



**Autoridad Nacional del Agua**

**Dirección de Estudios de Proyectos Hidráulicos Multisectoriales**

**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. Tomas Alfaro Abanto**  
Director

**Coordinador del estudio:** *Ing. Juan Bardalez Reátegui*

**Equipo técnico:**

*Ing. Jeanne Susan Quiñones Rojas*  
*Ing. Carlos Perleche Fuentes*  
*Ing.*

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

# 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 *Ámbito 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 acceso*
- 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 *Desnivel altitudinal (DA)*
  - 2.2.6 *Coefficiente de compacidad o Gravelius (Kc)*
  - 2.2.7 *Factor de forma (Kf)*
  - 2.2.8 *Pendiente media del cauce*
  - 2.2.9 *Pendiente media de la cuenca (J)*
  - 2.2.6 *Altitud media (Hmd)*
- 2.3 *Características climatológicas*
  - 2.3.1 *Precipitación*
  - 2.3.2 *Temperatura*
  - 2.3.3 *Humedad Relativa*
  - 2.3.4 *Horas de Sol*
- 2.4 *Red de drenaje*
- 2.5 *Zonas de vida*
- 2.6 *Características socio-económico*
- 2.7 *Evaluación e inventario de las estructuras de protección, cruce y captación*

### CAPITULO III: Geología y geotecnia

- 3.1. *Geología regional*
  - 3.1.1 *Unidades geomorfológicas*
- 3.2. *Unidades litológicas*
- 3.3. *Sismicidad*
- 3.4. *Catastro minero en la cuenca del río Pativilca*
- 3.5. *Peligros geológicos registrados en el área de estudio – parte baja de la cuenca*
  - 3.5.1 *Erosión Fluvial*
  - 3.5.2 *Inundaciones Fluviales*
  - 3.5.3 *Erosión de Ladera*
  - 3.5.4 *Flujos de Detritos*
  - 3.5.5 *Caídas de Rocas y Derrumbes*

- 3.6. *Alternativas para el manejo de problemas geodinámicos*
  - 3.6.1 *Medidas para Inundación y Erosión Fluvial*
  - 3.6.2 *Medidas para flujos de detritos*
  - 3.6.3 *Medidas para Caída de Rocas y Derrumbes*
- 3.7. *Geotecnia del área de estudio*
  - 3.7.1 *Investigaciones Geotécnicas Río Pativilca*
  - 3.7.2 *Condiciones Geotécnicas*
  - 3.7.3 *Canteras de enrocado*
- 3.8. *Geotecnia del área de estudio*
  - 3.8.2 *Conclusiones*
  - 3.8.3 *Recomendaciones*
- 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 la cuenca del río Pativilca*
- 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 de peligros*
- 5.1 *Identificación y descripción de los puntos críticos por sectores*
- 5.2. *Influencia de los tributarios en el comportamiento del río Pativilca*

#### **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 *Planteamiento general*
- 7.2 *Medidas estratégicas en el cauce principal*
- 7.3 *Medidas estratégicas en afluentes*

- 7.4 *Medidas no estructurales*
- 7.6 *Recomendaciones de diseño*

## **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

<b>CAPITULO I</b> .....	4
<b>GENERALIDADES</b> .....	4
1.1 Antecedentes .....	4
1.2 Objetivos .....	5
1.2.1 <i>Objetivo General</i> .....	5
1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i> .....	5
1.3 Articulación con los Planes Estratégicos .....	5
1.4 <b>Ámbito del estudio</b> .....	6
1.5 <b>Problemática</b> .....	7
1.6 <b>Justificación</b> .....	9
1.7 <b>Definiciones</b> .....	10

## Listado de figuras

<i>Figura 1. Área de influencia directa del estudio .....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 2. Desbordes del río Pativilca 2014.....</i>	<i>8</i>
<i>Figura 3. Desbordes del río Piura, provincia de Ocros .....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 4. Inundación del río Pativilca .....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 5. Gaviones tipo caja .....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 6. Gaviones tipo colchón.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 7. Geoweb o geoceldas.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 8. Geomallas.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 9. Geobolsas .....</i>	<i>16</i>

