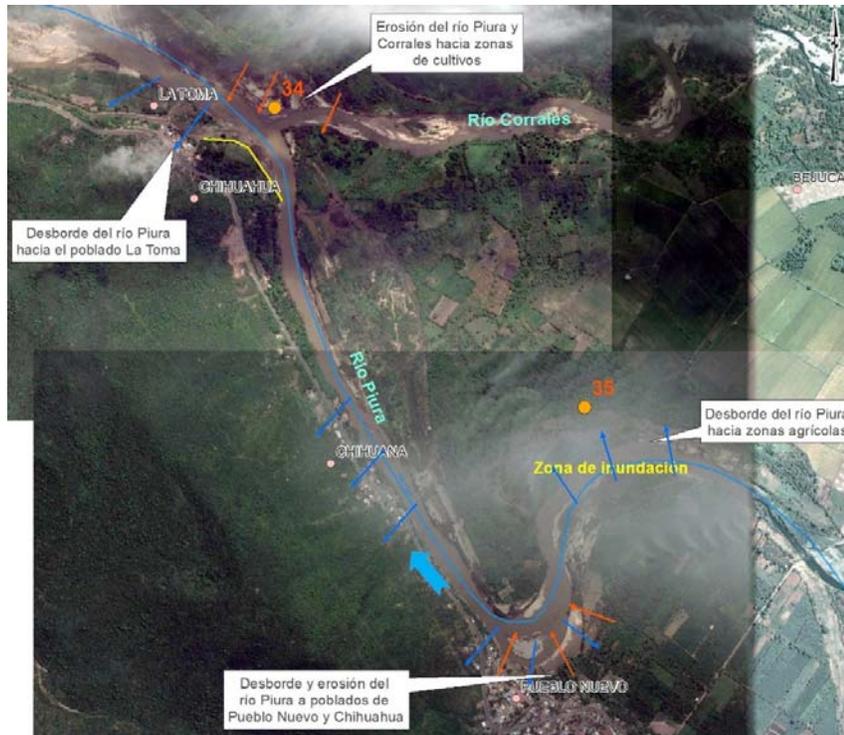


Figura 40. Punto crítico 34 y 35, sectores La Toma y Pedregal-Buenos Aires

36. Sector Huaro. Desborde e inundación en ambas márgenes del río Piura, hacia zonas de cultivos.

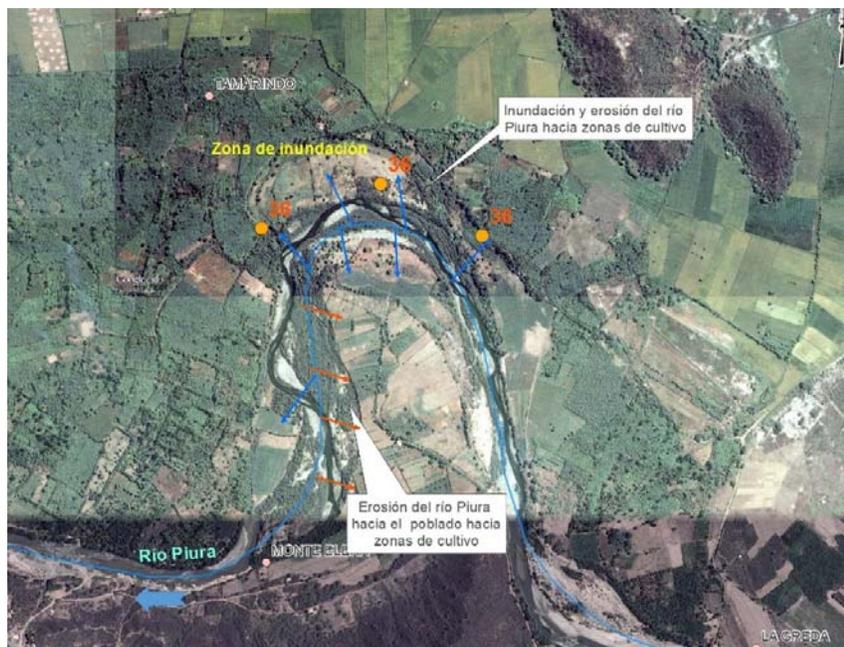


Figura 41. Punto crítico 36, sector Huaro

37. Sector Hualas. Presenta condiciones de erosión de la vía asfaltada en la margen izquierda del río Piura, inundación del poblado de Juana Ríos y cultivos.

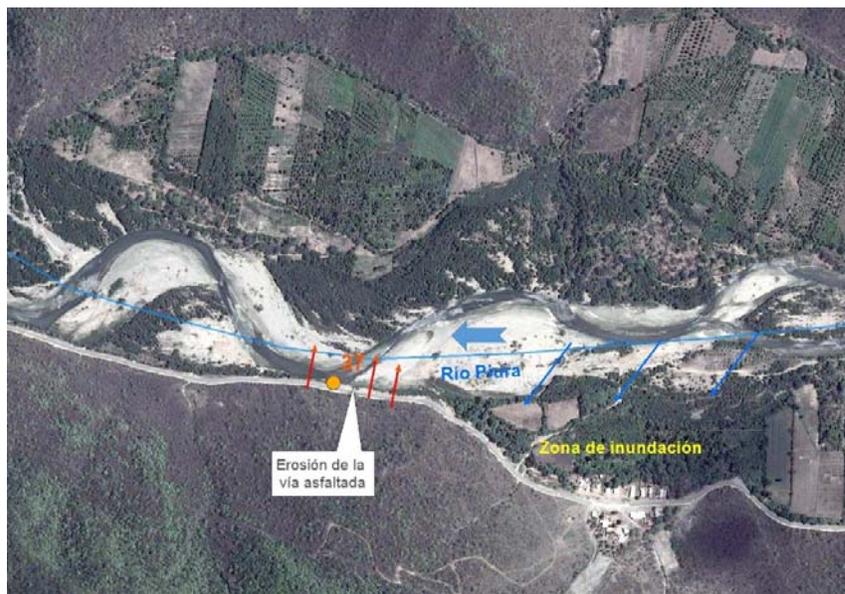


Figura 42. Punto crítico 37, sector Hualas



Figura 43. Erosión de la vía asfaltada

En el cuadro 1, se muestra que si se presentara un evento de inundación extremo se afectarían directamente más de 4600 viviendas, 6500 ha, vías de acceso (asfaltado, afirmado y trochas), canales de riego, entre otros daños.

Cuadro 1. Ubicación de puntos críticos por inundación y erosión

P.C.	Provincia	Distrito	Sector	Margen	x	y	Viviendas (N°)	Daños en cultivos (Ha)	Vía asfaltada (m)	Vía afirmada	Trocha (m)	Puentes	Bocatomas	Canales (m)	Centros poblados, urbanos	Descripción
01	Secura	Cristo Nos Valga	Crisóstomo	D	531919	9391314	400	180			500			500	Cerrito, San Cristo, Coronado, Bernal	Dique Tapa Crisóstomo, en riesgo de rotura
02	Secura-Piura	Bernal-El Tallán	Santa Rosa	D	538520	9396070	60	2000							Guadalupe, Cordillera	Posible desborde por rotura de dique
					539455	9400266										
03	Secura	Bernal	La Cordillera	I	539988	9394193	50	20	500						El Piedral	Afectaría la Panamericana Norte
					540941	9395136										
04	Piura	El Tallan	Chotuyque	I	543329	9398136	300	80	1600						Tabanco y Nuevo Pedregal	Afectaría la Panamericana Norte
05	Piura	Cura Mori	Chato Chico	I	541687	9405475	40		2200							Afectaría la Panamericana Norte
					537268	9404945										
06	Piura	La Arena	La Joya	D	536370	9405225	100	1500			2000			1200	Sincha Grande, Canizal Chico, Chaito	
					535561	9406057										
07	Piura	Catacaos	Independencia	I	533341	9413604	800	320	700					600	Pedregal Chico, Molino Azul, Fdo. Yolanda Gonzales	Inundación, Carretera Catacaos-La Arena
					533445	9413939										
					533523	9414710										
08	Piura	Catacaos	Mocarí	D	532840	9414351	350	500	350					1500	Pampa Silva, Moncara, Jesús María, El Alto de los Mechatos	Carretera Catacaos-La Arena
09	Piura	Catacaos	Narihuala	I	533731	9415937	200	120	750		1200			500	Narihuala	Carretera Catacaos-La Arena
10	Piura	Catacaos	Viduyque-Simbilá	I	536711	9419134	800	150	500						Pueblo Nuevo, Viduyque, Mundaca, Simbilá	Inundación de Catacaos
					538258	9420254										
11	Piura	Castilla	Puente Bolognesi	I	541385	9424210	450								Castilla	Inundación de Castilla
12	Piura	Castilla	Puente Cáceres	D-I	541575	9427091	40					1			Piura y Castilla	Puente Cáceres colmatado
13	Piura	Castilla	Chapaira	I	542346	9433564	50	350			1500		1	500		Colmatación de captación
					542280	9434095										
14	Piura	Piura	Lágrimas de Curumuy	D	543128	9444231	80	280						500	Curumuy	
					543840	9445739										
					544599	9448185										
15	Piura	Piura	Santa Clara-Olivares	D	543996	9448475	30	250			200			500		
					544142	9449027										
					550670	9450565										
16	Piura	Tambogrande	Punta Arena	I	551798	9450458		50								
					551897	9451436										
17	Piura	Tambogrande	Carneros	D	573122	9454407	300	40			1000				Tambogrande	01 planta tratamiento de aguas residuales
					573435	9454359										
					573870	9454021										
					572281	9451121										
18	Piura	Tambogrande	La Grade	I	572364	9452053	200	100			1500			500	La Loma	
					572458	9453031										
					572824	9453234										
19	Piura	Tambogrande	Santa Rosa de Curvan	D	576249	9452647	30	40							Santa Rosa	Erosión de Santa Rosa de Curvan
					576401	9452943										
					577027	9452877										
					577052	9452505										
20	Piura	Tambogrande	Malingas	D	581881	9452760	50	140			600	1			Malingas	Desborde de la quebrada San Francisco
					582564	9453187										
					583061	9454148										
21	Morropón	Chulucanas	Niárcara	D-I	592114	9434222	20	100	500			1			Niárcara	Puente Niárcara, la qda. Niárcara puede romper la defensa ribereña y dañar el instituto
					591898	9434450										
					591697	9434661										
					591419	9434813										
22	Morropón	Chulucanas	Niárcara	D	592698	9435430	100	50							Niárcara	Qda. Yapatera
					592761	9435539										
					592874	9435753										
					593056	9435689										
23	Morropón	Chulucanas	Vicus	I	593184	9432173	10	60							Vicus	Inundación
24	Morropón	Chulucanas	Charanal	D	596856	9433669		30								Producción de sedimentos
25	Morropón	Chulucanas	La Bocana	D	601206	9429370	70	29							La Bocana, Piura La Vieja	Erosión, Qda. Las Damas
					601551	9429770										
					601936	9430720										
26	Morropón	La Matanza	Pabur Viejo	I	600840	9428489	20								Pabur Viejo	Inundación y erosión
27	Morropón	Morropón	Monterrico	D	601743	9428266	15			850					Monterrico	Inundación y erosión
28	Morropón	Morropón	Talanguera-Pabur	D-I	603489	9427750	15	122							Talanguera	Erosión e inundación
29	Morropón	Morropón	Mena	D	606527	9427682	5	30								Inundación por desborde, Qda. Mena
					606559	9427867										
30	Morropón	Morropón	Franco Alto	D	606966	9428061	15								Franco Alto	Inundación por desborde de la Qda. De Franco
31	Morropón	Morropón	Burneo	D-I	608540	9425453		60								Inundación y erosión de cultivos
32	Morropón	Morropón	La Huaquilla	D	608867	9425390				200						Erosión de carretera
33	Morropón	Morropón	Puente Carrasquillo	I	608912	9423898						1				Puente Carrasquillo colmatado
34	Morropón	Morropón	La Toma	D	610787	9423145		20								Erosión de cultivos
35	Morropón	Buenos Aires	Pedregal-Buenos Aires	D-I	611524	9421243	44	60							Chihuahua y Pueblo Nuevo	
					615027	9419974										
					615416	9420119		92								
					615747	9419949										
37	Morropón	Buenos Aires	Hualas	D-I	620722	9411113	10	37	1500						Juana Ríos	Erosión de vía asfaltada

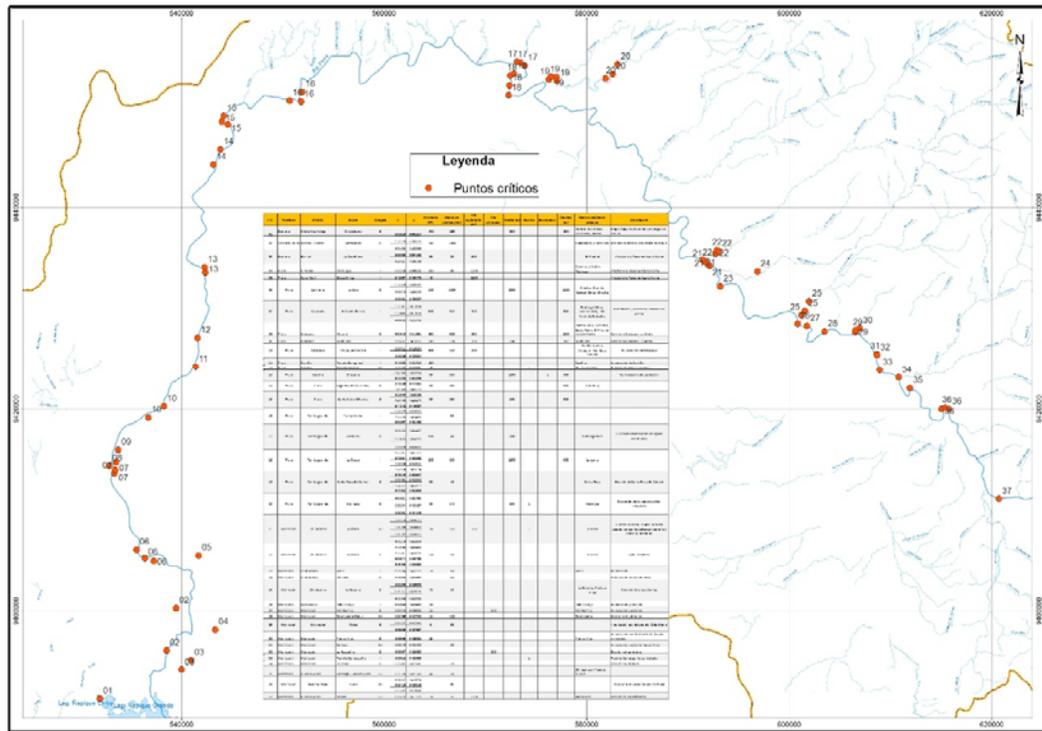


Figura 44. Ubicación de puntos críticos

5.2 Influencia de los tributarios en el comportamiento del río Piura

Se han identificado 9 tributarios que fluyen sus aguas al río Piura; que en épocas de extremas precipitaciones, arrastran caudales con grandes cantidades de sólidos, que en su recorrido pueden ocasionar daños a nivel de infraestructura de servicios, viviendas y vidas humanas.

Cerca de la confluencia con el río Piura, forman acumulaciones de material de arrastre o causan erosión de laderas, en ambos casos contribuyen a la formación de puntos críticos o zonas vulnerables.

La pendiente de los tributarios varía de 0.6% (Qda. Carnero) a más del 7% (río Charanal), mientras que la pendiente promedio de las subcuencas varía entre 2.6 a 39.2%, es decir de planicie a pendiente fuerte, con procesos denudacionales intensos y peligro extremo de erosión de suelos.

Las mayores pendientes se ubican en la parte media y alta de las subcuencas;

por lo tanto, la erosión y el arrastre de partículas son elevadas en estas zonas. En cambio en la desembocadura, la pendiente es menor y la sedimentación mayor.

En el cuadro 2, están representados los tributarios con algunas de sus principales características. En la figura 45, se muestra la ubicación de estos tributarios respecto a la cuenca del río Piura y su relación respecto a los puntos críticos.

Cuadro 2. Características de los principales tributarios del río Piura

Nº	Tributario	Longitud del cauce (m)	Altitud mínima (m.s.n.m.)	Altitud máxima (m.s.n.m.)	Pendiente promedio del cauce (%)	Pendiente de la subcuenca			Grado de erosión
						(º)	(%)	Tipo	
01	Río Bigote	53,576	3,100	150	5.51	19.9	36.2	Fuerte, escarpado	Procesos denudacionales intensos (deslizamientos), peligro extremo de erosión de suelos
02	Río Corrales	43,269	2,850	120	6.31	21.4	39.2	Fuerte, escarpado	Procesos denudacionales intensos (deslizamientos), peligro extremo de erosión de suelos
03	Qda. De Franco	6,900	400	100	4.35	9.0	15.8	Moderada, accidentado medio	Deslizamientos ocasionales, peligro de erosión severo
04	Qda. Mena	7,390	400	100	4.06	6.0	10.5	Baja, suave	Peligro de erosión severo
05	Qda. Las Damas	24,268	2,000	100	7.83	15.2	27.2	Moderada, fuerte accidentado	Deslizamientos ocasionales, peligro de erosión severo
06	Río Charanal	47,289	3,250	90	6.68	16.8	30.2	Fuerte, fuerte accidentado	Procesos denudacionales intensos (deslizamientos), peligro extremo de erosión de suelos
07	Río Yapatera	44,738	2,800	80	6.08	17.5	31.5	Fuerte, fuerte accidentado	Procesos denudacionales intensos (deslizamientos), peligro extremo de erosión de suelos
08	Qda. San Francisco	43,429	1,000	75	2.13	6.8	11.9	Baja, suave	Peligro de erosión severo
09	Qda. Carnero	31,069	250	70	0.58	1.5	2.6	Planicie, llano	Sin denudación apreciable

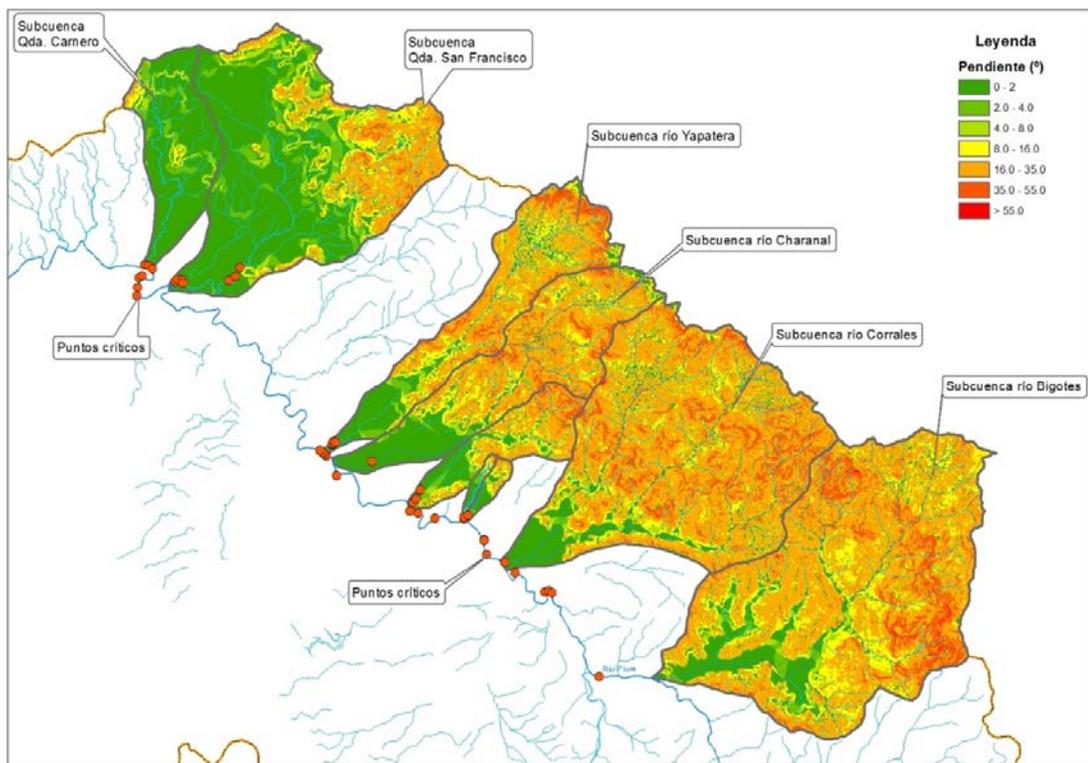


Figura 45. Ubicación de las subcuencas tributarias



Capítulo VI

Hidráulica fluvial

INDICE

CAPITULO VI	125
HIDRAULICA FLUVIAL	125
6.1 Análisis hidráulico del cauce	125
6.1.1 Morfología fluvial	125
6.2.2 Acondicionamiento del cauce al régimen de equilibrio	133
6.2.3 Parámetros hidráulicos fluviales y elementos del cauce	139
6.2 Granulometría	146
6.3 Análisis de socavación	148

Listado de figuras

Figura 1. Variación del caudal promedio, estación Puente Piura	125
Figura 2. Caudal promedio mensual 1998 y 1983	126
Figura 3. Caudal promedio mensual 1990	126
Figura 4. Grado de la sinuosidad de un río	127
Figura 5. Sinuosidad del río Piura, tramo laguna La Niña y presa Los Egidos	128
Figura 6. Sinuosidad del río Piura, tramo presa Los Egidos Tambogrande	129
Figura 7. Sinuosidad del río Piura, tramo Tambogrande naciente	129
Figura 8. Tipos de ríos	130
Figura 9. Variación del eje del río Piura, entre Chulucanas y Tambogrande	131
Figura 10. Variación del eje del río en el tiempo, entre Tambogrande y Piura	132
Figura 11. Variación del eje del río Piura en la parte baja de la cuenca	133
Figura 12. Trazo para reducir curvas	134
Figura 13. Existencia de estructuras de cruce (puente), condicionan la delimitación del eje	135
Figura 14. Defensas ribereñas, condicionan la delimitación del eje	135
Figura 15. Eje del río Piura	136
Figura 16. Eje propuesto del río Piura	137
Figura 17. Coordenadas del eje propuesto	138

Listado de cuadros

Cuadro 1. Propuesta de coordenadas de las progresivas	138
Cuadro 2. Pendiente del río Piura	139
Cuadro 3. Valores de K2	145
Cuadro 4. Características hidráulicas del río Piura	146
Cuadro 5. Granulometría del cauce del río	147
Cuadro 6. Valores de Manning	148
Cuadro 7. Profundidad de socavación	152

CAPITULO VI

HIDRAULICA FLUVIAL

6.1 Análisis hidráulico del cauce

6.1.1 Morfología fluvial

Los factores físicos principales que actúan como condicionantes en un cauce estable son: el régimen hidrológico, la sinuosidad y geomorfología.