## 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 Pativilca una inversión mayor a 3.3 millones de Nuevos Soles, destinadas a obras de defensas ribereñas, descolmatación y limpieza 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 Pativilca 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 trenzados, 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 Pativilca, 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 PCM 2007-2015, aprobado mediante Resolución Ministerial N° 147-2010-PCM, 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.
- El Plan de Desarrollo Regional Concertado 2008-2021, en el Eje Medio Ambiente y Recursos Naturales, objetivo 21, considera “fortalecer las acciones de defensa civil y de prevención de desastres naturales en las zonas de mayor riesgo, promoviendo su articulación desde los gobiernos locales, hacia lo regional y nacional”. Tiene como una de las líneas de acción es fortalecer el sistema regional de prevención y atención de desastres.

#### **1.4 Ámbito del estudio**

El presente Estudio se ubica en la cuenca del río Pativilca, cuya área de influencia directa está delimitado por el cauce, faja marginal y la llanura de inundación originada por las máximas avenidas.

Políticamente, se localiza en los departamentos de Ancash y Lima, comprendiendo las provincias de Recuay y Bolognesi en el Departamento de Ancash y Cajatambo y Barranca en el Departamento de Lima.

Geográficamente está comprendido entre los 6°50' y 10°55' de Latitud Sur y los meridianos 76°45' y 77°50' de Longitud Oeste. Altitudinalmente, se extiende desde el nivel del mar hasta la línea de cumbres de la Cordillera Occidental de los Andes, cuyos puntos más elevados están sobre los 4000 m.s.n.m. (fuente: ministerio de Energía y Minas):

[http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/dgaam/publicaciones/evats/pativilca/pativilca\\_i.htm](http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/dgaam/publicaciones/evats/pativilca/pativilca_i.htm).

La En la figura 1, se muestra la ubicación de la cuenca del río Pativilca.

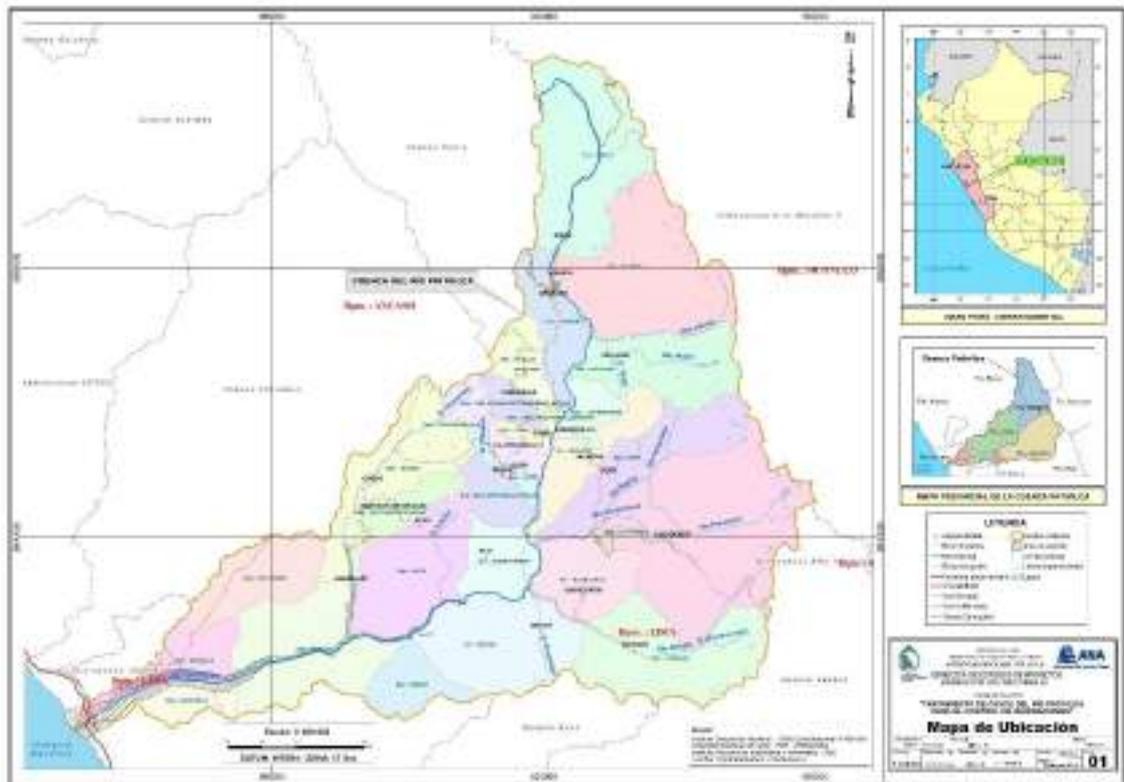


Figura 1. Área de influencia directa del estudio

## 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**

En marzo del 2014 las fuertes precipitaciones han ocasionado desbordes afectando 60 hectáreas de cultivos de maíz, camote y cebolla roja de las localidades de Simón Bolívar, Providencia, Las Huertas y Araya Chica (Andina Agencia Peruana de Noticias) y una bocatoma.



Figura 2. Desbordes del río Pativilca 2014

En el año 2013, de acuerdo al reporte de INDECI, las inundaciones del río Pativilca ha dejado 2 hectáreas de suelo agrícola por erosión, inundación de 116 Ha. Afectación de 700 Ha de cultivos por falta de agua por colapso de bocatoma y aproximadamente 1.5 kilómetros de canal de riego afectados.

En la provincia de Ocros, desbordes del río Pativilca ha dejado 5 desaparecidos, 100 familias damnificadas del centro poblado de Mayus, distrito de Carhuapampa (fuente: Pasco Al Día).



Figura 3. Desbordes del río Piura, provincia de Ochos

En febrero de 2012, las crecidas del río Pativilca han ocasionado el colapso de la bocatoma del sector Araya Grande, poniendo en riesgo de quedar sin riego 562 Ha de cultivos. Asimismo, las inundaciones han afectada entre 50 a 80 Ha de cultivos de los sectores de Vinto y Araya Grande (fuente: RPP Noticias).



Figura 4. Inundación del río Pativilca

Fuente: RPP Noticias

## 1.6 Justificación

Según el Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos N° 29338, artículo 263°, 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 la evolución del río Pativilca, 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 5. 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.

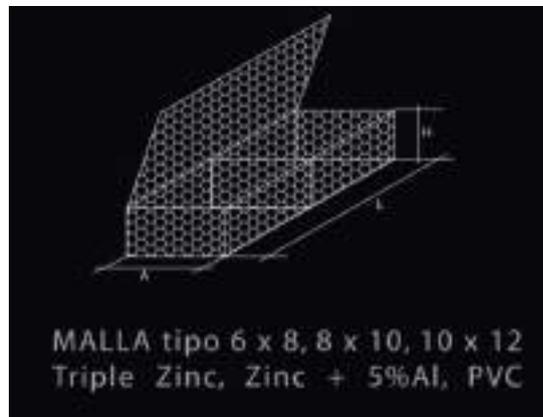


Figura 6. Gaviones tipo colchón

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.
- **Geoweb.** Celdas rellenas con concreto permite hacer losas flexibles para la protección de taludes y revestimiento de canales, estructuras que podrían adaptarse a posibles asentamientos diferenciales del terreno. De manera similar para estos mismos fines también puede ser relleno, con grava, o TOP SOIL; proporcionando una solución de bioingeniería perdurable.