Régimen hidrológico. El caudal del río Piura varía de acuerdo a los meses del año y al espacio que recorre. Entre los meses de febrero a abril, se registran los mayores caudales y entre los meses de agosto a diciembre, se presentan los caudales más bajos del año, llegando a no registrarse caudales (figura 1).

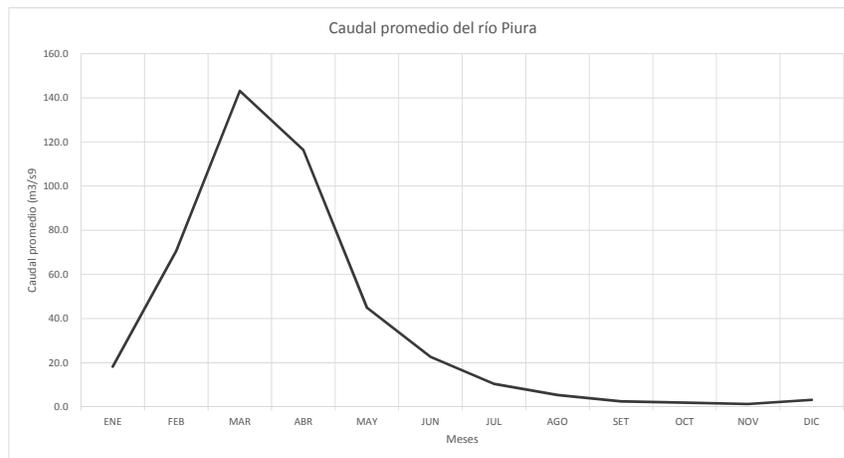


Figura 1. Variación del caudal promedio, estación Puente Piura

Fuente: Elaboración propia con información del Proyecto Especial Chira Piura

En los años influenciados por el fenómeno El Niño y otros eventos extremos, los caudales son mayores a los promedios históricos, como lo ocurrido en los años 1998 y 1983, cuyos caudales promedios mensuales son 1,659 m³/s y 1,163 m³/s respectivamente (figura 2).

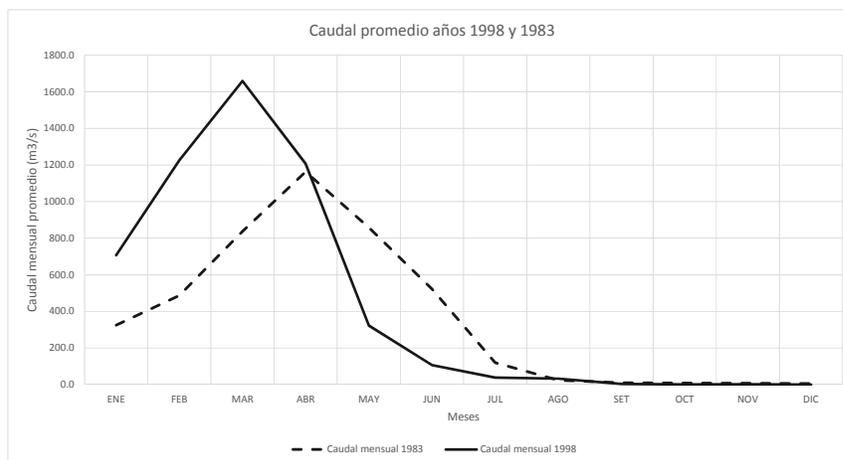


Figura 2. Caudal promedio mensual 1998 y 1983

Fuente: Elaboración propia con información del Proyecto Especial Chira Piura

Hay años secos, donde los caudales promedios mensuales no alcanzan ni siquiera a 1 m³/s, como lo ocurrido el año 1990 (figura 3).

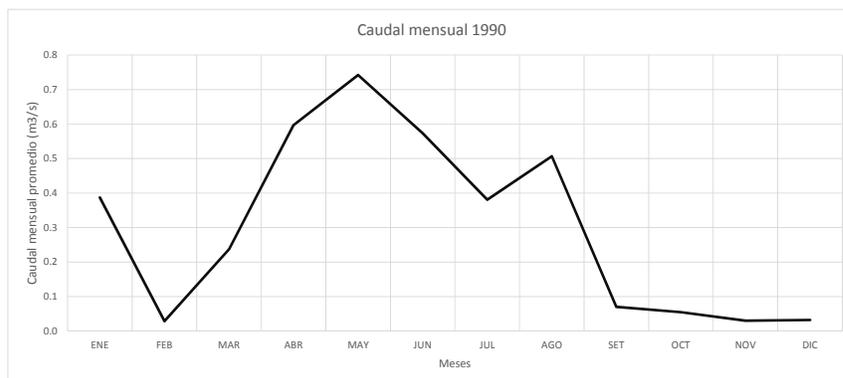


Figura 3. Caudal promedio mensual 1990

Fuente: Elaboración propia con información del Proyecto Especial Chira Piura

Sinuosidad. Es otro factor importante en la estabilidad de un río. Un río en estado natural no es recto. Por lo tanto, un encauzamiento recto con curvaturas pequeñas (fondo móvil), no es capaz de conducir las aguas en línea recta sino que desarrolla inestabilidad lateral. Los ríos de gran sinuosidad tienen mayor longitud y menor pendiente; asimismo, las curvas generan resistencia al flujo; por lo tanto la capacidad de desagüe es menor, pudiendo originar desbordamiento mayores. Si las orillas no son resistentes, la acción sobre las curvas puede causar erosión en las márgenes.

La sinuosidad de un río se establece entre la longitud del Talweg y la longitud del valle. El valor mínimo de la sinuosidad es 1 y correspondería a un río perfectamente recto, figura 4.

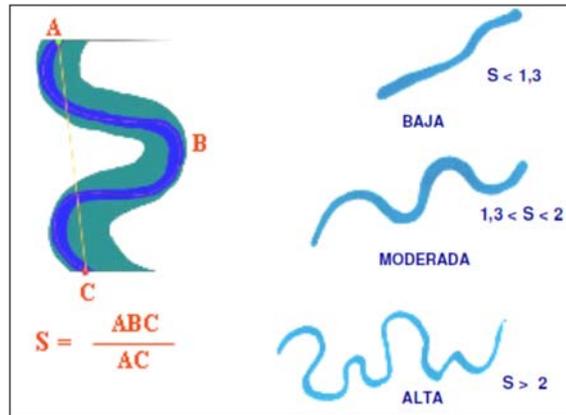


Figura 4. Grado de la sinuosidad de un río

Fuente. Rocha

Bajo este concepto, la sinuosidad entre la laguna La Niña y la presa Los Egidos es 1.3, que corresponde a una sinuosidad baja, con gran cantidad de material colmatado, debido a la baja pendiente y a la interrupción de la desembocadura del río Piura hacia el Océano Pacífico. Este tramo se caracteriza por presentar diques de tierra longitudinal a ambos márgenes; así como la presencia de la ciudad de Piura y Castilla, y campos agrícolas. Entre el puente Bolognesi y el puente Cáceres presenta una reducción del ancho del río, lo que podría ocasionar desbordes a ambos márgenes ante una inundación extrema o extraordinario (figura 5).



Figura 5. Sinuosidad del río Piura, tramo laguna La Niña y presa Los Egidos

En el tramo presa Los Egidos y la localidad de Tambogrande el valor de la sinuosidad es 1.6, que corresponde a una sinuosidad moderada. Se ubica la presa Los Egidos que ha influenciado moderadamente la evolución del río Piura, por lo que se aprecia gran acumulación de material de arrastre y vegetación en el cauce. Debido a su mayor sinuosidad y baja pendiente, las inundaciones pasadas han modificado el curso del río Piura. En este tramo predominan los campos agrícolas y pequeños poblados (figura 6).

En el tramo Tambogrande y la naciente la sinuosidad es 1.4 que corresponde a una sinuosidad moderada. A medida que el curso del río avanza hacia la parte alta la sinuosidad disminuye. En este tramo se distinguen campos agrícolas, áreas urbanas como Chulucanas y centros poblados menores (figura 7).

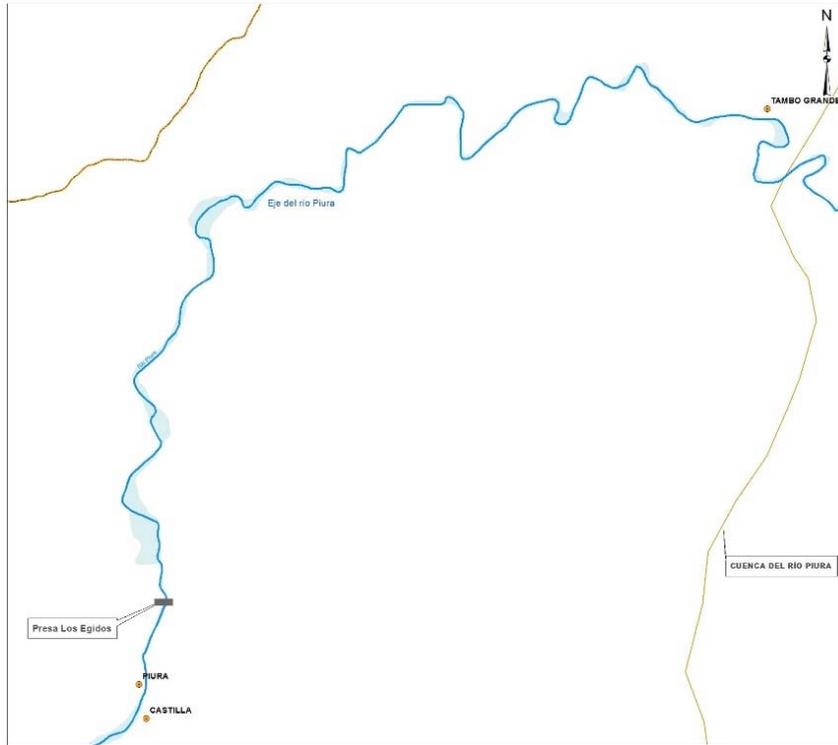


Figura 6. Sinuosidad del río Piura, tramo presa Los Egidos Tambogrande

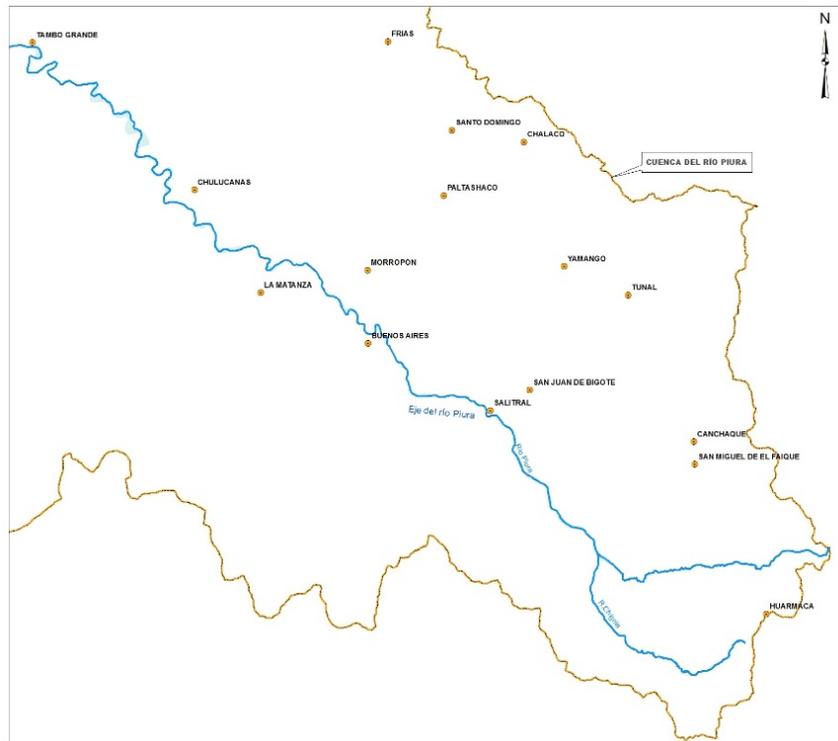


Figura 7. Sinuosidad del río Piura, tramo Tambogrande naciente

Morfología fluvial considera tres tipos principales de ríos: rectos, trezados y meándricos (figura 8).

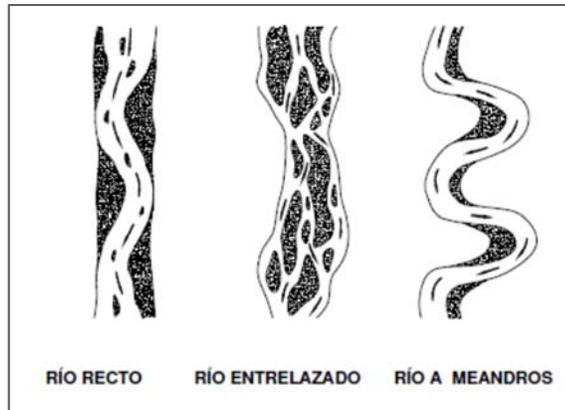


Figura 8. Tipos de ríos

La evolución del río Piura es variado, cuyo eje ha ido desplazándose hacia ambos márgenes, dominado principalmente por la baja pendiente del cauce y la gran cantidad de material de acarreo. Esta variación empieza a ser significativo a partir del distrito de Salitral y aumenta a medida que desciende hacia el litoral.

En la figura 9, se muestra la variación del eje del cauce para los años 1969, 2004, 2005, 2010 y 2013, entre Chulucanas y Tambogrande.

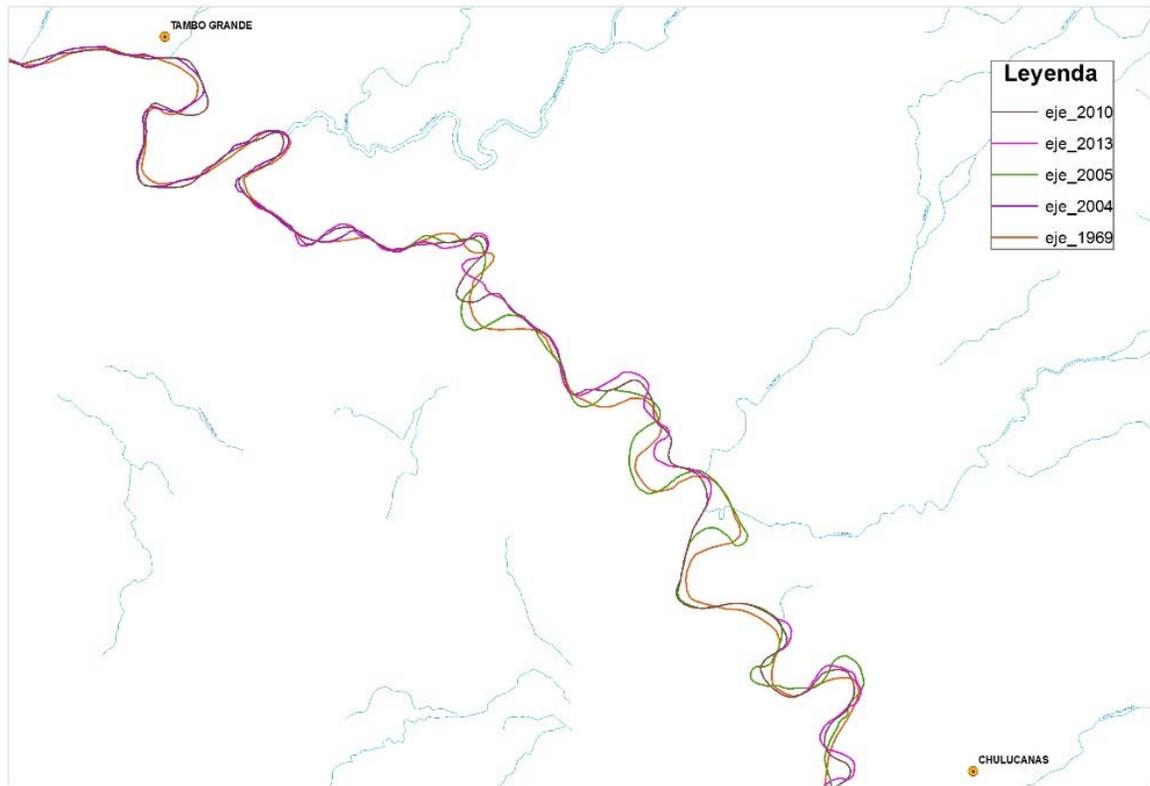


Figura 9. Variación del eje del río Piura, entre Chulucanas y Tambogrande

En la figura 10, se muestra la variación del eje del río Piura para los años 1969, 2004 y 2010, entre Tambogrande y Piura.

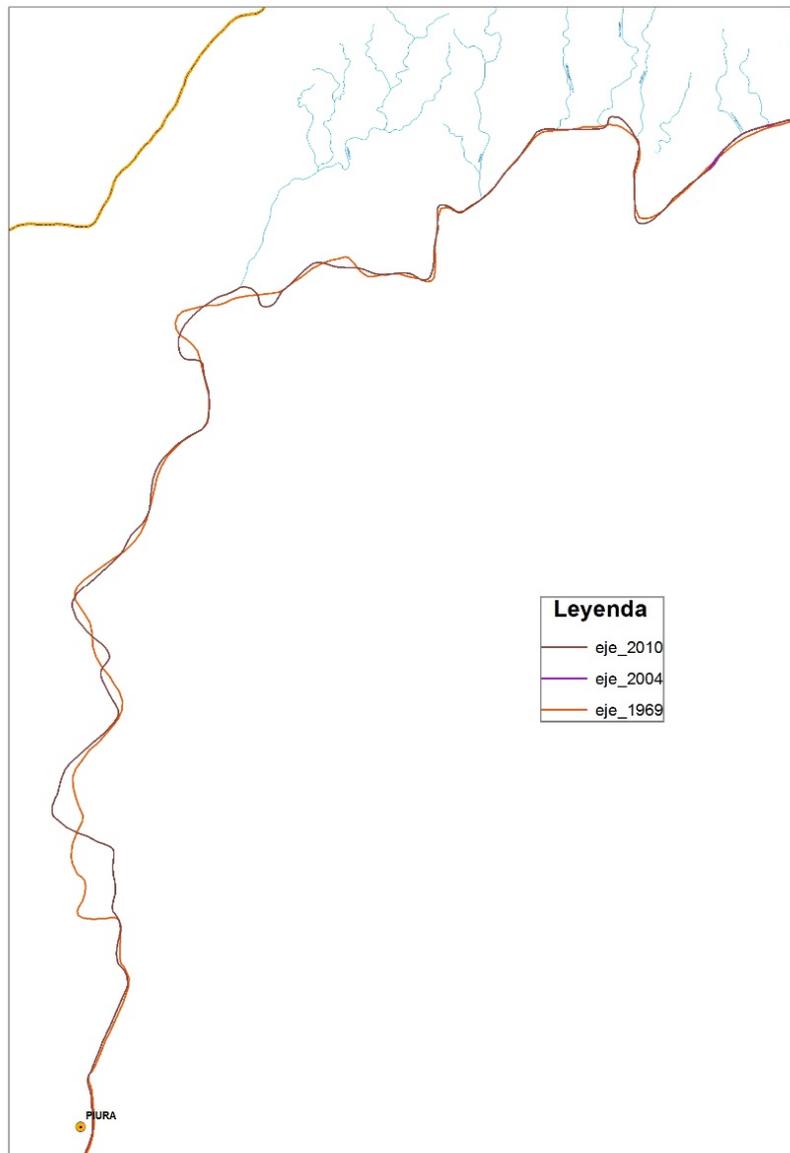


Figura 10. Variación del eje del río en el tiempo, entre Tambogrande y Piura

En la figura 11, se muestra la variación del eje del río Piura para los años 1969, 2004 y 1010, en la parte baja de la cuenca.