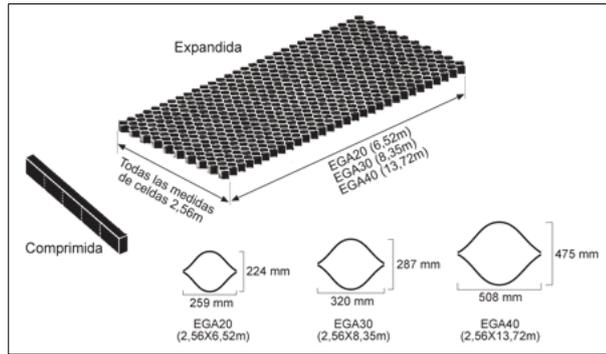


Figura 7. Geoweb o geoceldas

- Geomallas.** Las geomallas permiten dar un gran nivel de refuerzo a los suelos. Las geomallas están elaboradas con multifilamentos de Poliéster de alto peso molecular, el cual posee una alta relación resistencia a la tensión - deformación y muy baja fluencia, es resistente a la degradación por UV y a componentes químicos y biológicos normalmente encontrados en los suelos, a la vez que son ligeras y fáciles de instalar. Se disponen de Geomallas Biaxiales y Uniaxiales. Los usos más frecuentes son: Muros de Suelo Reforzado, Refuerzo de Taludes de Alta Pendiente, Estabilización de Bases y Sub-bases, Refuerzo de nuevas carpetas asfálticas, Protección contra caída de material pétreo, Sistemas de Revegetación colgantes, Vallas flexibles de protección.

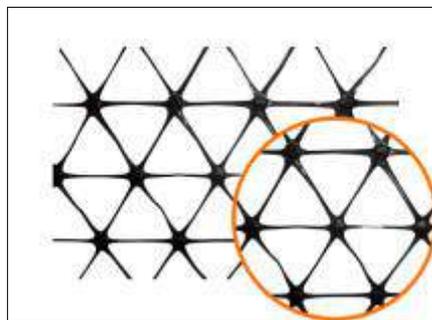


Figura 8. Geomallas

- Geobolsas.** Geocontenedores inyectados con material del lecho de los ríos, lagos, costas, etc., mediante sistemas de dragado, succión o bombeo pueden ser confinados gracias a la porosidad extremadamente baja, la alta resistencia, y baja deformación del geotextil que lo conforma. Se aplican en protecciones de riberas de ríos, costas, control de sedimentos, estabilización de taludes, descontaminación de lagunas, recuperación de la capacidad de embalses, etc. También como estructuras de emergencia en caso de inundaciones y desbordes. Su uso es recomendable en zonas donde el material pétreo o

agregado es cuantioso, o donde existe abundancia de material fino (sedimentos, arcillas, lodos, material colmatado, relaves, etc.).



Figura 9. Geobolsas

- **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

<b>CAPITULO II .....</b>	<b>20</b>
<b>INFORMACION BASICA DE LA CUENCA .....</b>	<b>20</b>
<b>2.1 Generalidades .....</b>	<b>20</b>
2.1.1 <i>Ubicación</i> .....	20
2.1.2 <i>Vías de acceso</i> .....	21
<b>2.2 Parámetros de la cuenca .....</b>	<b>22</b>
2.2.1 <i>Área de la cuenca (A)</i> .....	22
2.2.2 <i>Perímetro de la cuenca (P)</i> .....	22
2.2.3 <i>Longitud del cauce principal (L)</i> .....	22
2.2.4 <i>Ancho promedio de la cuenca (Ap)</i> .....	22
2.2.5 <i>Desnivel altitudinal (DA)</i> .....	22
2.2.6 <i>Coefficiente de compacidad o Gravelius (Kc)</i> .....	23
2.2.7 <i>Factor de forma (Kf)</i> .....	24
2.2.8 <i>Pendiente media del cauce (Ic)</i> .....	24
2.2.9 <i>Pendiente media de la cuenca (J)</i> .....	24
2.2.10 <i>Altitud media. (Hmd)</i> .....	26
<b>2.3 Características climatológicas .....</b>	<b>27</b>
2.3.1 <i>Precipitación</i> .....	27
2.3.2 <i>Temperatura</i> .....	29
2.3.3 <i>Humedad relativa (HR)</i> .....	30
2.3.4 <i>Horas de Sol</i> .....	30
<b>2.4 Red de drenaje .....</b>	<b>30</b>
<b>2.5 Zonas de vida .....</b>	<b>32</b>
<b>2.6 Evaluación e inventario de las obras de protección, cruce y captación .....</b>	<b>33</b>