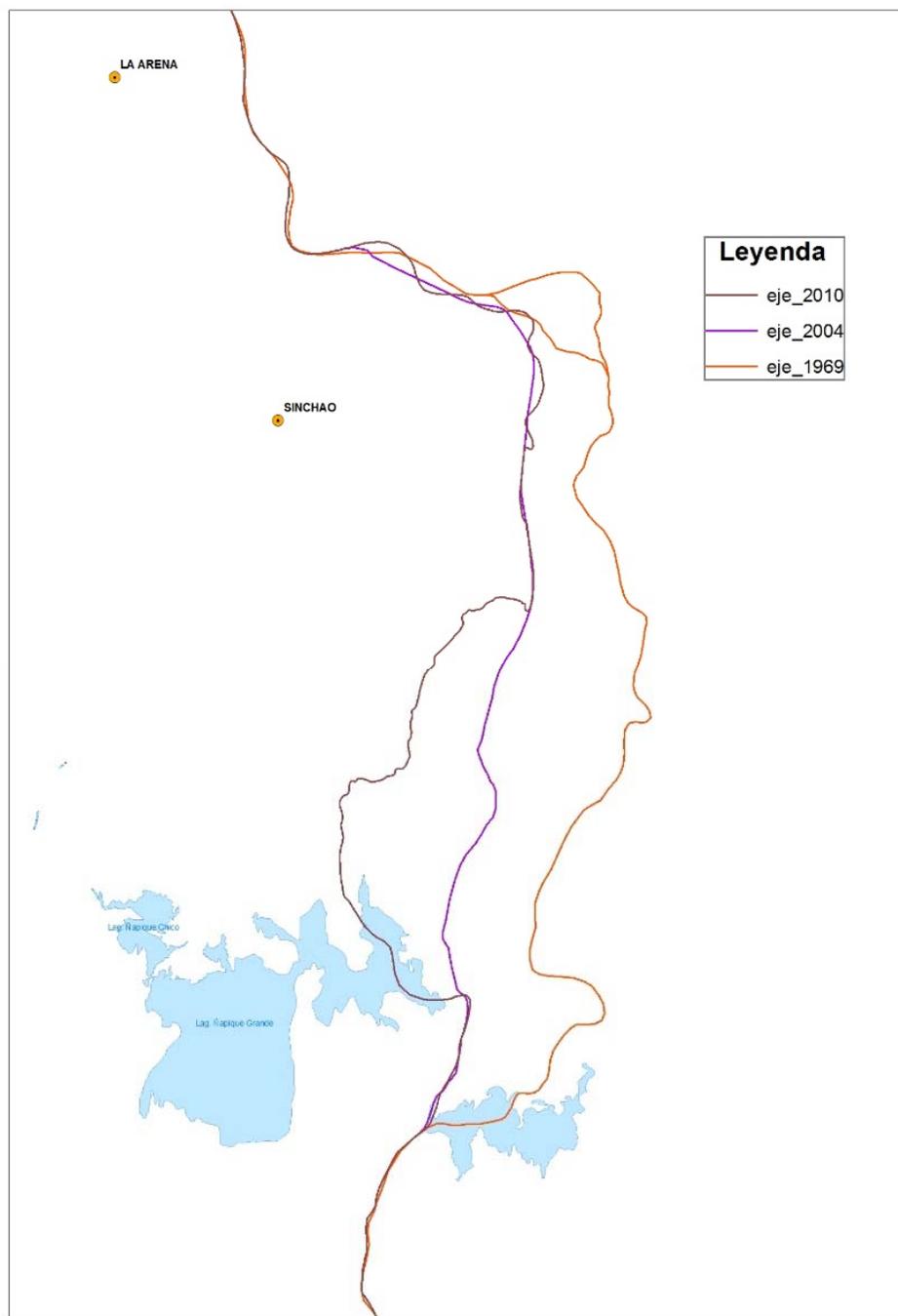


Figura 11. Variación del eje del río Piura en la parte baja de la cuenca

6.2.2 Acondicionamiento del cauce al régimen de equilibrio

Para satisfacer las condiciones de régimen estable del río Piura se establece los criterios para definir el eje y pendiente del cauce.

a. Eje del río

Sobre la base de imágenes satelitales y la carta nacional, se propone el eje del río, teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- **Sinuosidad del río.** Se ha rectificando con tramos compuesto por curvas grandes y ligeramente rectas, considerando que la pendiente de equilibrio va a permitir un equilibrio entre la sedimentación y la erosión. Se tiene en cuenta que no deben existir alineaciones rectas sino curvas (figura 12).

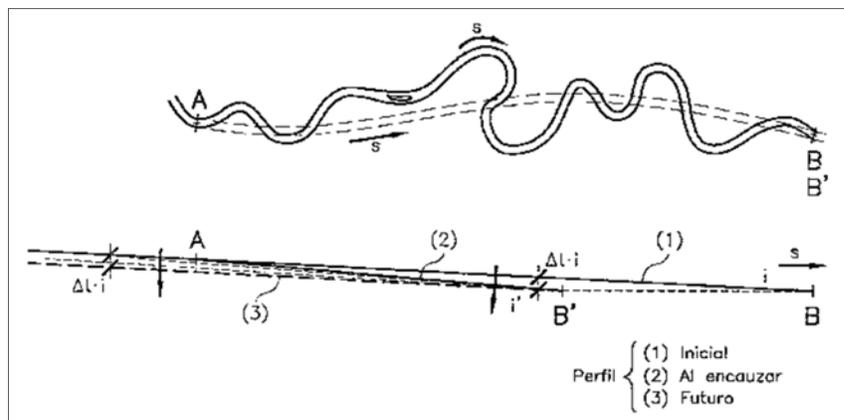


Figura 12. Trazo para reducir curvas

Fuente: Ingeniería de Ríos- Martín, J.

Dentro de la curvatura no es recomendable trazar arcos de círculos, ya que la curvatura es constante y cambiaría bruscamente de signo en el punto de tangencia.

- **Estructuras viales de cruce e hidráulicas.** Los puentes y bocatomas de alguna forma limitan el ancho de un río (figura 13).



Figura 13. Existencia de estructuras de cruce (puente), condicionan la delimitación del eje

Fuente: Google Earth

- **Predios agrícolas.** Se ha tenido en cuenta la propiedad privada como límite, para no generar conflictos con los propietarios.
- **Estrangulaciones naturales.** Existen tramos del río con presencia de zonas rocosas que definen de manera natural el ancho del río, el cual no puede ser modificado.
- **Existencia de obras de defensa ribereña.** Las obras construidas en los cauces de los ríos pueden estar bien o mal ubicadas con respecto a la alineación de los bordes de las márgenes y ancho estable.



Figura 14. Defensas ribereñas, condicionan la delimitación del eje

Fuente: Google Earth

- **Aspectos legales.** Se hace referencia a la Ley de Recursos Hídricos y a la Directiva sobre delimitación de Fajas Marginales.

Actualmente, el río Piura no tiene una salida definida al mar, razón por la cual se formó la laguna La Niña. El eje actual inicia en la laguna seca de La Niña, ubicado en el distrito de Sechura, a una altitud de 2 m.s.n.m con coordenadas UTM X: 541260 Y: 9375354. El final del eje está ubicado en el distrito de Huarmaca, a una altitud de 3250 m.s.n.m. (figura 15).

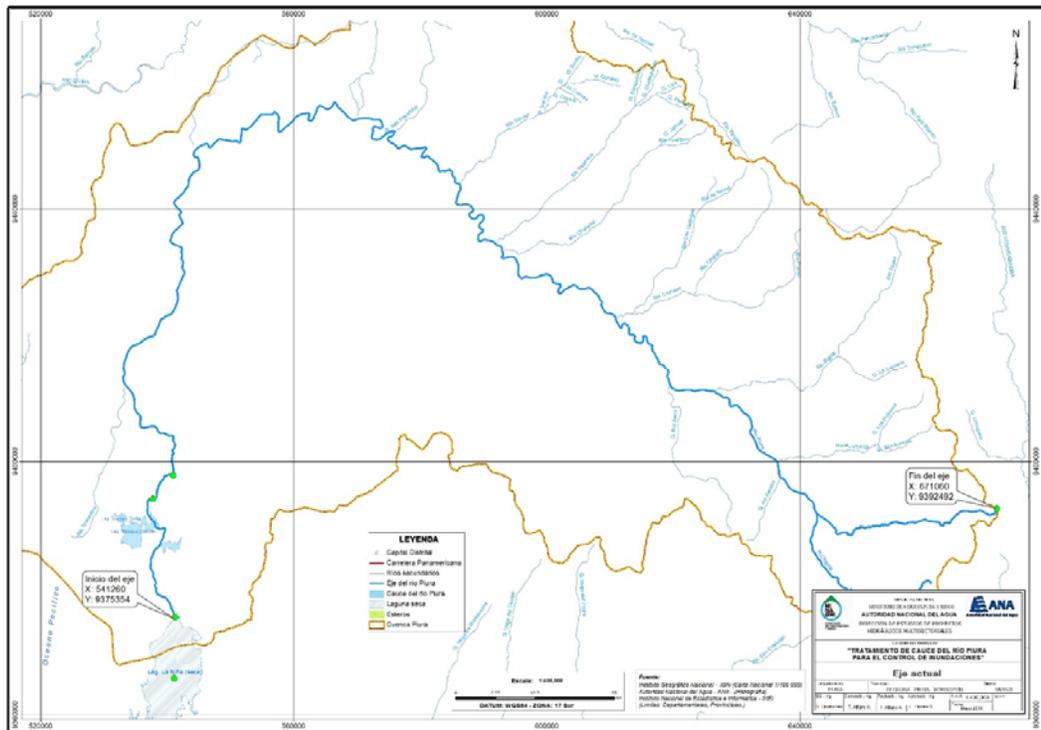


Figura 15. Eje del río Piura

Fuente: Elaboración propia, con información del IGN e INEI.

La evolución del río Piura en el tiempo y espacio es muy variado, aumenta a medida que desciende hacia el valle. La propuesta del eje considera las principales variaciones.

1. En el tramo 8-7, se propone variar el eje actual entre las coordenadas X: 540941, Y: 9397739 y X: 537730, Y: 9394041, con la finalidad de alejar el cauce del dique de protección y reducir el riesgo de los centros poblados de

- Cerrito, San Cristo, Coronado, Bernal, Guadalupe, Sinchao Chico Antiguo y Cordillera; así como también de cultivos y canales de riego.
2. Prolongación del cauce hasta la desembocadura en el mar; aprovechando las depresiones se tiene 3 propuesta: tramo 6-5-4-2-1, tramo 6-5-3-4-2-1 y tramo 6-5-3-2-1, en todos los casos se conecta a través del estuario Virralá y de la laguna La Niña (figura 16).

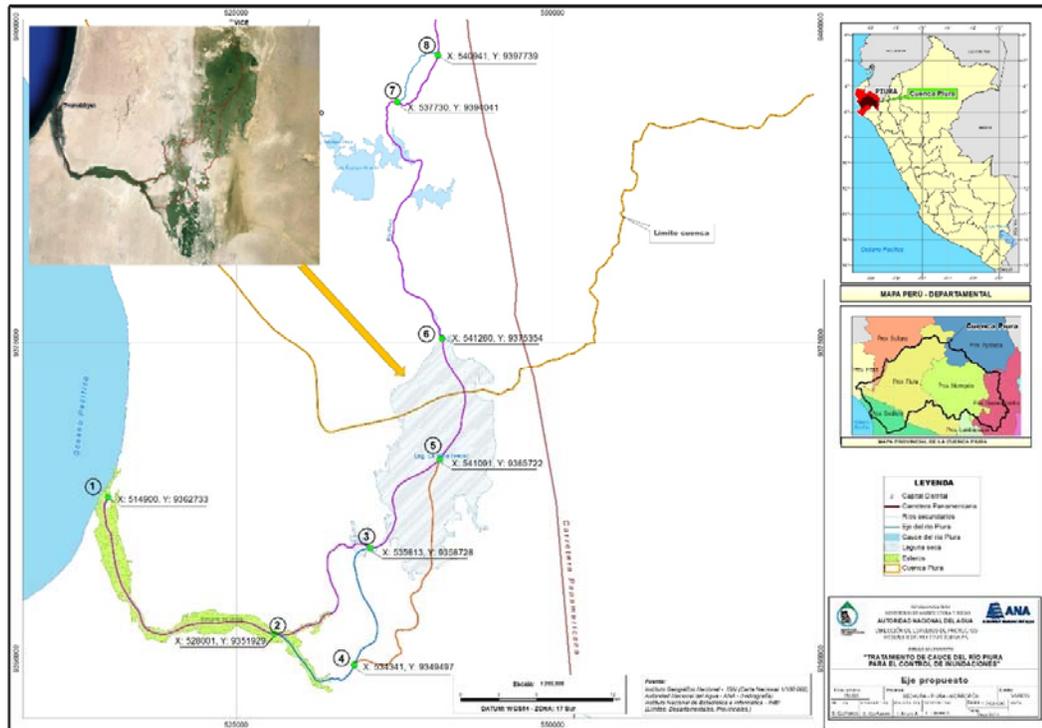


Figura 16. Eje propuesto del río Piura

En la figura 176 y en el cuadro 1, se muestra la propuesta del eje del río Piura y las coordenadas en UTM. En esta propuesta se considera salida al mar a través del estuario de Virralá y aprovechando las depresiones naturales.

Cuadro 1. Propuesta de coordenadas de las progresivas

Progresiva	X	Y	Progresiva	X	Y
0+0	514895	9362711	190+0	571220	9454437
10+0	517391	9353425	200+0	575254	9452209
20+0	526407	9352650	210+0	580507	9449014
30+0	532391	9356401	220+0	586348	9443270
40+0	537477	9361899	230+0	589629	9437966
50+0	542924	9369408	240+0	594101	9432347
60+0	539687	9378479	250+0	600844	9428658
70+0	538896	9386944	260+0	607955	9426473
80+0	537940	9393944	270+0	613110	9420153
90+0	541139	9402151	280+0	618086	9415378
100+0	535423	9407460	290+0	625042	9411260
110+0	533535	9416655	300+0	632282	9406267
120+0	540214	9423282	310+0	636610	9398511
130+0	542246	9432315	320+0	642767	9391612
140+0	541461	9440394	330+0	649736	9389649
150+0	544381	9448473	340+0	658314	9390389
160+0	551680	9451399	350+0	666270	9392134
170+0	557529	9453323	355+700	671060	9392492
180+0	563616	9455574			

Fuente: Elaboración propia.

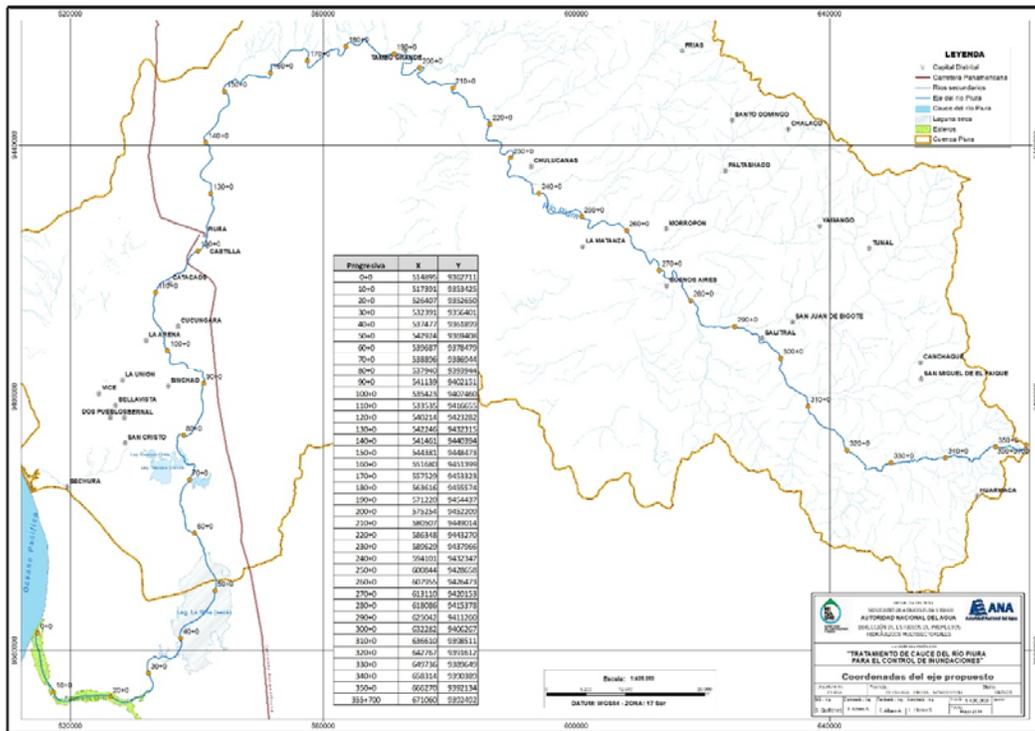


Figura 17. Coordenadas del eje propuesto

b. Pendiente del río

La pendiente promedio del río Piura es 1.16% (0.0116). La pendiente del río aumenta a medida que sube la cota de la cuenca. La pendiente mínimo identificado es 0.05‰ (0.00005), ubicado en los 50 primeros kilómetros del río, desde el litoral hasta la Laguna La Niña. La pendiente máxima se ubica en la naciente del río con un valor de 22.7% (0.227).

En el cuadro 4, se indica las pendientes promedio por tramos de 10 kilómetros.

Cuadro 2. Pendiente del río Piura

Progresiva	X	Y	Pendiente m/m	Progresiva	X	Y	Pendiente m/m
0+0	514895	9362711		170+0	557529	9453323	0.0003
10+0	517391	9353425	0.0001	180+0	563616	9455574	0.0005
20+0	526407	9352650	0.00005	190+0	571220	9454437	0.0005
30+0	532391	9356401	0.00005	200+0	575254	9452209	0.0003
40+0	537477	9361899	0.0004	210+0	580507	9449014	0.0008
50+0	542924	9369408	0.0004	220+0	586348	9443270	0.0006
60+0	539687	9378479	0.0004	230+0	589629	9437966	0.0005
70+0	538896	9386944	0.0004	240+0	594101	9432347	0.0011
80+0	537940	9393944	0.0004	250+0	600844	9428658	0.0004
90+0	541139	9402151	0.0005	260+0	607955	9426473	0.0009
100+0	535423	9407460	0.0003	270+0	613110	9420153	0.0008
110+0	533535	9416655	0.0002	280+0	618086	9415378	0.0013
120+0	540214	9423282	0.0004	290+0	625042	9411260	0.0019
121+500	541147	9424398	0.0005	300+0	632282	9406267	0.0026
126+0	542215	9428724	0.0005	310+0	636610	9398511	0.004
130+0	542246	9432315	0.0005	320+0	642767	9391612	0.0067
140+0	541461	9440394	0.0004	330+0	649736	9389649	0.0241
150+0	544381	9448473	0.0004	340+0	658314	9390389	0.0387
160+0	551680	9451399	0.0006	350+0	666270	9392134	0.1003
				355+700	671060	9392492	0.2268

6.2.3 Parámetros hidráulicos fluviales y elementos del cauce

El análisis hidráulico permite determinar los niveles de aguas máximas, llanura de inundación, velocidades y otros parámetros hidráulicos, para avenidas extremas con diferentes períodos de retorno; de manera se visualice el comportamiento del flujo de acuerdo a las características morfológicas del cauce.

Flujo gradualmente variado

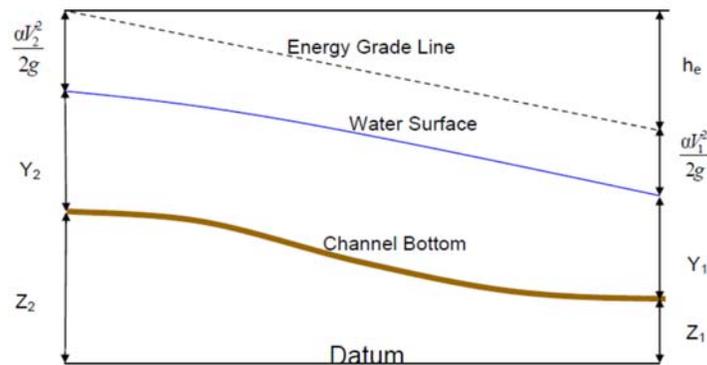
Los cálculos están orientados a flujo unidimensional, para flujo estacionario gradualmente variado y para régimen mixto (subcrítico y supercrítico).

Desarrollado con la ecuación de la energía, por un proceso iterativo: standart step method. Que resuelve la ecuación dinámica del flujo gradualmente variado igualando la energía en dos secciones consecutivas mediante un procedimiento cíclico de aproximaciones sucesivas. Para ellos se empleó el modelo computacional HEC-RAS (River Analysis System; USACE),

$$Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

Donde, Z_1 y Z_2 = elevación del cauce en la sección
 Y_1 y Y_2 = elevación del agua en la sección
 V_1 y V_2 = velocidades promedios
 α_1 y α_2 = coeficiente de velocidad
 g = aceleración de la gravedad
 h_e = pérdida de energía

A continuación se muestra un diagrama de los términos de la ecuación.



Fuente: HEC RAS

La pérdida h_e se compone de pérdidas por fricción y pérdidas por contracción o expansión.

Condiciones de frontera

Una condición de frontera aguas arriba es aplicada como un hidrograma del flujo de descarga en función del tiempo.

Cuatro tipos de condiciones de frontera para aguas abajo, se indica:

- *Stage Hydrograph*. Nivel de agua en función del tiempo, si la corriente fluye en un entorno como el remanso de un estuario o bahía en la que se rige la elevación de la superficie del agua por las fluctuaciones de la marea, o donde desemboca en un lago o reservorios.
- *Flow Hydrograph*. Puede utilizarse si los datos registrados está disponible y el modelo está calibrado a un evento de inundación específico
- *Single Valued Rating Curve*. Es función monótona de la etapa y el flujo. Puede emplearse para describir con precisión la etapa de flujo como cascadas, estructuras hidráulicas de control, aliviaderos, presas.
- *Normal Depth*. Se introduce la pendiente de fricción, considerada como la profundidad normal, si existen las condiciones de flujo uniforme. Dado que las condiciones de flujo uniforme no existen normalmente en las corrientes naturales, esta condición de frontera debe ser utilizada aguas abajo del área de estudio.

a. Cálculo del ancho estable

Consideraciones:

- Desde el litoral hasta la progresiva 40+0 del eje, se aprovechará el estuario de Virralá para dar salida al mar las avenidas del río Piura.
- Desde la progresiva 40+0 hasta la progresiva 80+0, el ancho permitirá evacuar avenidas recurrentes para periodos de retorno de 10 años (1,332 m³/s). Caudales superiores serán asumidos por las lagunas de La Niña, Ñapique y Ramón.
- Desde la progresiva 80+0 hasta la progresiva 121+500 (cerca al puente Bolognesi), se deberá mantener un cauce permanente, que permita evacuar caudales recurrentes para periodos de retorno de 10 años (1,332 m³/s). Si se presentarán caudales mayores, éstas serán asumidos por el área formada por los diques existentes en ambas márgenes.
- Desde la progresiva 121+500 hasta la progresiva 126+0, se considerará el

ancho encauzado entre la ciudad de Piura y Castilla, que varía entre 110 a 135 metros. Verificando que la altura de la defensa ribereña sea mayor al tirante producido por una avenida de 100 años de periodo de retorno.

- o Desde la progresiva 126 (pasando el puente Cáceres), hasta la parte alta de la cuenca (naciente), se considerará un ancho que permita evacuar caudales de periodo de retorno de 50 y 100 años.

El ancho estable, se calculó tomando en consideración 5 criterios o métodos: (1) Recomendación Práctica, (2) Método de Petits, (3) Método de Simons y Henderson, (4) Método de Blench y Altunin y (5) Método de Manning y Strickler. Todos estos métodos son empíricos y bajo la teoría del régimen estable.

i) **Recomendación Práctica.** Este método está en función directa del caudal.

RECOMENDACIÓN PRACTICA	
Q (M ³ /S)	ANCHO ESTABLE (B2)
3000	200
2400	190
1500	120
1000	100
500	70

ii) **Método de Petits.** La expresión empleada es la siguiente

$$B = 4.44 * Q^{0.5}$$

iii) **Método de Simons y Henderson.** está basado en la teoría de régimen estable y está en función del caudal de diseño y de las condiciones de fondo del río.

Metodo de Simons y Henderson

$B = K_1 Q^{1/2}$

- Fondo y Orillas de Arena K1 = 5.70
- Fondo Arena y Orillas de Material Cohesivo K1 = 4.20
- Fondo y Orillas de Material Cohesivo K1 = 3.60
- Fondo y Orillas del cauce de Grava K1 = 2.90
- Fondo Arena y Orillas de Material No Cohesivo K1 = 2.80

iv) **Método de Blench y Altunin.** está basado en la teoría de régimen estable y en función del caudal de diseño, factor de fondo (Fb) y en el factor de orilla

(Fs). Los factores Fb y Fs, tienen en cuenta la concentración del material transportado en suspensión, el diámetro de las partículas de fondo y la resistencia de las orillas a ser erosionada.

Un factor de orilla (Fs) puede tomar los siguientes valores:

- ✓ Orilla de barro y arena toma el valor de Fs: 0.1.
- ✓ Orilla de barro, arcilla, fangosa toma un valor de Fs: 0.2.
- ✓ Orilla de material muy cohesivo, toma un valor de fs: 0.3.

El factor de fondo Fb, puede ser valuado mediante las expresiones siguientes:

- ✓ Sí el canal arrastra poco sedimento y el fondo es arenoso, emplear la siguiente expresión: $Fb = 1.9\sqrt{D}$, donde "D" es el diámetro medio de las partículas, en mm.
- ✓ Sí existe arrastre de sedimentos y el fondo es arenoso, emplear la siguiente expresión:

$$Fb = 1.9\sqrt{D}(1 + 0.012Cs) \quad \text{o} \quad Fb = (d_{50})^{\frac{1}{3}}$$

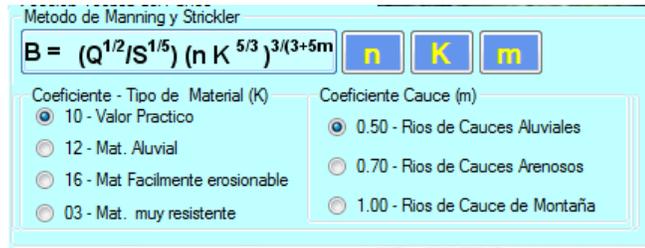
$B = 1.81(Q Fb/Fs)^{1/2}$

<p>Factor de Fondo (Fb)</p> <p><input type="radio"/> 0.80 - Mat. Finos (Dm<0.50 mm)</p> <p><input checked="" type="radio"/> 1.20 - Mat. Gruesos (Dm>0.50 mm)</p>	<p>Factor de Orilla (Fs)</p> <p><input checked="" type="radio"/> 0.10 - Mat. Suelos</p> <p><input type="radio"/> 0.20 - Mat. ligeramente Cohesivos</p> <p><input type="radio"/> 0.30 - Mat. Cohesivos</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

- v) **Método de Manning Strickler.** Este método incluye a la rugosidad (n), tipo de material (k) y de cauce (m).

Para el caso del coeficiente de rugosidad (n) los valores recomendados varían de 0.035 a 0.05, según el tipo de material presente. La variación de los valores para K, va a depender del tipo de material, si es aluvial, erosionable o muy resistente y un valor práctico de 10.

En el caso del coeficiente "m", los valores varían de 0.5 a 1, según el tipo de cauce: aluvial, arenoso o de montaña.



- Tramos donde el ancho natural del cauce mayor al ancho estable.
- Tramos donde el ancho natural del cauce menor al ancho estable
- Tramos del ancho natural del cauce igual al ancho estable

b. Altura media del agua

Este parámetro se calculó considerando las fórmulas de Manning y Simonsn, cuyas expresiones:

Manning

$$Y = \left(\frac{nQ}{BS^{1/2}} \right)^{3/5}$$

Donde:

Y: tirante (m)

n: coeficiente de Manning

Q: caudal en m³/s

S: pendiente

B: ancho estable (m)

Simons

$$Y = 121K_2Q^{0.361}$$

Donde:

K₂: coeficiente que depende del tipo de material del fondo y orillas del cauce

Cuadro 3. Valores de K2

Material	K2
Fondo y orillas de arena	0.41
Fondo de arena y orillas cohesivas	0.475
Fondo y orillas cohesivas	0.56
Fondo y orillas con material grueso no cohesivo	0.27
Fondo de arena y orillas no cohesivas	

c. Velocidad media del flujo

Este parámetro se calculó considerando las fórmulas de Manning, Chezy y Lacey, considerando agua limpia y con transporte de sedimentos. Las fórmulas son las siguientes:

Manning

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

Donde:

V: velocidad del flujo (m/s)

R: radio hidráulico (m)

Chezy

$$V = C \sqrt{R \cdot S}$$

$$C = \frac{R^{1/6}}{n}$$

C: coeficiente de Chey

Lacey

$$V = \frac{Y_m^{1/4}}{0.06 D_m^{1/8}} (RS)^{1/2}$$

$$V = 10.8 (Y_m RS)^{1/3}$$

Donde:

Y_m: tirante (m)

D_m: diámetro medio de la partícula

Cuadro 4. Características hidráulicas del río Piura

Progresiva	X	Y	Pendiente m/m	D50 (mm)	Ancho estable- mantenimiento	Velocidad (m/s)		Rango de tirante (m)		Coeficiente de rugosidad	Referencia
						Sin sedimentos	Con sedimentos				
0+0	514895	9362711			Estuario de Virralá						
10+0	517391	9353425	0.00010		Estuario de Virralá						
20+0	526407	9352650	0.00005		Estuario de Virralá						
30+0	532391	9356401	0.00005		Estuario de Virralá						
40+0	537477	9361899	0.00040	0.16	115-160	2.1	2.8	4.0	4.7	0.025	laguna La Niña
50+0	542924	9369408	0.00040	0.16	115-160	2.1	2.8	4.0	4.7	0.025	laguna La Niña
60+0	539687	9378479	0.00040	0.16	115-160	2.1	2.8	4.0	4.7	0.025	
70+0	538896	9386944	0.00040	0.16	115-160	2.1	2.8	4.0	4.7	0.025	
80+0	537940	9393944	0.00040	0.16	115-160	2.1	2.8	4.0	4.7	0.025	laguna Ramón
90+0	541139	9402151	0.00050	0.16	115-160	2.4	3.6	4.8	5.5	0.030	
100+0	535423	9407460	0.00030	0.16	115-160	2.1	2.9	4.9	5.6	0.025	
110+0	533535	9416655	0.00020	0.07	115-160	1.8	2.7	5.1	5.9	0.025	
120+0	540214	9423282	0.00040	0.07	115-160	2.2	3.7	4.9	5.7	0.030	Piura
121+500	541147	9424398	0.00050	0.07	100-135	3.1	5.1	6.9	8.2	0.025	
126+0	542215	9428724	0.00050	0.07	100-135	3.1	5.1	6.9	8.2	0.025	
130+0	542246	9432315	0.00050	0.07	220-280	2.7	4.2	5.1	5.9	0.030	
140+0	541461	9440394	0.00040	0.07	200-250	2.3	4.0	5.5	6.4	0.030	
150+0	544381	9448473	0.00040	0.18	200-250	2.3	3.4	5.4	6	0.030	
160+0	551680	9451399	0.00060	0.18	200-250	2.5	4.1	5.3	5.9	0.035	
170+0	557529	9453323	0.00030	0.18	200-250	2.1	3.1	5.7	6.3	0.030	
180+0	563616	9455574	0.00050	0.18	200-250	2.4	3.7	5.2	5.8	0.035	
190+0	571220	9454437	0.00050	0.18	200-250	2.4	3.7	5.2	5.8	0.035	Tambogrande
200+0	575254	9452209	0.00030	0.18	170-230	2.0	2.9	5.1	6	0.030	
210+0	580507	9449014	0.00080	0.26	170-230	2.7	4.1	4.4	5.2	0.030	
220+0	586348	9443270	0.00060	0.26	170-230	2.4	3.7	4.8	5.6	0.035	
230+0	589629	9437966	0.00050	0.26	170-230	2.3	3.4	4.7	5.5	0.030	
240+0	594101	9432347	0.00110	0.46	165-200	2.7	4.1	4.1	4.6	0.030	Chulucanas
250+0	600844	9428658	0.00040	0.46	165-200	2.0	2.7	4.5	5.1	0.030	
260+0	607955	9426473	0.00090	1.11	165-200	2.5	3.4	4.2	4.7	0.035	
270+0	613110	9420153	0.00080	1.11	165-200	2.4	3.2	4.3	4.8	0.035	Morropon
280+0	618086	9415378	0.00130	0.11	130-145	2.3	4.5	3.3	3.5	0.040	
290+0	625042	9411260	0.00190	0.11	130-145	2.6	5.2	3.1	3.4	0.040	Salitral
300+0	632282	9406267	0.00260	0.11	130-145	2.9	5.9	3.0	3.2	0.040	
310+0	636610	9398511	0.00400	0.11	115-145	3.4	7.1	2.8	3.2	0.040	
320+0	642767	9391612	0.00670	0.11	105-135	3.9	8.6	2.6	2.9	0.040	
330+0	649736	9389649	0.02410	0.11	30-55	4.5	10.4	1.5	1.6	0.040	
340+0	658314	9390389	0.03870	0.11	30-55	5.3	12.7	1.4	1.50	0.040	
350+0	666270	9392134	0.10030	0.11	25-45	7.7	19.7	1.4	1.4	0.040	
355+700	671060	9392492	0.22684	0.11	8-12	10.7	29.4	1.6	1.6	0.040	

6.2 Granulometría

Se realizaron investigaciones geotécnicas mediante 12 excavaciones exploratorias (calicatas), en las riberas del río Piura. Los resultados se presentan en el cuadro 5.

Cuadro 5. Granulometría del cauce del río

Progresiva	Calicata	Clasificación SUCS		D ₅₀	D _m	Capacidad portante (Kg/cm ²)
0-40						
40+100	01 y 12	SP y GP	Arena mal graduada y grava mal graduada	0.16	0.2	2.5
50+0						
60+0						
70+0						
80+0						
90+0						
100+0						
110+0	02, 03, 04 y 05	SP y CL	Arena mal graduada y arcilla arenosa	0.07	0.0875	2.085
120+0						
121+500						
126+0						
130+0						
140+0						
150+0	06 y 07	SP y CL	Arena mal graduada y arcilla arenosa	0.18	0.225	1.9
160+0						
170+0						
180+0						
190+0						
200+0						
210+0						
220+0	08	SC	Arena arcillosa	0.26	0.325	2.64
230+0						
240+0	09	SP	Arena mal graduada	0.46	0.575	2.49
250+0						
260+0	10	SW	Arena bien graduada	1.11	1.3875	2.56
270+0						
280+0	11	GP	Grava mal graduada	0.11	0.1375	1.91
290+0						
300+0						
310+0						
320+0						
330+0						
340+0						
350+0						
355+700						

d. Coeficiente de rugosidad

La elección del coeficiente de rugosidad (“n” de Manning), se realizó mediante la observación en campo de las características del cauce principal, márgenes derecha e izquierda; comparados con valores de tablas (Cuadro 6). Los valores de “n” varían según las características de los tramos del río.

En el cuadro 6, se muestra los valores del coeficiente de Manning (“n”) del cauce y llanura del río Piura.

Cuadro 6. Valores de Manning

Tipo de canal y descripción	Minimo	Normal	Máximo
A. Cauces naturales			
1. Canales principales			
a. Limpio, recto, lleno, sin fisuras, fondo profundo	0.025	0.03	0.033
b. Igual al anterior, pero con algo de piedras y hierba	0.03	0.035	0.04
c. Limpio, sinuoso, poco profundo y bancos	0.033	0.04	0.045
d. Igual al anterior, pero con algo de hierba y piedras	0.035	0.045	0.05
e. Igual al anterior, niveles inferiores, más pendientes y secciones menos efectivas	0.04	0.048	0.055
f. Como el "d" pero mas piedras	0.045	0.05	0.06
g. Tramo lento, hierbas, fondo profundo	0.05	0.07	0.08
h. Tramo con mayor maleza, fondo profundo, o recorrido de crecidas con soporte de madera y arbustos bajos	0.07	0.1	0.15
2. Llanura de inundación			
a. Pastura sin arbustos			
1. Pasto corto	0.025	0.03	0.035
2. Pasto alto	0.03	0.035	0.05
b. Áreas cultivadas			
1. Sin cultivo	0.02	0.03	0.04
2. Cultivo maduro alineado	0.025	0.035	0.045
3. Campo de cultivo maduro	0.03	0.04	0.05
c. Arbustos			
1. Arbustos escasos, mucha maleza,	0.035	0.05	0.07
2. Pequeños arbustos y árboles, en invierno	0.035	0.05	0.06
3. Pequeños arbustos y árboles, en verano	0.04	0.06	0.08
4. Arbustos mediano a denso, en invierno	0.045	0.07	0.11
5. Arbustos mediano a denso, en verano	0.07	0.1	0.16
d. Árboles			
1. Terreno despejado con tocones de árboles, sin brotes	0.03	0.04	0.05
2. igual que el anterior, pero con muchos brotes	0.05	0.06	0.08
3. Soporte de madera, algunos árboles caídos, pequeño crecimiento inferior, flujo por debajo de las ramas	0.08	0.1	0.12
4. Igual al anterior, pero con flujo por encima de las ramas	0.1	0.12	0.16
5. Sauces densos, en verano, rectos	0.11	0.15	0.2
3. Cauces de montañas, sin vegetación en el canal, márgenes usualmente empinados, con árboles y arbustos sobre márgenes sumergidos			
a. Fondo: grava, guijarros, y algo de cantos radodos	0.03	0.04	0.05
b. Fondo: guijarros con mucho canto rodado	0.04	0.05	0.07

Fuente: Ven T. Chow

6.3 Análisis de socavación

La socavación en el río, puede presentarse de diversas formas: socavación normal o general, socavación en estrechamientos, socavación en curvas, erosión en márgenes, socavación local en pilas y socavación local en estribos.

- i. **Socavación general**, es el descenso del fondo de un río, producto de las crecientes y la capacidad de arrastre del material sólido. La posibilidad de arrastre de los materiales de fondo en cada sección, depende de la relación entre la velocidad media del agua y la velocidad media requerida para arrastrar las partículas que constituyen el fondo del cauce.

Para la determinación de la socavación general se tomará el criterio de L. L. Lischtvan-Lebediev.

Para que exista arrastre de las partículas en una determinada sección del cauce, es necesario que la velocidad media del agua (velocidad real, V_r), sea mayor que la velocidad media erosiva (V_c) requerida para que el material existente en esa sección sea arrastrada. La erosión cesa cuando $V_c = V_r$.

Considera valores de velocidades máximas para suelos granulares en función del diámetro medio de la partícula y de la profundidad del flujo y para suelos no cohesivos en función de la profundidad del flujo y el tamaño de la partícula.

Si $V_r < V_c$, considera agua clara

Si $V_r > V_c$, considera lecho móvil

- ❖ La velocidad crítica (V_c), se calcula mediante las siguientes expresiones:

Suelos cohesivos

$$V_c = 0.60\beta\gamma_m^{1.18}H_s^x$$

Donde:

γ_m : peso volumétrico (específico) del material seco a una profundidad de H_s (ton/m³)

β : coeficiente de frecuencia, con que se repite la avenida

$\beta = 0.7929 + 0.0973\text{Log}T_r$, T_r : tiempo de retorno, también puede usarse tablas

H_s : tirante, a cuya profundidad se desea conocer el valor V_c

x : exponente en función del peso volumétrico del material seco

$$x = 0.892619 - 0.58073\gamma_m + 0.136275\gamma_m^2.$$

Suelos no cohesivos

$$V_c = 0.68\beta D_m^{0.28}H_s^z$$

Donde:

D_m : diámetro medio de las partículas del material granular

z : exponente en función del diámetro medio

- ❖ La profundidad de socavación se calcula mediante las siguientes fórmulas

Suelo no cohesivo

$$H_s = \left(\frac{\alpha h^{5/3}}{0.68\beta\mu\varphi D_m^{0.28}} \right)^{\frac{1}{(1+z)}}$$

φ : factor de corrección por forma de transporte de sedimento

$\varphi = 1$, si $Y = 1 \text{ t/m}^3$, (agua clara)

$\varphi = -0.54 + 1.5143Y_m$, $Y_m > 1 \text{ t/m}^3$ (lecho móvil)

μ : factor de corrección por contracción del cauce

$\mu = 1$, en el tramo en estudio no hay obstáculos como puentes.

$$\alpha = \frac{Q}{B\mu h_m^{5/3}}$$

h_m : tirante hidráulico (m)

B : ancho estable del cauce (m)

Suelo cohesivo

$$H_s = \left(\frac{\alpha h^{5/3}}{0.60\beta\mu\varphi\gamma_s^{1.18}} \right)^{\frac{1}{(1+x)}}$$

x: exponente variable que depende del diámetro del material

$H_s - h_m$: profundidad de socavación (m)

- ii. **Socavación en estrechamientos**, se produce por el aumento de la capacidad de arrastre de sólidos que adquiere una corriente cuando su velocidad aumenta por efecto de una reducción de la sección del cauce.

iii. Socavación en curvas, la capacidad de arrastre de sólidos y la profundidad de erosión es mayor en la parte más exterior de la curvatura. La velocidad disminuye en la parte interna de la curvatura y aumenta el depósito de material, disminuyendo la zona útil para el flujo del agua.

iv. Erosión en márgenes, es la erosión de un flujo de agua de los materiales térreos deleznales o solubles que forman sus orillas; en crecientes el poder erosivo es mayor debido al aumento de la velocidad.

v. Socavación local en pilas, una pila de un puente en la corriente de un río produce un cambio de las condiciones hidráulicas; así como en la capacidad de producir arrastre de sólidos. Si la capacidad de arrastre supera localmente el aporte del gasto sólido del río, ocurrirá en la pila una socavación local.

vi. Socavación local en estribos, es muy parecido a la socavación en las pilas de los puentes.