### Listado de cuadros

<i>Cuadro 1. Clases de pendiente, Van Zuidam</i>	25
<i>Cuadro 2. Caracterización de la pendiente de una cuenca por Heras</i>	25
<i>Cuadro 3. Parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Pativilca</i>	27
<i>Cuadro 4. Características principales de las formaciones ecológicas</i>	32
<i>Cuadro 5. Estructuras de captación en el río Pativilca</i>	36
<i>Cuadro 6. Estructuras de captación en el río Pativilca</i>	37
<i>Cuadro 7. Estructuras de cruce en el río Pativilca</i>	37

### Listado de figuras

<i>Figura 1. Ubicación de la cuenca del río Piura</i>	21
<i>Figura 2. Pendiente de la cuenca del río Piura</i>	26
<i>Figura 3. Curva hipsométrica del río Pativilca</i>	26
<i>Figura 4. Precipitación promedio en la parte baja de la cuenca del río Pativilca</i>	27
<i>Figura 5. Precipitación promedio en la parte media de la cuenca del río Pativilca</i>	28
<i>Figura 6. Precipitación promedio en la parte alta de la cuenca del río Pativilca</i>	28
<i>Figura 7. Isoyetas anuales de la cuenca del río Pativilca, límite de cuenca seca y húmeda</i>	29
<i>Figura 8. Red de drenaje natural de la cuenca del río Pativilca</i>	32
<i>Figura 9. Dique longitudinal de gaviones</i>	33
<i>Figura 10. Muro de concreto</i>	34
<i>Figura 11. Muro de concreto</i>	34
<i>Figura 12. Estructura de captación</i>	35
<i>Figura 13. Puente colgante sobre el río Ocros</i>	35
<i>Figura 14. Puente vehicular sobre el río Pativilca</i>	36

## CAPITULO II

### INFORMACION BASICA DE LA CUENCA

#### 2.1 Generalidades

##### 2.1.1 Ubicación

La cuenca del río Pativilca tiene 4,577 Km<sup>2</sup>, está ubicada en la vertiente del Pacífico entre las coordenadas 6°50' y 10°55' de Latitud Sur y los meridianos 76°45' y 77°50' de Longitud Oeste; delimitado por el Este con la Cordillera Occidental, por el Sur con las cuencas Supe y Huaura y la intercuenca 137579; por el Norte con las cuencas Santa y Fortaleza y la Intercuenca 137591, desembocando en el Océano Pacífico.

El río Pativilca nace a aproximadamente a una altitud de 4950 m.s.n.m., de la confluencia de las quebradas de Huarapasca, Jachacancha, Antacayan y la laguna Cajat.

Políticamente abarca las regiones de Lima y Ancash, las provincias de Barranca, Ocros, Cajatambo y Bolognesi. Dentro de la cuenca se ubican los distritos de Pativilca, Barranca, Cochabambas, San Pedro, Acas, Ocros, Santiago de Chichas, Carhuapampa, Ambar, San Cristóbal de Rajan, Huancapón, Gorgor, Copa, Llipa, Cajamarquilla, entre otros.

En la figura 1, se muestra la ubicación del río Pativilca, respecto a la cuenca y los límites políticos.