En el cuadro 7, se indica la profundidad de socavación general para los diferentes tramos del río Piura.

Cuadro 7. Profundidad de socavación

Progresiva	Socavación (m)		Referencia
90+0	2.50	3.20	
100+0	2.40	3.10	
110+0	3.40	4.20	
120+0	3.60	4.40	Piura-Castilla
121+500	17.40	18.20	
126+0	17.40	18.20	
130+0	6.70	7.50	
140+0	6.30	7.10	
150+0	4.70	5.20	
160+0	4.80	5.30	
170+0	4.40	5.00	
180+0	4.90	5.40	
190+0	4.90	5.40	Tambogrande
200+0	3.40	4.20	
210+0	3.50	4.30	
220+0	3.15	3.90	
230+0	3.20	4.00	
240+0	2.60	3.10	Chulucanas
250+0	2.20	2.70	
260+0	1.50	2.00	
270+0	1.45	1.90	Morropon
280+0	3.60	3.80	
290+0	3.70	4.00	Salitral
300+0	3.90	4.10	
310+0	3.90	4.30	
320+0	3.90	4.20	
330+0	2.50	2.60	
340+0	2.60	2.65	
350+0	3.00	3.30	
355+700	3.00	3.30	

Capítulo VII: Propuesta de medidas estratégicas



INDICE

<i>CAPITULO VII</i>	156
<i>PROPUESTA DE MEDIDAS ESTRATEGICAS</i>	156
7.1 Valoración económica de los elementos expuestos a inundación y erosión	156
7.2 Planteamiento general	156
7.3 Medidas estratégicas en el cauce principal	157
7.4 Medidas estratégicas en afluentes	164
7.5 Medidas estratégicas en la parte alta de la cuenca	168
7.6 Medidas no estructurales	172
7.7 Recomendaciones de diseño	173

Listado de figuras

<i>Figura 1. Sección típica de descolmatación</i>	157
<i>Figura 2. Corrección de cauce, progresiva 80+000 - 86+000</i>	158
<i>Figura 3. Sección típica de descolmatación</i>	158
<i>Figura 4. Encimado del dique con material de préstamo</i>	159
<i>Figura 5. Dique o muro de gaviones</i>	160
<i>Figura 6. Construcción de dique y protección con revestimiento de roca, gavión u otro material</i>	160
<i>Figura 7. Modelo de espigones de gaviones</i>	161
<i>Figura 8. Modelo de dique de material propio o préstamo</i>	162
<i>Figura 9. Modelo de dique transversal para el control de quebradas</i>	164
<i>Figura 10. Terrazas de absorción</i>	166
<i>Figura 11. Zanjas de infiltración</i>	167
<i>Figura 12. Terrazas de formación lenta</i>	168
<i>Figura 13. Obras de control y conservación de suelos</i>	168
<i>Figura 14. Ubicación de los reservorios</i>	169
<i>Figura 15. Reservorio San Jorge</i>	170
<i>Figura 16. Reservorio Piscan</i>	170
<i>Figura 17. Reservorio Guayaquil</i>	171
<i>Figura 18. Reservorio Garabo</i>	172

Listado de cuadros

<i>Cuadro 1. valoración económica de los daños posibles ante una avenida de gran magnitud</i>	156
<i>Cuadro 2. Propuesta de medidas estructurales</i>	163
<i>Cuadro 3. Dimensiones de los diques por tipo de quebrada</i>	165

CAPITULO VII

PROPUESTA DE MEDIDAS ESTRATEGICAS

7.1 Valoración económica de los elementos expuestos a inundación y erosión

Los daños se han evaluado tomando en cuenta el área de influencia directa, generado por las inundaciones, considerando la presencia de un caudal para un periodo de retorno de 50 y 100 años.

Los daños se han evaluado en: pérdidas de la producción agrícola, pérdida de terrenos agrícolas, daños a la infraestructura vial, daños en la infraestructura hidráulica, daños en edificaciones.

En el cuadro 1, se muestra las posibles pérdidas ante inundación extrema o extraordinaria. El monto aproximado es 258 millones de soles.

Cuadro 1. valoración económica de los daños posibles ante una avenida de gran magnitud

Tipos de daños	Millones de S/.
Pérdida en la producción agrícola	49.2
Pérdida de terrenos agrícolas	12.5
Daños en infraestructura vial	51.1
Daños en infraestructura hidráulica	6.4
Daños en viviendas/edificaciones	138.4
Total (S/.)	257.6

7.2 Planteamiento general

1. Dar continuidad el flujo del río Piura hacia la desembocadura en el mar, mediante el mejoramiento de la sección hidráulica del cauce, para caudales recurrentes equivalentes a un periodo de retorno de 10 años. Esta acción está relacionado a un programa de descolmatación.
2. Caudales superiores a un periodo de retorno de 10 años, podrán ser almacenados en la laguna La Niña, Ramón y Ñapique Grande, pero el flujo continuará hacia la desembocadura.
3. Instalación de obras mecánico estructural en la parte media y alta de la cuenca

para aumentar el tiempo de concentración del agua y disminuir el transporte de sedimentos.

4. Instalación de pequeños represamientos en la parte alta de la cuenca para amortiguar los caudales máximos extremos. El caudal generado podrá disponerse para el caudal ecológico y eventualmente se podría utilizar como complemento a la explotación de pozos.

7.3 Medidas estratégicas en el cauce principal

Teniendo en cuenta el nivel de riesgo y los elementos expuestos del sector se han identificado los siguientes tipos de medidas estratégicas.

El planteamiento es de acuerdo al kilometraje o progresiva, teniendo en cuenta que el nivel del litoral es el inicio del eje del cauce.

1. Desde el litoral hasta la progresiva 26+700, el flujo deberá continuar por el estuario del Virralá; sin que esto signifique alguna acción de descolmatación.
2. Desde la progresiva 26+700, hasta la progresiva 80+000, se recomienda el mejoramiento de la sección hidráulica del cauce, mediante la limpieza y descolmatación. El ancho debe estar relacionado a un periodo de retorno de 10 años (ver figura 1).

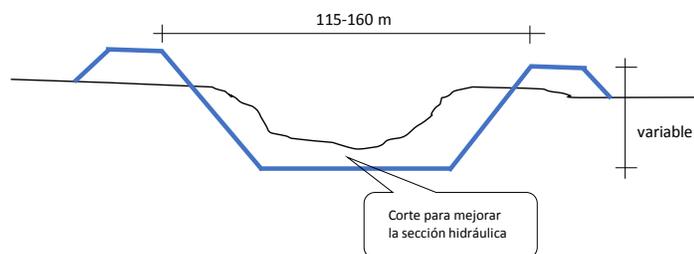


Figura 1. Sección típica de descolmatación

3. Corrección de cauce desde la progresiva 80+000 a la progresiva 86+000, una longitud de 5,700 metros. Esta actividad tiene por finalidad alejar el cauce del dique existente y evitar de esta manera que los centros poblados de Guadalupe y Cordillera sufran daños por inundaciones (ver figura 2)

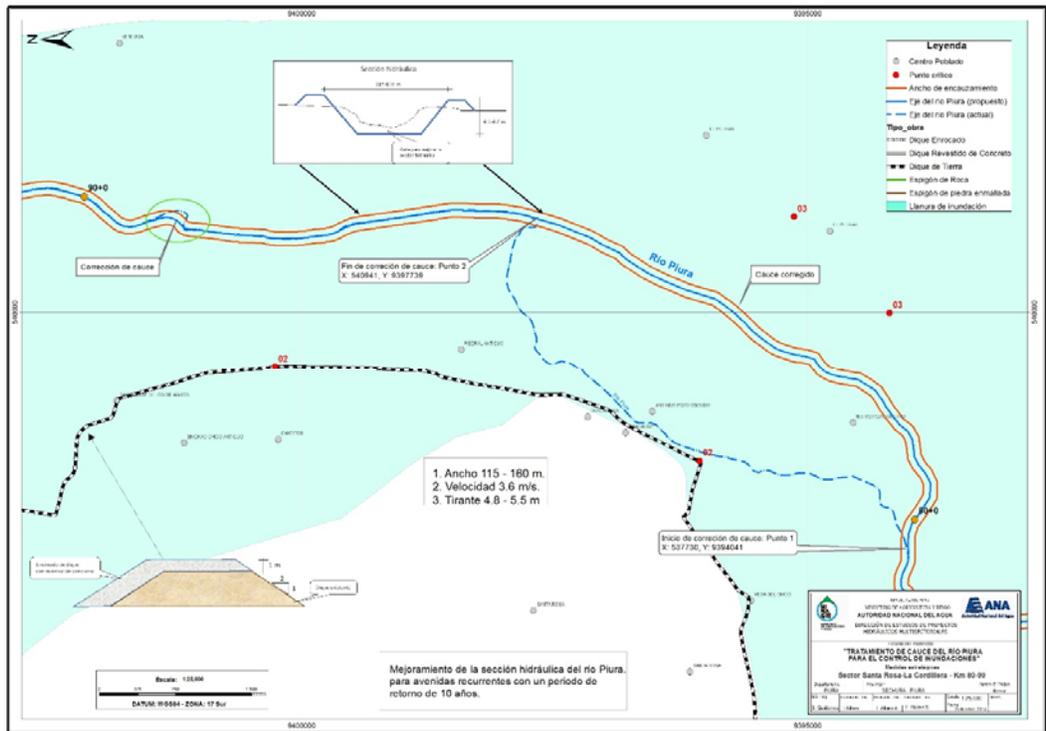


Figura 2. Corrección de cauce, progresiva 80+000 - 86+000

4. Desde la progresiva 86+000 hasta la progresiva 122+00, la descolmatación deberá continuar considerando el mismo periodo de retorno y la misma sección. Cuando se presenten caudales superiores a un periodo de retorno de 10 años, el caudal excedente deberá ser absorbido por el área comprendida entre los diques existentes.
5. Desde la progresiva 122+000 hasta la progresiva 126+000, la descolmatación está limitada al ancho del cauce establecido por las estructuras de protección existente de las ciudades de Piura y Castilla (ver figura 3).

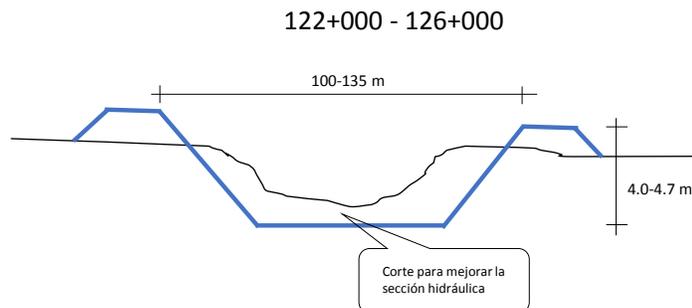


Figura 3. Sección típica de descolmatación

Tramo 3

Inicio, X= 537534, Y= 9419790

Fin, X= 538250, Y= 9420362

Longitud 960 metros

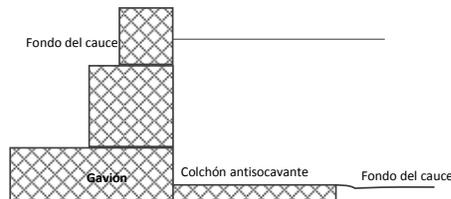


Figura 5. Dique o muro de gaviones

9. A partir de la progresiva 30+000, se proponen en diferentes tramos diques con protección, que consiste en la conformación de un dique de material propio o de préstamo y revestido ya sea con roca, gaviones, tapetes de concreto, geobolsas u otro material adecuado (figura 6).

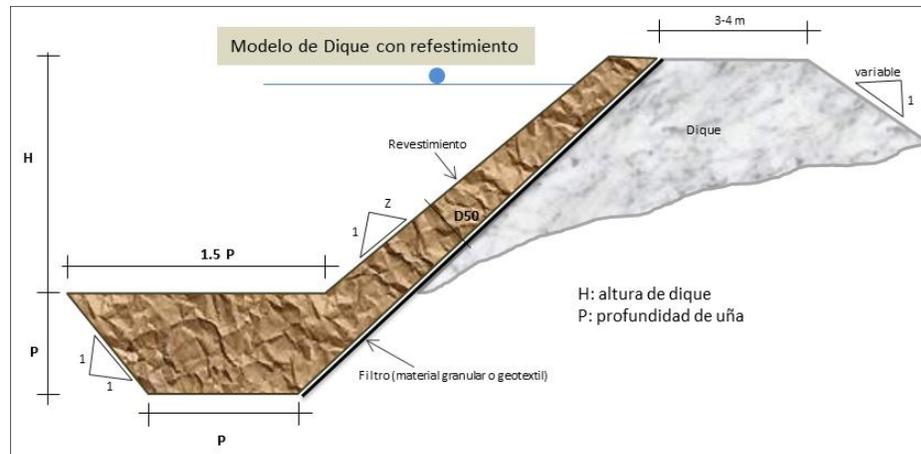


Figura 6. Construcción de dique y protección con revestimiento de roca, gavión u otro material

10. A partir de la progresiva 150+000 y en diferentes tramos, se propone espigones de piedra, enmallado u otro material.

Espigones. Son estructuras y trabajan en conjunto, son empleados, cuando se desee orientar en forma convergente los cursos de agua o existan cauces demasiado amplios y de fácil erosión. Son ubicados en forma transversal al

flujo del agua y pueden ser con roca, piedra enmallada u otro material.

Recomendaciones para el diseño de espigones

- El material debe estar de acuerdo a las condiciones geomorfológicas del cauce y no deben generar impactos negativos al ambiente. Deben ser resistentes a las fuerzas erosivas de la corriente del río.
- La ubicación de la estructura debe guardar relación con los parámetros de forma del río; la punta del espigón no debe sobrepasar el borde del ancho estable del río, incluso pudiendo ser menor.
- El número de espigones deben ser como mínimo 3 ó 4 para obtener resultados efectivos.
- El espaciamiento entre espigones de tramos rectos puede variar entre 4.5 a 6 veces la longitud del espigón. Si el tramo es curvo puede variar entre 2.5 a 4 veces la longitud del espigón.
- La longitud de los radios de curvatura (R) medidos hasta el eje del río debe estar entre los límites $2.5B < R < 8B$.
- La longitud de los espigones (Lt) debe estar entre los siguientes límites: $h \leq Lt \leq B/4$, donde h, es el tirante medio y B, es ancho estable del río.

En la figura 7, se muestra una estructura típica de espigones con gaviones, conformados con cajas de malas galvanizadas y colchones tipo Reno.

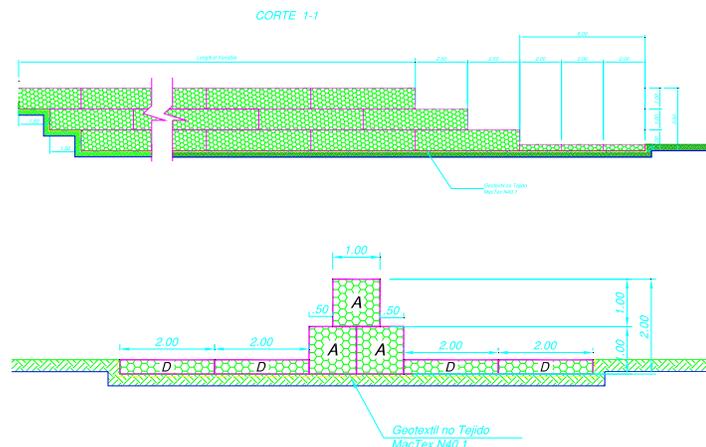


Figura 7. Modelo de espigones de gaviones

11. A partir de la progresiva 160+000, se propone la conformación de dique. Estas son estructuras paralelas al flujo que evitan que el agua desborde e inunde zonas extensas. Constituido de material propio del cauce o con material de

préstamo (figura 8). También se utiliza para hacer correcciones de cauce.



Figura 8. Modelo de dique de material propio o préstamo

12. Adicionalmente se han considerado estructuras de protección en los siguientes afluentes o tributarios, como parte integral de la reducción de riesgo ante inundaciones.

- Quebrada Carnero, se propone 02 dique con protección en ambas márgenes y descolmatación, con la finalidad de proteger la ciudad de Tambogrande y la planta de tratamiento de aguas residuales.
- Quebrada de San Francisco, se propone un dique con protección en la margen derecha y descolmatación, para proteger el poblado de Curban.
- Río Yapatera, se propone 02 diques con protección en la margen derecha y la conformación de un dique de material propio o préstamo, para proteger a la ciudad de Chulucanas.
- Quebrada Las Damas, se propone un dique con protección y la conformación de un dique de material propio o préstamo, para proteger a los poblados de la Bocana y Piura La Vieja.
- Quebradas Mena y Franco, se propones en ambas márgenes descolmatación y conformación de diques.
- Río Corrales, se propone la descolmatación para dar una mejor velocidad del flujo y proteger los campos agrícolas.

En el cuadro 2, se indica la propuesta de las medidas estructurales para cada sector y por distritos.

Cuadro 2. Propuesta de medidas estructurales

Nº	Sector	Distrito	Provincia	Propuesta	Progresiva (Km)	Longitud		Ubicación UTM			
						M. derecha	M. izquierda	X _{inicio}	Y _{inicio}	X _{fin}	Y _{fin}
01	Virralá	Sechura	Sechura	Continuidad del flujo, a través del estuario de Virralá	0-30	-	-	-	-	-	-
02	La Niña	Sechura	Sechura	Mejoramiento de la sección hidráulica	30-50	-	-	-	-	-	-
03	Ramón-Napique	Sechura	Sechura	Mejoramiento de la sección hidráulica	50-80	-	-	-	-	-	-
				Inicio del encimado del dique existente		Derecha	-	-	-	-	-
05	Santa Rosa- La Cordillera	El Tallán, Bernal	Sechura-Piura	Encimado del dique existente	80-90	Derecha	-	-	-	-	-
				Corrección de cauce		5,600		537730	9394041	540941	9397739
06	La Joya	El Tallán, La Arena, Cura Mori	Piura	Encimado del dique existente	90-100	Ambas márgenes		-	-	-	-
				Protección de cauce con piedra enmallada		2,520	537112	9405052	535402	9406290	
07	Independencia-Mocará	Catacaos, La Arena, Cura Mori	Piura	Encimado del dique existente	100-110	Ambas márgenes		-	-	-	-
				Protección de cauce con piedra enmallada		2,390	533395	9413667	533734	9416020	
08	Vidique-Simbila	Catacaos, Piura	Piura	Encimado del dique existente	110-120	Ambas márgenes		-	-	-	-
				Protección de cauce con piedra enmallada		960	537534	9419790	538250	9420362	
09	Puente Bolognesi-Cáceres	Piura-Castilla	Piura	Fin de encimado de dique progresiva 122+000	120-130	Ambas márgenes					
10	Chapaira	Piura-Castilla	Piura	Dique con protección	130-140		960	542361	9433357	542006	9434157
11	Curumuy-Santa Clara	Piura-Castilla	Piura	Dique con protección	140-150	3890		542459	9442718	544298	9445994
				Espigones		540		544736	9448102	544232	9448498
				Dique con protección		1250		544232	9448498	544499	9449567
12	Punta Arena	Tambogrande-Castilla	Piura	Conformación de dique	150-160		4500	549194	9450819	551852	9452510
13	Carneros-Santa Rosa de Curvan	Tambogrande	Piura	Dique con protección	190-200	350		573566	9454969	573587	9455308
				Dique con protección		340		573371	9454404	573561	9454677
				Dique con protección		700		573307	9454283	573870	9453908
				Espigones		500		574053	9453253	573783	9452825
Conformación de dique	660		572812	9453145	572446	9452709					
14	Santa Rosa de Curvan	Tambogrande	Piura	Dique con protección	200-210	850		576185	9452594	576887	9452945
15	Niácara-Vicus	Chulucanas	Morropón	Dique con protección	230-240	630		543459	9935779	593819	9436091
				Conformación de dique		735		593111	9435607	543459	9935779
				Dique con protección		710		592666	9435382	593111	9435607
				Dique con protección		925		591397	9434815	592118	9434254
Conformación de dique	1525		592910	9432827	593875	9432176					
16	La Bocana	Chulucanas-La Matanza	Morropón	Dique con protección	240-250		995	601428	9429685	600882	9429004
				Conformación de dique		860		602071	9430791	601514	9430227
17	Pabur-Franco Alto	La Matanza-Morropón	Morropón	Dique con protección	250-260		855	600760	9428640	601372	9428640
				Dique con protección		625		601569	9428297	602167	9428134
				Espigones		250		602167	9428134	602244	9427867
				Dique con protección		1365		603056	9427505	604258	9428058
				Conformación de dique		620		606499	9427760	606695	9428244
Conformación de dique	500		606854	9427656	606936	9428123					
18	Burneo-Buenos Aires	Morropón, Buenos Aires, La Matanza	Morropón	Dique con protección	260-270	560		608425	9425783	608722	9425318
				Dique con protección		1240		608318	9425696	608577	9425457
				Espigones		210		609010	9423788	609142	9423613
				Conformación de dique		1365		605257	9423539	610532	9423079
				Espigones		400		551852	9452510	551852	9452510
Conformación de dique	900		611774	9421684	612568	9421853					
19	Huaro	Buenos Aires	Morropón	Conformación de dique	270-280	2070		615119	9419395	615895	9419206
20	Hualas	Buenos Aires-Sa	Morropón		280-290		1910	619780	9411455	621628	9411184

Las medidas estructurales propuestas se muestran en mapas en la parte de anexos.