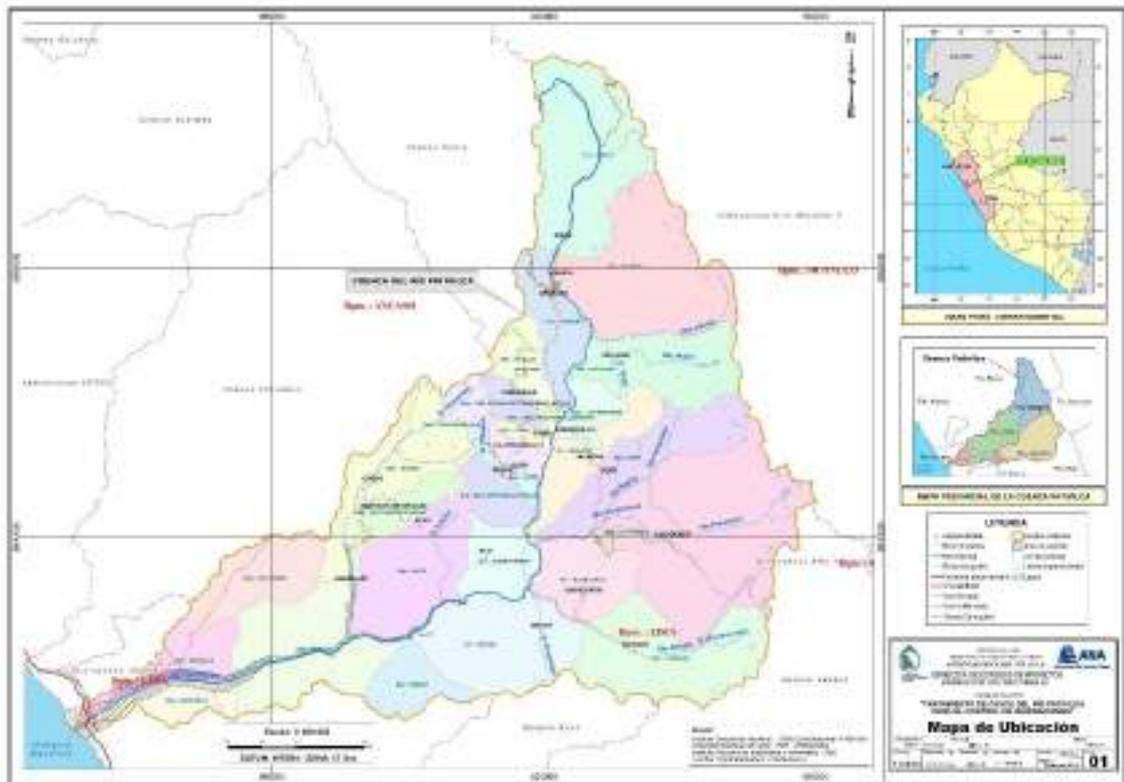


Figura 1. Ubicación de la cuenca del río Piura  
Fuente: Elaboración propia

### 2.1.2 Vías de acceso

La principal vía de acceso a la cuenca ya las ciudades de Barranca y Pativilca, es la Panamericana Norte Partiendo de la ciudad de Lima toma un tiempo aproximado de 3 horas.

A través de vías no afirmada y trochas carrozables y a lo largo del río Pativilca se puede acceder aguas arriba de la cuenca y llegar al distrito de Cochas, luego por la margen derecha y paralelo al río Huanchay, se llega al distrito de Ocros, Santiago de Chilcas, Lipa, Cajamarquilla, Canis, Corpanqui, Acas y Ticllos. Por la margen izquierda continuando por el río Pativilca y río Gorgor se llega a Huancapón, Gorgor. Luego siguiendo el río Pativilca y Rajay se llega al distrito de Cajatambo, Copa, Mangas y Gorgorillo.

Partiendo de la localidad de Conococha, a través de una vía afirmada se llega al distrito de Chiquián, Huasta y Aquia, ubicados en la parte alta de la cuenca.

## 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.

Si el área está entre 0 y 250 Km<sup>2</sup>, se considera una cuenca pequeña

Si el área está entre 250 y 2500 Km<sup>2</sup>, se considera una cuenca mediana

Si el área es mayor a 2500 Km<sup>2</sup>, se considera una cuenca grande.

#### 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:

$$A_p = A / L$$

Donde:

$A_p$  = Ancho promedio de la cuenca (km).

$A$  = Área de la cuenca (km<sup>2</sup>).