7.4 Medidas estratégicas en afluentes

La propuesta está orientada a mitigar la energía del flujo de agua con arrastre de materiales. Así como mejorar la cobertura vegetal de la cuenca para reducir la velocidad de agua, disminuir el material de arrastre y aumentar el tiempo de transporte (tiempo de concentración). A continuación se recomienda las siguientes medidas:

1. Construcción de diques. Esta medida deberá implementada con diques transversales al flujo de agua y pueden ser de roca, gavión, mampostería, concreto u otro material adecuado a la zona. La función de estas estructuras es retener la mayor cantidad el material de arrastre y disipar la energía del flujo. Están ubicados transversalmente a lo largo del perfil de la quebrada unos a continuación de otros, espaciados según la pendiente dominante.

En la figura 9, se muestra los diques transversales tipo, que se recomienda para el control de las quebradas.

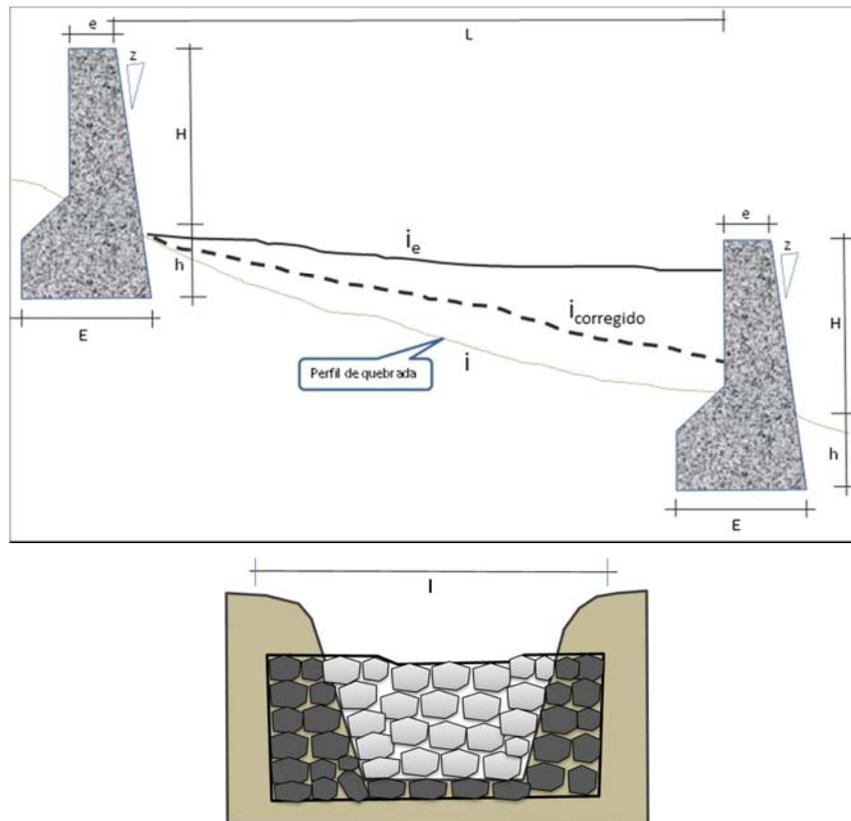


Figura 9. Modelo de dique transversal para el control de quebradas

$$N^{\circ} \text{ diques} = \frac{D(i - i_e)}{H}$$

Donde:

L: longitud entre dique y dique

i: pendiente natural

i_e : pendiente de equilibrio

$i_{\text{corregido}}$: 20-30% de la pendiente natural

H: altura del dique

D: longitud a implementar, 10% de la longitud total

Con la implementación de los diques transversales se puede corregir la pendiente natural de la quebrada hacia la pendiente de equilibrio; en este estudio se recomienda incrementar la pendiente natural entre un 20 y 30%.

En el cuadro 3, se recomienda las dimensiones de los diques según la quebrada a intervenir.

Cuadro 3. Dimensiones de los diques por tipo de quebrada

Quebrada	DIMENSIONES DEL DIQUE TRANSVERSAL								
	Longitud Cauce (m)	L (m)	N diques	e (m)	H (m)	h (m)	s%	S% corregido	l (m)
Carnero	31,069	207	15	0.4	0.6 - 1.20	0.4 - 0.60	0.58	0.44	Variado (depende del ancho de la quebrada)
San Francisco	43,429	56	77	0.4	0.6 - 1.20	0.4 - 0.60	2.13	1.60	
Yapatera	44,738	79	57	0.4	0.6 - 1.20	0.4 - 0.60	6.08	4.56	
Charanal	47,289	72	66	0.4	0.6 - 1.20	0.4 - 0.60	6.68	5.01	
Las Damas	24,268	61	40	0.4	0.6 - 1.20	0.4 - 0.60	7.83	5.87	
Mena	7,390	30	25	0.4	0.6 - 1.20	0.4 - 0.60	4.06	3.05	
Franco	6,900	28	25	0.4	0.6 - 1.20	0.4 - 0.60	4.35	3.26	
Corrales	43,269	76	57	0.4	0.6 - 1.20	0.4 - 0.60	6.31	4.73	
Bigote	53,576	87	62	0.4	0.6 - 1.20	0.4 - 0.60	5.51	4.13	

2. Reforestación. Se recomienda la reforestación o forestación en zonas aptas para esta actividad y con especies nativas principalmente, no debe incluirse en zonas de cultivos. Las actividades de forestación y reforestación deben realizarse en la parte alta y media de la cuenca; así como, en las áreas de recuperación, ubicado en la faja marginal.

3. Obras mecánico estructural (conservación de suelos). Una de las actividades más efectivas para el control de la erosión hídrica son las prácticas conservacionistas. Es un instrumento contra la degradación que forma parte de la

conservación de tierras.

El objetivo, reducir la pérdida de suelo a un nivel que permita un nivel alto de productividad edáfica, económicamente y socialmente, Es aplicar técnicas o prácticas que contribuyen a conservar las características físicas, químicas y microbiológicas del suelo, para mantener su capacidad productiva. Se reduce o elimina el arrastre y pérdida del mismo por acción de la lluvia y el viento.

Estas actividades conllevan a: Aumentar la cobertura de los suelos, Aumentar el contenido de materia orgánica, Aumentar la infiltración y la retención de humedad, Reducir la escorrentía, Mejorar las condiciones de enraizamientos, Mejorar la fertilidad química y la productividad, Reducir la contaminación del suelo y del ambiente.

Algunas obras mecánico estructural son: barreras vivas, terrazas de absorción, terrazas de formación lenta, reservorio de infiltración, zanjas de infiltración, rehabilitación de andenes, diques para el control de cárcavas, obras de defensas ribereñas, waru waru, represamientos, otros.

a. Terrazas de absorción. Las terrazas de absorción son plataformas o bancos escalonados, contruidos transversales a la pendiente y separadas por taludes de tierra o muros de piedra protegidos con vegetación. Son las prácticas mecánico estructurales más completas y efectivas para el control de la erosión. De acuerdo al tipo de material en que se construye su talud, las terrazas de absorción pueden ser de tierra, de piedra o de tapial



Figura 10. Terrazas de absorción

- b. Zanjas de infiltración.** Son pequeños canales de sección rectangular o trapezoidal, que se construyen transversalmente a la máxima pendiente del terreno y siguiendo las curvas a nivel. Tiene el propósito de reducir la longitud de recorrido del agua de escorrentía, de manera el caudal y la velocidad es controlada a lo largo de la ladera; la energía erosiva del agua disminuye y la erosión del suelo que se produzca será menor. Las zanjas de ladera son efectivas en pendientes hasta de 50%. En terrenos donde el suelo es poco profundo (menos de 50 cm), son las obras físicas más adecuadas



Figura 11. Zanjas de infiltración

- c. Rehabilitación de andenes.** Los andenes, propiamente, son terrazas de banco con muros de piedra, construidos por los antiguos peruanos y masificados durante el imperio incaico. Constituyen terrazas construidas a manera de escalones artificiales sobre terrenos en pendientes que generan efectos positivos para el uso adecuado de las tierras para la agricultura en laderas.
- d. Terrazas de formación lenta.** Se forman progresivamente por efecto del arrastre y acumulación de sedimentos en las barreras construidas de piedra, tierra, champas; barreras viva, etc. que se ubican transversalmente a la pendiente máxima del terreno. Sus principales funciones son: reducir la erosión hídrica en las laderas; reducir la pendiente media de la ladera; y propicia la infiltración del agua.



Figura 12. Terrazas de formación lenta

En la figura 13, se muestra las obras de control y conservación de suelos para las quebradas tributarias.

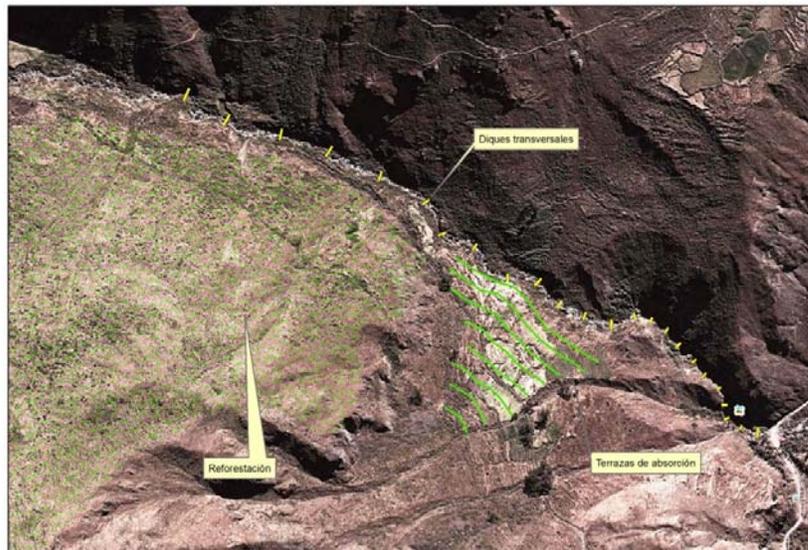


Figura 13. Obras de control y conservación de suelos

7.5 Medidas estratégicas en la parte alta de la cuenca

Se propone la construcción de 4 reservorios, que en conjunto podrían almacenar aproximadamente 18 millones de metros cúbicos, que ayudarían en reducir los riesgos de inundación y erosión en la parte media y baja de la cuenca.

El volumen almacenado podrá disponerse para el caudal ecológico y eventualmente se podría utilizar como complemento a la explotación de pozos.

En la figura 14, se muestra la ubicación de los reservorios respecto a la cuenca del río Piura.

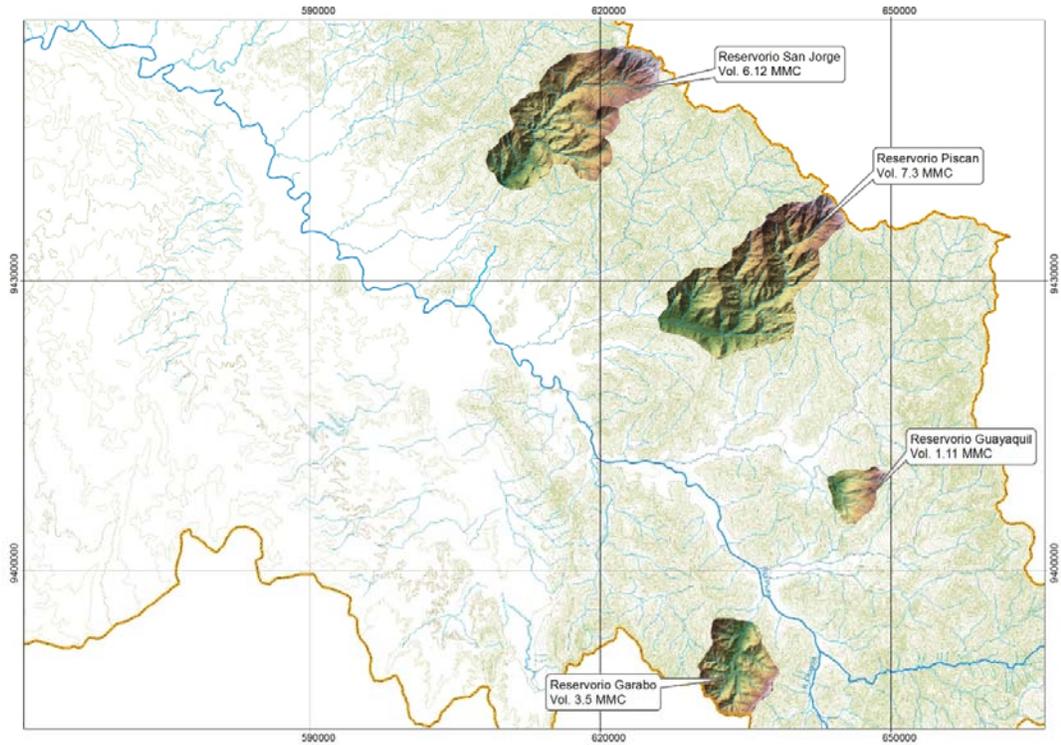


Figura 14. Ubicación de los reservorios

Los reservorios propuestos son los siguientes:

1. **Reservorio San Jorge.** Ubicado en la parte alta del río Charanal y a la margen derecha del río Piura; tiene una capacidad aproximada de 6.12 millones de metros cúbicos. Será alimentado por los afluentes: río Simitri, ríos San Jorge, Río Huala, quebrada Hualtaco, entre otros.

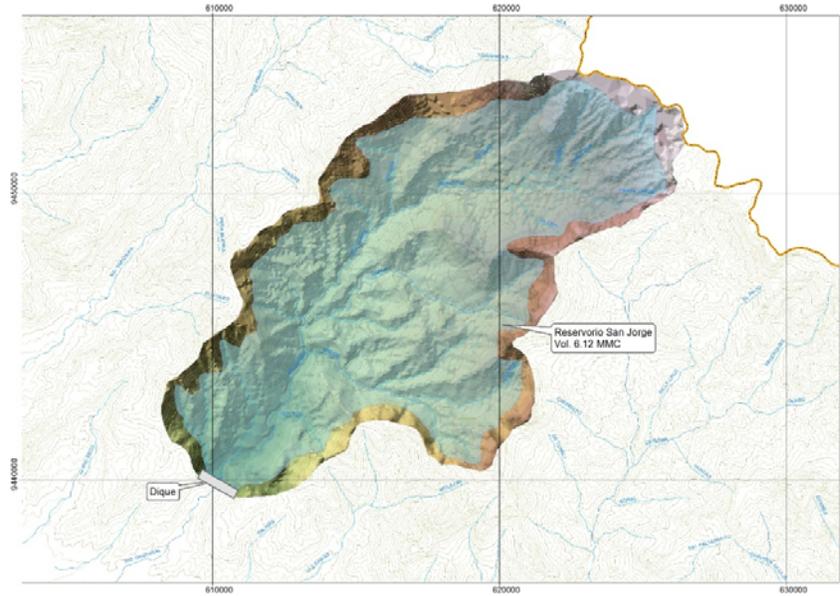


Figura 15. Reservorio San Jorge

2. **Reservorio Piscan.** Ubicado en el río Corrales, tiene una capacidad de 7.39 millones de metros cúbicos. Será alimentado por los ríos Piscán, de Guayaquil, Yamana, y río Grande.

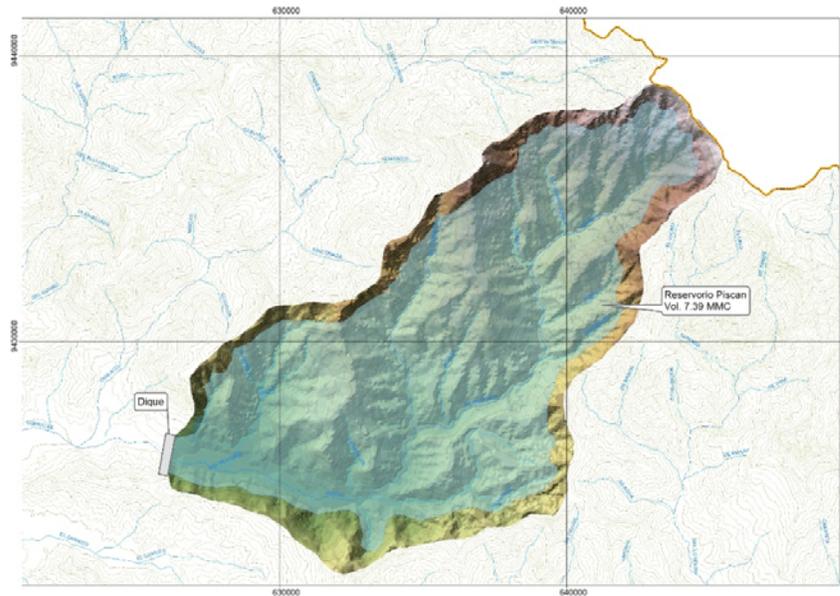


Figura 16. Reservorio Piscan

3. **Reservorio Guayaquil.** Ubicado en la parte alta del río Bigote, tiene una capacidad de 1.11 millones de metros cúbicos.

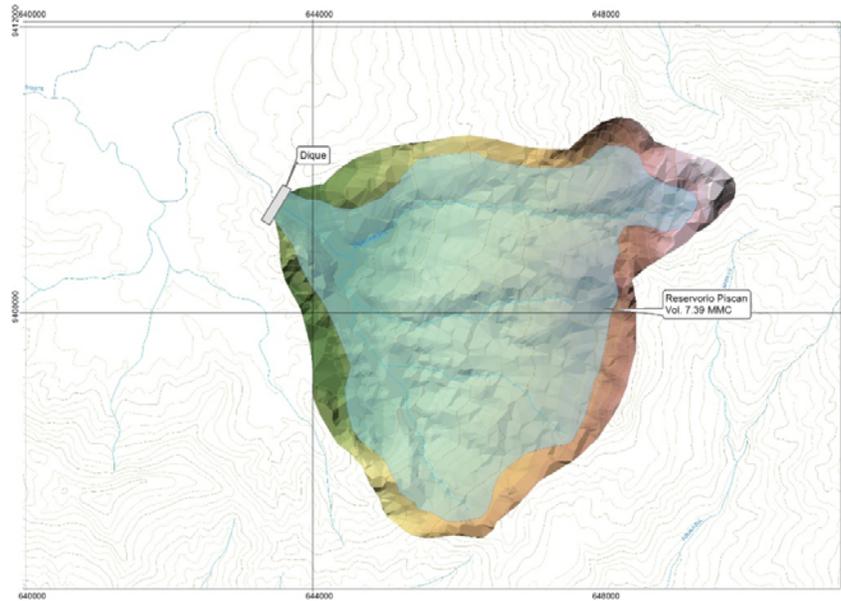


Figura 17. Reservorio Guayaquil

4. **Reservorio Garabo.** Ubicado en la margen izquierda del río Piura, será alimentado por las quebradas Jaguay del Portillo, Rinconada Nueva, Caña Brava y Algarrobito. Tendrá una capacidad de 3.50 millones de metros cúbicos.

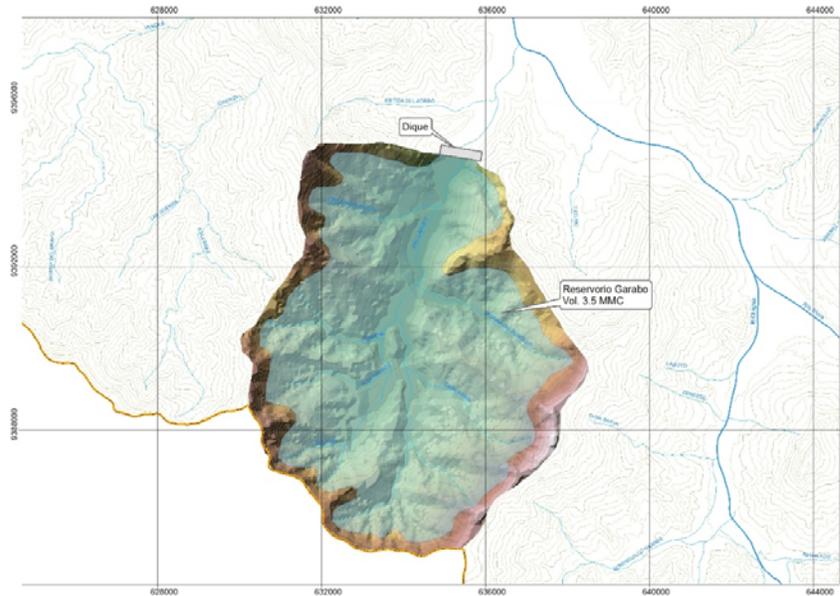


Figura 18. Reservorio Garabo

7.6 Medidas no estructurales

a. Delimitación y monumentación de la faja marginal.

En los terrenos aledaños a los cauces naturales o artificiales, se mantiene una faja marginal de terreno necesaria para la protección, el uso primario del agua, el libre tránsito, la pesca, caminos de vigilancia u otros servicios (Ley de Recursos Hídricos 29338). Las fajas marginales son bienes de dominio público hidráulico. Están conformadas por las áreas inmediatas superiores a las riberas de las fuentes de agua, naturales o artificiales.

La delimitación y monumentación de la faja marginal, viene a ser una de las medidas no estructurales más importantes, en la prevención de riesgos contra inundaciones y erosiones de origen fluvial; va permitir a los gobiernos locales y regionales implementar programas de ordenamiento territorial y reubicación de poblaciones asentadas en zonas de alto riesgo. Asimismo, garantizará la reserva de un área ribereña para la protección del recurso hídrico y la vigilancia.

b. Programa de capacitación y sensibilización, sobre Alerta Temprana, Gestión

de Riesgos ante inundaciones, simulacros, etc. Este programa debe ser promovido por el Gobierno Regional, Gobierno Local, Sectores y entidades privadas.

c. Reubicación de poblaciones en riesgo

La reubicación de las poblaciones que estén asentadas en zonas de riesgo, es decir en el borde el cauce y faja marginal, deben ser reubicados a lugares más seguros; esta medida debe ser considerado de primera prioridad, incluso antes que la descolmatación y defensas ribereñas.

La reubicación de poblaciones en riegos debe ser asumida por los gobiernos locales y regionales en coordinación con la Autoridad Nacional del Agua.

7.7 Recomendaciones de diseño

Se debe en cuenta algunas recomendaciones en el diseño de las defensas ribereñas.

Topografía

- Tener referencia a la Red Geodésica Nacional horizontal, a través de un punto Geodésico (mínimo de Orden "C"). El control vertical debe estar referido al nivel medio del mar (m.s.n.m.). Se acepta la altura geoidal siempre y cuando las condiciones del lugar no permita realizar una nivelación referida a un BM. Debe estar referenciado al sistema de coordenadas Datum WGS 84 (World Geodetic System 84).
- Presentar el certificado de validación otorgado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) del Punto Geodésico, siempre y cuando haya sido instalado por una empresa privada (la existencia de estos hitos deben ser verificados en campo).
- Las curvas de nivel no deben cruzarse entre sí, ni presentar ángulos y deben incluir todos los detalles importantes como puentes, obras de protección, etc.
- El desnivel entre curvas debe estar entre 0.5 a 1 m. dependiendo del relieve del terreno.
- Además del cauce principal del río, considerar un área adicional contigua al borde del cauce, correspondiente a la llanura de inundación. En terrenos planos (pendiente 0° - 8°), considerar un área entre 200 a 500 metros de ancho en

cada margen del río. En terrenos con pendientes bajas a moderadas (8° - 16°), se debe considerar un área adicional de 100 a 200 m. En terrenos con pendientes fuertes a muy fuertes, considerar un área adicional de 50 a 100 m a ambas márgenes.

- En tramos con curvas (cóncavo y convexo) considerar una cantidad de barrido de puntos topográficos de tal manera que garantice la forma del cauce y el área adyacente.

Hidrología

- La información hidrológica y meteorológica a utilizar deberá ser proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e hidrología (SENAMHI) o por el Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos (SNIRH) administrado por la Autoridad Nacional del Agua. En caso de no contar con esta información; la información deberá corresponder a otras entidades encargadas de su administración.
- El periodo de retorno recomendado es 50 años para zonas agrícolas y 100 años para zonas urbanas.
- Si se dispone de información hidrométrica, los cálculos deben hacerse con caudales máximos diarios o instantáneos y pueden emplearse métodos estadísticos.
- Si se dispone sólo de información pluviométrica, los cálculos deben hacerse con información de registro de lluvias máximas para 24 horas (16 u 8 horas si se dispone de esta información). En este caso se pueden emplear modelos precipitación escurrentía.
- Se recomienda un mínimo de 20 años de registro de caudales máximos para predecir los eventos futuros. Se debe incluir los eventos del Fenómeno El Niño; sin embargo esta información debe ser evaluada de tal manera que no se originen sobredimensionamientos en las obras.
- Los métodos empíricos sólo se emplearán cuando no se disponga de información hidrométrica y pluviométrica. Este método debe ser corroborado por otro método; regionalización si se dispone de información en cuencas vecinas y homogéneas, o algún otro método con resultados confiables.

Hidráulica

- La simulación hidráulica del río, debe considerar un modelo unidimensional y

flujo gradualmente variado, siempre y cuando el flujo del río es predominante hacia un sentido y dirección. Cuando el flujo de los ríos, tengan más de una orientación significativa como los ríos meándricos es necesario un modelo bidimensional e indicar las condiciones de frontera adoptadas en el modelo.

- Los parámetros del río indicados como: velocidad, tirante, número de Froude, etc. deben ser los valores máximos y deben ser tomados como indicadores de diseño. El coeficiente de rugosidad debe corresponder al cauce y la llanura de inundación de acuerdo a las características del terreno.
- Incluir mapa de llanuras de inundación, de acuerdo al caudal de diseño e indicar los posibles daños.
- El ancho estable del cauce es el extremo interior de la faja marginal y las obras de defensa ribereña. Está en función del caudal máximo instantáneo, material del fondo y orillas del cauce, diámetro de la partícula y del coeficiente de rugosidad. Si el ancho natural es menor al ancho estable por condiciones antrópicas, se debe considerar el ancho estable que se haya adoptado. La dimensión del ancho estable que haya indicado en el estudio debe estar en el rango de las dimensiones calculados por las metodologías indicadas.

Maquinaria

- De la maquinaria pesada y equipos utilizados en obras de defensa ribereña
Se recomienda tomar como referencia la Directiva General N° 0010-2010-ANA-J-DEPHM, referente a “Normas y procedimientos para la identificación y selección de maquinaria pesada y equipos, que se utilizarán en la construcción de obras de defensas ribereñas para mitigar los efectos negativos de las inundaciones.

De la estructura elegida

- Las estructuras (diques, muros, etc.) deben alinearse con respecto al límite del cauce, considerando el ancho estable del río. En ningún caso las obras deben reducir el ancho del río, salvo excepciones que requieren de otros estudios complementarios.
- La altura mínima total del dique (incluido el borde libre) debe corresponder al tirante máximo del flujo, calculado con el caudal máximo instantáneo.
- La altura de la cimentación de las obras debe ser mayor o igual a la profundidad de la socavación.

- Si la protección del dique o revestimiento es a base de roca, debe adjuntarse los resultados de las pruebas de abrasión del laboratorio, los cálculos del dimensionamiento del diámetro de las rocas (Maynard, Isbash, Goncharov, Levi, U.S. Department of Transportation).
- Las obras deben considerar un filtro entre el talud de tierra y el recubrimiento. El filtro puede ser de material granular o filtros de geotextil. El espesor (e) de los filtros granulares puede ser: $e_{min}=25d_{50}(\text{filtro})=0.5E$ (E:espesor del enrocado). Para el caso de filtro de geotextil debe adjuntarse las especificaciones técnicas del fabricante (Peso, espesor, resistencia longitudinal, resistencia transversal, resistencia a la perforación, otros)
- El material debe estar de acuerdo a las condiciones geomorfológicas del cauce y no deben generar impactos negativos al ambiente. Deben ser resistentes a las fuerzas erosivas de la corriente del río.
- La ubicación de la estructura debe guardar relación con los parámetros de forma del río; la punta del espigón no debe sobrepasar el borde del ancho estable del río, incluso pudiendo ser menor.
- El número de espigones deben ser como mínimo 3 ó 4 para obtener resultados efectivos.
- Los espigones no se recomiendan en ríos con pendientes superiores al 2%, ya que resulta muy difícil garantizar la estabilidad de los espigones.
- El espaciamiento entre espigones de tramos rectos puede variar entre 4.5 a 6 veces la longitud del espigón. Si el tramo es curvo puede variar entre 2.5 a 4 veces la longitud del espigón.

Capítulo VIII



Impactos del estudio

INDICE

<i>CAPITULO VIII</i>	180
<i>IMPACTOS DEL ESTUDIO</i>	180
8.1 Impactos ambientales	180
8.2 Impactos Socio – económico y cultural	183
8.3 Impactos Institucional - político.....	187
8.4 Conclusiones y Recomendaciones	187

Relación de cuadros

<i>Cuadro 1. Patrimonio Cultural</i>	185
--------------------------------------------	-----

Relación de figuras

<i>Figura 1. Flamencos en el estuario de Virrilá</i>	182
<i>Figura 2. Comisiones de Regantes</i>	184

CAPITULO VIII

IMPACTOS DEL ESTUDIO

Este capítulo, ha sido elaborado por la necesidad de identificar y describir los impactos ambientales que pueden ser generados por la *Propuesta de medidas estratégicas*¹ proyectadas en el presente estudio, en ese sentido, se ha optado por el análisis a escala regional, en función de la distribución espacial de las estructuras proyectadas en la cuenca del río Piura.

El Área de Influencia Directa (AID) tiene una superficie total de 1 298 km², considerando el área de la llanura de inundación, el cauce natural del río Piura y las estructuras proyectadas; así mismo, abarca algunas áreas de los distritos adyacentes al cauce del río Piura.

El Área de Influencia Indirecta (AII) corresponde a la cuenca del Río Piura y parte de la Intercuenca 13779, tiene una superficie total de 14 391 km².

8.1 Impactos ambientales

La ejecución de obras de defensa ribereña y control de inundaciones del tipo estructural generará un impacto positivo en el medio ambiente, en las progresivas 0+000 hasta el m 80+ 000 en el distrito de Sechura, el estudio propone la salida de río Piura hacia el mar a través de las lagunas San Ramón, Ñapique, La Niña y el Estuario de Virrilá, ésta última era su antigua desembocadura, el cual en algún momento de su historia se desvió cambiando de lugar y una parte alimenta a los Manglares San Pedro de Vice. Esto dejó una enorme entrada de agua del mar dentro del continente, la cual, debido a la ocasional entrada de agua dulce a través de un ramal del río Piura y a las aguas subterráneas, adquiere el carácter de salobre. Ver detalle en mapa en anexo.

La importancia de Estuario de Virrilá, inicia con estudios de Morrison y Ross del servicio canadiense de vida silvestre que en 1989 publican "*Atlas de las aves*

¹ En el CAPITULO VII, se detallan las Propuestas de medidas estratégicas.

playeras neárticas en la costa de Sudamérica” donde encontraron 31 325 aves. En el 2006 Nathan Senner y Tom Schulenberg, estudiosos de aves playeras americanas publicaron en la revista Cotinga, la presencia por primera vez del zarapito (*Numenius americanus*). Así mismo el Centro de Datos para la Conservación de la Universidad Nacional Agraria La Molina (CDC – UNALM) en 1992 consideró como sitio de interés para la conservación de la biodiversidad con categoría de “Prioridad de Conservación Muy Alta”. Recientemente ha sido declarado como un Área de Importancia para la conservación de Aves (IBA) por BirdLife International, debido justamente a que concentra grandes cantidades de aves acuáticas y migratorias. Actualmente el Gobierno Regional de Piura está elaborando el expediente técnico para obtener la categoría de Área de Conservación Regional (ACR) a través de SERNANP (Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado).

En el bosque adjunto a las lagunas San Ramón y Ñapique existen diferentes especies de plantas, tales como: faique (*Acacia macracantha*), vidrio (*Batis marítima*), hierba de alacrán (*Heliotropium curassavicum*), algarrobo (*Prosopis pallida*), turre macho (*Spilantes leiocarpa*), amor seco (*Bidens pilosa*) y tomatillo (*Licopersicum pimpinellifolium*). Así como, peces de agua dulce entre estos se tiene a lisas, carpas, chápalos y truchas.

La propuesta de salida de río Piura a través del Estuario se ha considerado para un periodo de retorno de 10 años, que permitirá la conservación y el incremento de la biodiversidad en el Estuario de Virrilá, su flora se presenta escasa en la zona desértica, está caracterizada por la presencia dominante del “algarrobo” *Prosopis sp*, y “sapote” *Capparis scabrida*, “vichayo” *Capparis ovalifolia*, pasturas temporales en el periodo de lluvias como “gramas”, “relincho”, “miñante”, etc. Respecto a la fauna característica en la zona como: el “zorro costero”, “lagartija”, “iguana” y aves como: el zarapito (*Numenius americanus*), la “parihuana” (*Phoenicopterus chilensis*) y las “guaneras”, flamencos, Gaviotín Real (elegante y de Patas Negras), las Grullas, además de “palomas” y “patillos”.



Figura 1. Flamencos en el estuario de Virrilá

Así mismo la propuesta de dar salida hacia el mar permite mejorar las condiciones hidráulicas del cauce fijas para el tránsito del caudal, para un periodo de retorno de 10 años y las condiciones fisiográficas permitirán la activación de la laguna La Niña, mediante laminación hasta para un periodo de retorno de 100 años.

Otro impacto ambiental positivo considerando las obras de encauzamiento para un periodo de retorno de 100 años y activarse la Laguna a Niña, se generara un ecosistema acuático que puede aprovecharse en la actividad pesquera y turística. Considerando que el área puede ser refugio natural para diversas aves y mamíferos; así mismo, el aumento de caudal crea condiciones navegables que pueden generar el incremento de potencial turístico, se puede integrar a las rutas turísticas existentes.

Las obras de defensa ribereña y control de inundaciones del tipo estructural en el río Piura, para un periodo de retorno de 100 años, contempla obras de encimado del dique existente y protección de dique con piedra enmallada (gaviones) hacia el río Piura principalmente en el valle de río Piura, esta situación se considera como un impacto ambiental positivo.

Los terrenos aluviales son productivos por los materiales de arrastre de la inundación, ésta remueve la humedad del suelo, y deposita limos en las tierras aluviales fértiles. En las áreas desérticas como el distrito de Sechura, posiblemente sea la única fuente de riego natural, o de enriquecimiento del suelo; estas áreas pueden ser incorporadas a la agricultura con cultivos estacionales o pueden ser zonas intangibles con fines de

forestación o reforestación.

La ejecución de las obras debe contemplar un mínimo de desbroce de especies arbustivas y arbóreas; en caso de darse en grandes cantidades, podría darse un impacto negativo, en el sentido que estas áreas son refugios de diferentes especies animales.

8.2 Impactos Socio – económico y cultural

La protección de áreas de cultivos en las comisiones de regantes: San Andrés, Chato, Seminario, Sinchao Parte Alta, Casarana, Cumbibira, Pao Parado en la margen derecha y en la margen izquierda La Bruja, Puyuntala y Castilla Tacala principalmente en el valle de río Piura, centros poblados, infraestructuras de riego (canales, bocatomas) y vial (carreteras, trochas y puentes). Ver Figura 2.

Evita las pérdidas de las propiedades privadas e infraestructura, debido a desbordes de avenidas. Caso contrario, traerá desconcierto y afectará emocionalmente a la población. Asimismo, decaerá la economía de la gente afectando su poder adquisitivo, llegando al extremo de migrar a otras regiones o localidades en busca de mejoras en su calidad de vida. Una ejecución de obras bien planificada y sostenible traerá consigo tranquilidad en los usuarios y sentirán la intervención del Estado promotor, así como, de las instituciones Locales y Regionales.

En la cuenca Piura se identificaron importantes culturas con restos de milenarias culturas que potencian la zona, no solo para la investigación sino también la construcción de la riqueza cultural e identidad local, áreas de las cuales se categorizan en Patrimonio Histórico, Patrimonio Cultural y Museos. Cuadro 1, se observa la distribución espacial del Patrimonio cultural identificados en la cuenca del río Piura.

Las obras proyectadas no implican la ocupación del espacio territorial de ningún sitio arqueológico o patrimonio cultural, registrados por el Ministerio de Cultura. Muy por el contrario, las medidas estratégicas presentadas en el presente estudio contempla y prioriza la conservación del patrimonio cultural histórico.