$L$  = 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 (km<sup>2</sup>).

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 2, se muestra la distribución de la pendiente de la cuenca del río Pativilca.

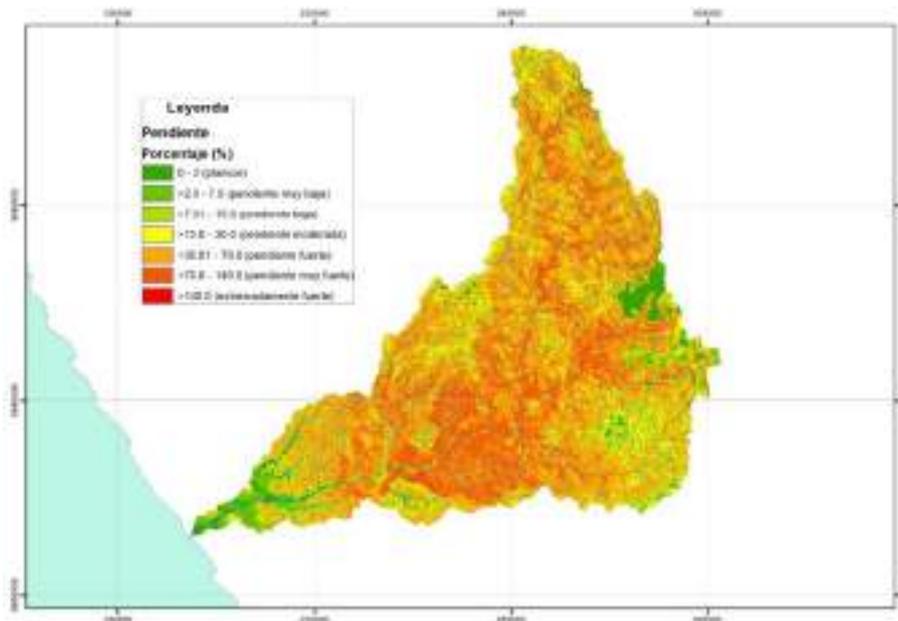


Figura 2. Pendiente de la cuenca del río Piura

Fuente: elaboración propia

### 2.2.10 Altitud media. (Hmd).

La altitud media de la cuenca tiene importancia principalmente en zonas montañosas, pues nos da una idea de la climatología de la región, basándonos en un patrón general climático de la zona. La elevación media de la cuenca se obtiene a partir de la curva hipsométrica, que equivale a la cota correspondiente al 50% del área de la cuenca.

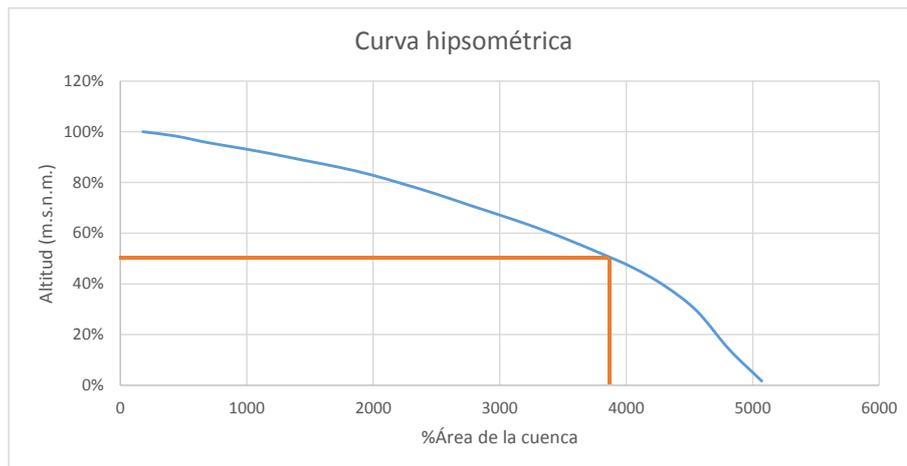


Figura 3. Curva hipsométrica del río Pativilca

En el cuadro 3, se muestra los parámetros de la cuenca del río Pativilca. De acuerdo al área es una cuenca grande y de acuerdo a la longitud del cauce, es una cuenca larga.