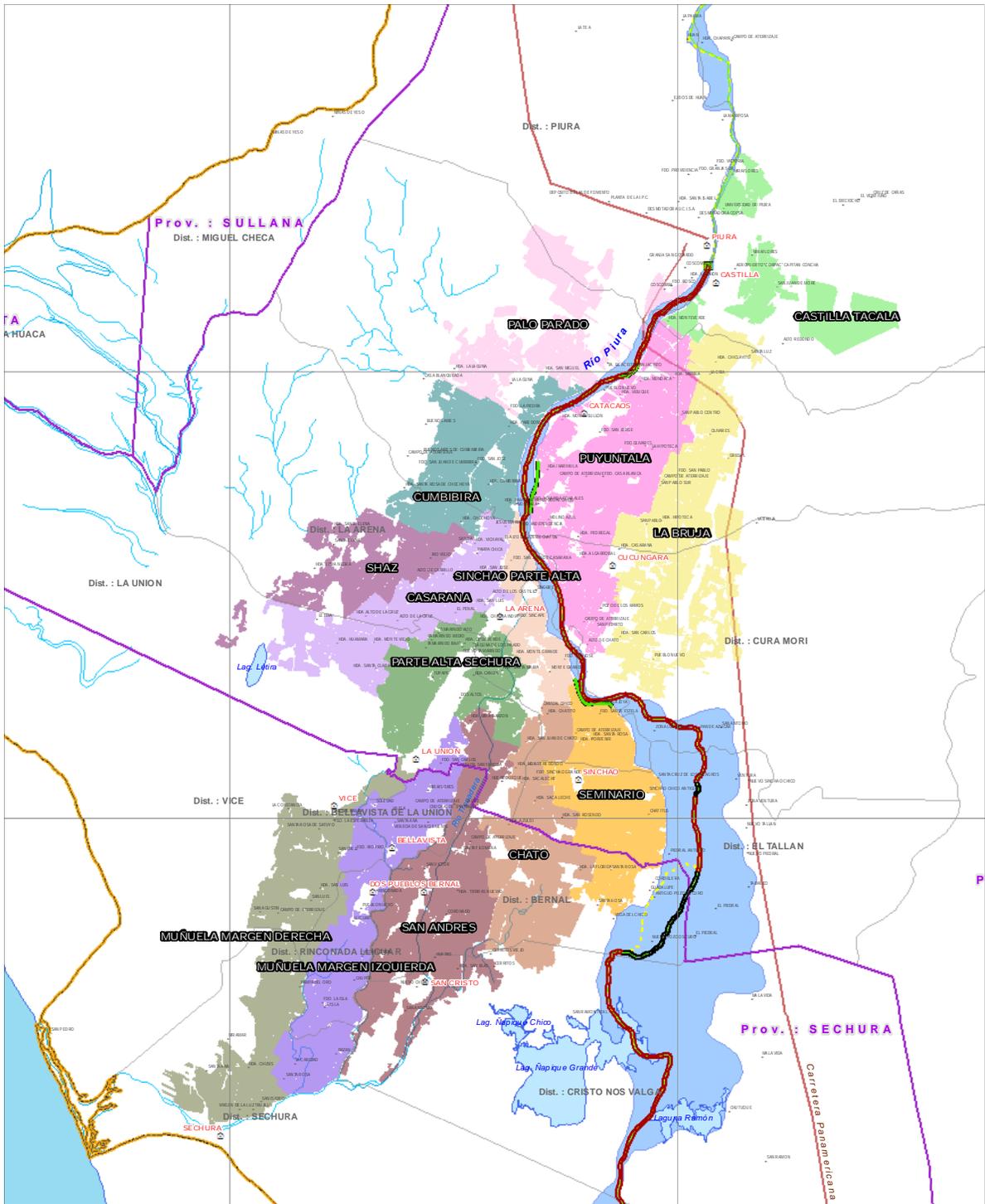


Figura 2. Comisiones de Regantes

Fuente: IGN-ANA

Cuadro 1. Patrimonio Cultural

N°	Este	Norte	Código	Nombre
1	594920	9447033	Peña Azul II	Patrimonio Arqueológico
2	599918	9441624	Panecillo Sur II	Patrimonio Arqueológico
3	599947	9441271	La Pilca Baja	Patrimonio Arqueológico
4	573890	9454931	El Tambo	Patrimonio Arqueológico
5	593876	9438523	Los Cocos	Patrimonio Arqueológico
6	593593	9439357	Nuñes I	Patrimonio Arqueológico
7	593655	9439319	Nuñes II	Patrimonio Arqueológico
8	594280	9440325	Villa Canada	Patrimonio Arqueológico
9	594591	9438868	Cruce Cacao Alto	Patrimonio Arqueológico
10	592502	9448749	Sancor	Patrimonio Arqueológico
11	595139	9446688	Peña Azul (Sancor)	Patrimonio Arqueológico
12	594388	9446370	Río Seco Alto	Patrimonio Arqueológico
13	600086	9440730	Palo Blanco	Patrimonio Arqueológico
14	599824	9440221	Panecillo I	Patrimonio Arqueológico
15	599763	9439118	Panecillo II	Patrimonio Arqueológico
16	598765	9439414	Fatima	Patrimonio Arqueológico
17	599854	9438725	Chapica I	Patrimonio Arqueológico
18	600069	9438874	Chapica II	Patrimonio Arqueológico
19	595393	9434332	Pueblo Nuevo de Campanas	Patrimonio Arqueológico
20	614134	9418869	Santa María	Patrimonio Arqueológico
21	618567	9411894	Juan Velasco I	Patrimonio Arqueológico
22	617966	9411814	Juan Velasco II	Patrimonio Arqueológico
23	593405	9436878	Cerro Ñañañique	Patrimonio Arqueológico
24	614392	9426554	Loma de los Pobres	Patrimonio Arqueológico
25	605666	9427715	La Peña I	Patrimonio Arqueológico
26	604653	9428004	La Peña II	Patrimonio Arqueológico
27	604595	9428126	La Peña III	Patrimonio Arqueológico
28	609480	9424960	La Huaquilla	Patrimonio Arqueológico
29	613140	9424204	Polvazal	Patrimonio Arqueológico
30	614522	9426892	Loma de Los Ricos	Patrimonio Arqueológico
31	615075	9428348	San Luis	Patrimonio Arqueológico
32	602532	9430183	Piura La Vieja	Patrimonio Arqueológico
33	600176	9427987	Pabur	Patrimonio Arqueológico
34	612347	9417568	Cerro El Tongo	Patrimonio Arqueológico
35	524614	9387739	CHIRRICHIPE 2	Patrimonio Arqueológico
36	515561	9383426	S/N, Entre Bocana Mataballo y Chullachy	Patrimonio Arqueológico
37	514081	9386333	VIEJO SECHURA	Patrimonio Arqueológico
38	520667	9389618	CHUSIS	Patrimonio Arqueológico
39	515934	9382027	CHUCHAL ENTRE PALO PARADO Y CHULLACHY	Patrimonio Arqueológico
40	516680	9372884	CONSTANTE	Patrimonio Arqueológico
41	515561	9363426	PARRACHIQUE	Patrimonio Arqueológico
42	501424	9324387	NAMUCHE 1	Patrimonio Arqueológico
43	501270	9324297	NAMUCHE 2	Patrimonio Arqueológico
44	500570	9322789	S/N, N° 1	Patrimonio Arqueológico
45	487557	9331028	AVIC	Patrimonio Arqueológico
46	560395	9352250	HUACA BELISARIO O YUDUR	Patrimonio Arqueológico
47	660969	9406296	C° NEGRO (SECTOR CRUZ BLANCA)	Patrimonio Arqueológico
48	654067	9402375	LOS 3 MANGOS	Patrimonio Arqueológico
49	646569	9400479	LOMA LARGA	Patrimonio Arqueológico
50	638153	9398803	LAS HUACAS	Patrimonio Arqueológico
51	636180	9397912	GARABO 1	Patrimonio Arqueológico
52	635689	9397629	GARABO 2	Patrimonio Arqueológico
53	634836	9400099	CEMENTERIO DE SERRAN	Patrimonio Arqueológico
54	631660	9403680	EL CERZO	Patrimonio Arqueológico
55	625379	9409368	CANAL INCA	Patrimonio Arqueológico
56	621515	9410642	HUALAS	Patrimonio Arqueológico
57	618956	9413731	EL ALA	Patrimonio Arqueológico

58	524728	9387797	CHIRRICHIPE 1	Patrimonio Arqueológico
59	618394	9410865	La Huaca -Tinajones	Patrimonio Arqueológico
60	602634	9430017	El Paso	Patrimonio Arqueológico
61	603915	9429136	Las Ruinas	Patrimonio Arqueológico
62	616778	9422834	La Pirca	Patrimonio Arqueológico
63	615372	9426195	Piedra Herrada	Patrimonio Arqueológico
64	616012	9428711	Ruinas de San Luis	Patrimonio Arqueológico
65	637108	9396450	El Gran Canal	Patrimonio Arqueológico
66	647182	9433778	Cerro Choco	Patrimonio Arqueológico
67	631795	9424614	Piscan	Patrimonio Arqueológico
68	603464	9427628	HUACA PRACCHERES	Patrimonio Arqueológico
69	600360	9427954	COMPLEJO CERRO VERDE	Patrimonio Arqueológico
70	603590	9428980	COMPLEJO TALANQUERA	Patrimonio Arqueológico
71	587019	9435230	HUACA SULLON	Patrimonio Arqueológico
72	597200	9436312	EL COCO	Patrimonio Arqueológico
73	590600	9447272	HUACA ROSO 37	Patrimonio Arqueológico
74	591045	9447960	HUACA PAREDONES BAJO	Patrimonio Arqueológico
75	590526	9447968	HUACA BODEGA	Patrimonio Arqueológico
76	593968	9452016	COMPLEJO LA PENA SANCOR	Patrimonio Arqueológico
77	594805	9455720	PALO NEGRO	Patrimonio Arqueológico
78	636353	9398270	La Soria	Patrimonio Arqueológico
79	635788	9397306	El Garabo	Patrimonio Arqueológico
80	636473	9396182	La Bocana Del Garabo	Patrimonio Arqueológico
81	615698	9424357	Pampa Hacienda	Patrimonio Arqueológico
82	601436	9429518	La Bocana	Patrimonio Arqueológico
83	528976	9402178	Loma El Peligro	Patrimonio Arqueológico
84	527228	9403006	Alto de la Cruz de Casiano	Patrimonio Arqueológico
85	634794	9400078	Huaca Serrán Cementerio	Patrimonio Arqueológico
86	634271	9400560	La Tranca (Cerro Pasmarán)	Patrimonio Arqueológico
87	623216	9409890	Huaca Polluco	Patrimonio Arqueológico
88	522434	9411534	Huaca Loma Negra	Patrimonio Arqueológico
89	522766	9410890	Huaca de Gaviano	Patrimonio Arqueológico
90	524151	9411472	Huaca Loma Negra del Colegio	Patrimonio Arqueológico
91	527284	9414048	Huaca Chaquira	Patrimonio Arqueológico
92	527114	9411634	Huaca Ricardo Palma	Patrimonio Arqueológico
93	531009	9409882	Huaca El Peñal	Patrimonio Arqueológico
94	533320	9410024	Alto de Los Mores	Patrimonio Arqueológico
95	532059	9408408	Loma del Gallo	Patrimonio Arqueológico
96	535750	9416188	San Fernando	Patrimonio Arqueológico
97	537458	9416572	Simache	Patrimonio Arqueológico
98	536808	9415360	Casa Blanca	Patrimonio Arqueológico
99	536752	9414074	Santa María	Patrimonio Arqueológico
100	535604	9412710	Huaca Nuevo Pedregal	Patrimonio Arqueológico
101	535893	9413202	Huaca Pedregal Cementerio	Patrimonio Arqueológico
102	536957	9411596	Cura Mori	Patrimonio Arqueológico
103	535937	9407864	Chato Grande	Patrimonio Arqueológico
104	632005	9443078	Cerro Las Moras	Patrimonio Arqueológico
105	633837	9441166	Cerro Tutapur	Patrimonio Arqueológico
106	634173	9441740	Los Pinos	Patrimonio Arqueológico
107	636199	9438750	Bolognesi	Patrimonio Arqueológico
108	642829	9439092	Lagunas de Mijal	Patrimonio Arqueológico
109	631395	9397434	Cerro Pasmarán 1	Patrimonio Arqueológico
110	634058	9400324	Palo Blanco Alto	Patrimonio Arqueológico
111	593827	9428068	Vicús	Patrimonio Arqueológico
112	608286	9423012	Cerro Santo Tomé	Patrimonio Arqueológico
113	612351	9419752	Pedregal	Patrimonio Arqueológico
114	615718	9414488	Lindero del Ala	Patrimonio Arqueológico
115	618303	9411514	Juan Velasco Alvarado 1	Patrimonio Arqueológico
116	618326	9411336	Juan Velasco 2	Patrimonio Arqueológico
117	617602	9411482	El Ala	Patrimonio Arqueológico
118	527302	9389028	Chuchal 1	Patrimonio Arqueológico
119	524523	9387348	Chuchal 2	Patrimonio Arqueológico
120	524364	9387368	Chuchal 3	Patrimonio Arqueológico

121	527471	9387558	Chuchal 4	Patrimonio Arqueológico
122	520231	9389206	Chusís	Patrimonio Arqueológico
123	641968	9390666	Hualcas	Patrimonio Arqueológico
124	521150	9393392	Yapato	Patrimonio Arqueológico
125	616981	9422554	La Pirca y La Maravilla	Patrimonio Arqueológico
126	619496	9411122	Cerro Hualas	Patrimonio Arqueológico
127	632683	9397830	Cerro Pasmarán 2	Patrimonio Arqueológico
128	632000	9403726	Cerezo	Patrimonio Arqueológico
129	630769	9405146	La Alberca 1	Patrimonio Arqueológico
130	630719	9405988	La Alberca 2	Patrimonio Arqueológico
131	496355	9339392	Illescas	Patrimonio Arqueológico
1	540678	9423650	Iglesia del Carmen	Patrimonio Histórico
2	543069	9423114	Iglesia San Francisco	Patrimonio Histórico
3	518759	9387415	Iglesia San Martín de Sechura	Patrimonio Histórico
1	541573	9427750	Casa Almirante Grau	Museos
2	539862	9427766	Centro Cultural	Museos
3	518233	9386223	Museo de Etnología de Sechura	Museos
4	618377	9454271	Sala Cultural Diosa Frías	Museos
Datum: UTM WGS84 - Zona 17 Sur (*) Fuente: Desarrollo de Capacidades para el Ordenamiento Territorial en el Departamento de Piura				

8.3 Impactos Institucional - político

Al contar con un estudio de tratamiento integral de cauces, elaborado sobre el concepto hidráulico, conservación del medio ambiente y la participación de diferentes actores; traerá consigo que las autoridades, cuenten con una herramienta de gestión participativa al momento de priorizar proyectos de defensa ribereña.

Las áreas recuperadas podrían generar conflictos entre los usuarios agrícolas y las autoridades. Los primeros al posesionarse sobre estas tierras, muchas veces obstaculizan obras de defensa ribereña u otra actividad, como la de mantenimiento y conformación de cauce del río.

8.4 Conclusiones y Recomendaciones

- ✓ En cuanto a los impactos positivos, se beneficiarán el medio físico, socioeconómico y cultural, principalmente al término de la ejecución de las medidas estructurales y no estructurales.
- ✓ Los impactos negativos generados por las medidas estructurales son temporales, de carácter mitigable y controlable.
- ✓ Se recomienda que las medidas estructurales planteadas en el presente estudio

deberán de someterse, en forma individual, al procedimiento de Evaluación Ambiental Preliminar de acuerdo a Ley N° 27446, Ley del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), modificada por Decreto Legislativo N° 1013 y su Reglamento, aprobado por DS N° 019-2009-MINAM del 24.09-09.

- ✓ Se recomienda realizar un Programa de Sensibilización, de manera participativa involucrando a los diferentes actores locales, regionales y principalmente la población involucrada en la Cuenca Piura; planificados mediante Talleres de sensibilización a nivel de la cuenca alta, media y baja, con el propósito de que la población manifieste e internalicen los diferentes aspectos conceptuales vertidos y se involucren de una manera activa en la prevención de riesgos ante inundación y erosión.

CAPITULO IX

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al contar con un estudio de tratamiento integral de cauces, elaborado sobre el concepto de régimen hidráulico estable, conservación del medio ambiente y la participación de diferentes actores; traerá consigo que las autoridades, organizaciones y empresas privadas, cuenten con una herramienta de gestión participativa al momento de priorizar proyectos de defensa ribereña, enmarcado en la gestión del riesgo de desastre de la cuenca del río Piura.

Geología y geotecnia

Los principales peligros geológicos registrados en la Cuenca del río Piura corresponden a inundación fluvial, erosión fluvial, flujos de lodos y detritos, arenamientos y derrumbes; siendo los distritos de: Salitral, Morropón, Chulucanas y Bernal los que han tenido una mayor ocurrencia de peligros geológicos.

Las investigaciones geotécnicas tuvieron lugar en los sectores de Nuevo Tallán, Chato Chico, Puente Independencia, Viduque-Simbila, Castilla, Cereza, Tambogrande, Qda. San Francisco, río Yapatera, Qda. Las Damas, Buenos Aires, Cantera Cerritos, Cantera Huaquillas y Cantera Carrasquillo.

En base, a los resultados de laboratorio de mecánica de suelos se determinaron 4 zonas caracterizadas en su mayoría por materiales granulares de clasificación SUCS: SP y CL; de capacidad portante 2.00 Kg/cm² – 1.73 Kg/cm² y asentamientos 0.52 cm. a 0.80 cm. respectivamente. En ambos casos, los materiales son considerados terrenos de apoyo bueno a mediano. El tipo y profundidad de cimentación de la uña de enrocado es de 1.50 – 2.00 metro bajo el ángulo de socavamiento.

Las áreas para la explotación de enrocados se han localizado en los sectores de La Huaquilla y Carrasquillo; constituidas por rocas metamórficas tipo cuarcitas caracterizadas por su alta dureza, resistencia a la meteorización, elevada

densidad, diámetros superiores a 0.80 metros, disponibilidad superior a 1,500 m³ y rendimiento de cantera por encima de los 65%, las mismas que reúnen las especificaciones requeridas para su utilización en la construcción de obras de defensas ribereñas.

Caudales máximos y parámetros hidráulicos

En la parte baja de la cuenca, a partir de la presa Los Egidos, los caudales se calcularon mediante el método Estadístico por contar con registro histórico de hidrometría. En la parte media y alta de la cuenca, los caudales se calcularon, mediante el método de la Curva Envolvente. Para calcular los caudales máximos instantáneos se empleó el método de Fuller.

El registro histórico de caudales, se ajustó mejor a la distribución Gamma 3 parámetros.

Con fines de diseño de defensas ribereñas, para el dimensionamiento de las estructuras, se recomienda los caudales máximos diarios y para el borde libre los caudales instantáneos. El periodo de retorno empleado será de 50 años para zonas agrícolas y 100 años para zonas urbanas.

Vulnerabilidad

Se han identificado 37 puntos críticos, desde la parte baja de la cuenca, distrito de Cristo Nos valga, hasta la parte alta de la cuenca, distrito de Morropón. Estos puntos críticos ponen en riesgo viviendas, áreas de cultivos terrenos agrícolas e infraestructura vial.

En el análisis de la vulnerabilidad se ha considerado 9 afluentes o tributarios que en épocas de extremas precipitaciones, arrastran caudales con grandes cantidades de sólidos, que en su recorrido pueden ocasionar daños a nivel de infraestructura de servicios, viviendas y vidas humanas; por lo tanto, también requiere de medidas estratégicas para reducir los efectos de estos peligros.

Análisis fluvial

La mayor sinuosidad del río Piura se presenta entre la presa los Egidos y la ciudad de Tambogrande, se aprecia gran cantidad de material de arrastre. Sin embargo,

la variación del eje del cauce en el tiempo y espacio es muy importante, generando inundaciones, erosión y sedimentación. En la parte baja de la cuenca, se ha identificado hasta tres cambios de curso diferenciados.

Actualmente el eje del río Piura no tiene salida definida al mar, el estudio plantea dar continuidad el aflujo, a través de la laguna La Niña y el estuario de Virralá.

La velocidad del caudal fue calculada considerando un flujo con transporte de sedimentos. Este análisis ha permitido proponer las medidas estratégicas para reducir los riesgos a inundación y erosión.

Socavación

La profundidad de socavación es variada y depende de la pendiente del fondo del cauce y del tamaño del grano. En general, la socavación máxima varía entre 2 a 5 metros. Sin embargo, se ha identificado que la profundidad de socavación entre la progresiva 121+500 hasta la progresiva 126+000, la profundidad de socavación supera los 18 metros de profundidad, este resultado es afectado por el encauzamiento existente.

Valoración económica

De producirse caudales extremos, en la situación actual se podría tener daños que bordean los 258 millones de soles, cuyos mayores montos serían en edificaciones e infraestructura vial. Esta cuantificación toma en cuenta, los daños indirectos ni aquellos generados por la paralización de cualquier actividad económica.

Propuesta de medidas estratégicas

La propuesta estratégica contempla medidas estructurales y no estructurales, y se han planteado bajo el concepto del régimen estable, lo que significa que las zonas vulnerables o puntos críticos no representen riesgos de desbordes y erosión de riberas.

En tal sentido, se plantea dar continuidad del río Piura, mejorando la sección hidráulica del cauce, mediante limpieza y descolmatación. Esto implica hacerlo a través del estuario de Virralá. El flujo de agua deberá corresponder a un periodo de retorno de 10 años; sin embargo, de producirse caudales mayores, el excedente serán laminados en la laguna La Niña, Ramón, Ñapique Grande y el

área comprendida entre los diques existentes en ambas márgenes.

En la parte media y alta de la cuenca, se propone medidas estructurales como la conformación de diques con material propio del cauce o material de préstamo, protección de diques y espigones, el material debe ser adecuado a la zona.

El estudio también propone el control del flujo de las quebradas tributarias, mediante diques transversales y obras mecanico-estructurales como terrazas, zanjas de infiltración, terrazas de formación lenta, etc.

Las acciones o medidas estratégicas deben priorizarse de la siguiente manera.

a. Medidas Estratégicas no estructurales

1. Reubicación de las viviendas que se encuentran ubicados en el borde del cauce, fajas marginales o zonas de alto riesgo. El área necesaria a desocupar debe considerar la faja marginal y obras anexas. Esta acción debe ser asumido por los gobiernos locales (Municipalidad Metropolitana de Lima y distritales), gobierno regional en coordinación con INDECI, CENEPRED y otras instituciones de interés.
2. Programas de sensibilización, capacitaciones y alerta temprana.
3. Delimitación y monumentación de la faja marginal y reforestación. Esta acción debe ser coordinado con la Autoridad Nacional del Agua.
4. Limpieza, descolmatación y encauzamiento, en función al ancho estable propuesto.

b. Medidas Estratégicas estructurales

1. Encimado del dique existente en ambas márgenes, ubicado en la parte baja de la cuenca del río Piura.
2. Protección de dique con estructuras de mallas, esto evitará el colapso de la estructura debido a erosión lateral.
3. Protección de dique con roca, geobolsas, gaviones, u otro material disponible y adecuado.
4. Conformación de dique de material propio del río o de préstamo.

5. Espigones de piedra, roca u otro material adecuado.

c. Medidas estructurales en quebradas

1. Programa de obras mecánico estructurales y reforestación
2. Construcción de diques transversales en quebradas.

Impactos ambientales

Los impactos negativos se presentarán en el movimiento de tierras en la etapa de construcción y son temporales, de carácter mitigable y controlable.

Los mayores impactos positivos ocurrirán en el medio socioeconómico, en la etapa de construcción correspondiente la generación de empleo y dinamización del comercio local ambas temporalmente y al finalizar la ejecución de las obras los efectos serán favorables y en beneficio de la población aledaña al cauce del río Piura.

Las obras proyectadas no implicarán la ocupación del espacio territorial de ningún sitio arqueológico o patrimonio cultural, registrados por el Ministerio de Cultura.

No se ha identificado ninguna acción que genere impactos críticos y que por lo tanto sea inadmisibles desde el punto de vista ambiental.

Se recomienda que las medidas estructurales planteadas en el presente estudio deberán de someterse, en forma individual, al procedimiento de Evaluación Ambiental Preliminar de acuerdo a Ley N° 27446, Ley del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), modificada por Decreto Legislativo N° 1013 y su Reglamento, aprobado por DS N° 019-2009-MINAM del 24.09-09.