Cuadro 3. Parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Pativilca

Nombre del cauce	Área (A)	Perímetro (P)	Longitud de cauce mayor (L)	Ancho promedio ( $A_p=A/L$ )	Pendiente del cauce (Ic)	Pendiente de la cuenca	Altitud máxima	Altitud mínima	Desnivel altitudinal	Altitud media	Coeficiente de compacidad (Kc)	Factor de forma (Ff)
	(Km <sup>2</sup> )	(Km)	(Km)	(Km)	(%)	(%)	m.s.n.m.	m.s.n.m.	m.s.n.m.	m.s.n.m.	$K_c = \frac{P^2}{A \cdot L}$	$F_f = \frac{L^3}{A \cdot P}$
Río Pativilca	4577	441	180	25.4	2.7	45	4950	5	4945	3800	1.8	0.14

Fuente: elaboración propia-ANA

## 2.3 Características climatológicas

### 2.3.1 Precipitación.

El régimen de lluvias en la cuenca del río Pativilca, varía de acuerdo a la altitud y aumenta desde el litoral marino hacia la parte alta.

De acuerdo a la estación Huayto, ubicado a una altitud de 220 m.s.n.m. la precipitación anual en la parte baja de la cuenca es menor 5 mm al año.

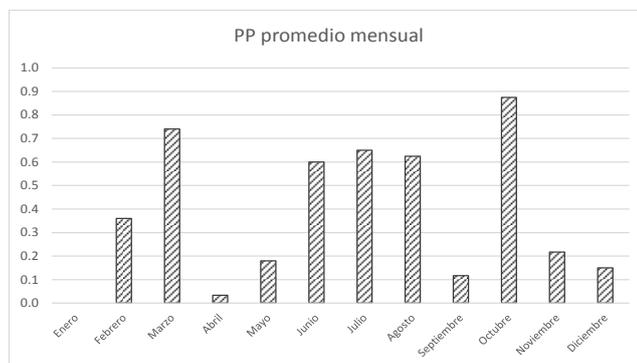


Figura 4. Precipitación promedio en la parte baja de la cuenca del río Pativilca

Las estaciones de Acos, Aca y Gorgor, ubicados a una altitud promedio de 3000 m.s.n.m., muestran que la precipitación promedio anual en la parte media de la cuenca es 330 mm al año, donde las mayores precipitaciones se dan en el mes de marzo con un promedio de 91 mm.

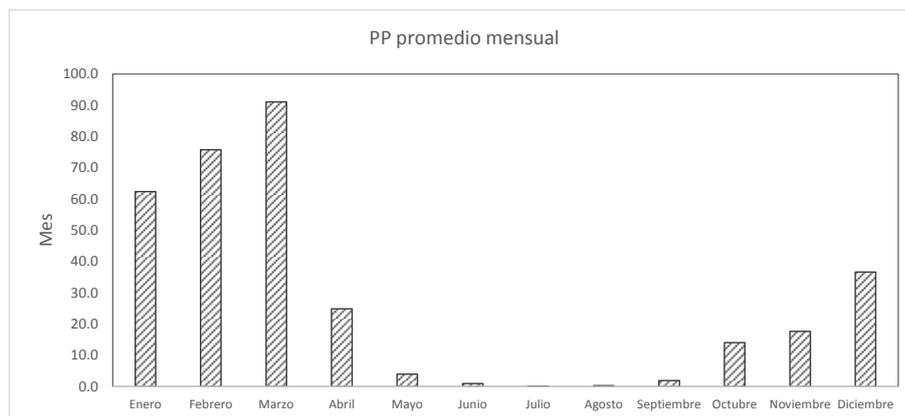


Figura 5. Precipitación promedio en la parte media de la cuenca del río Pativilca

Las estaciones de Chiquian y Cajatambo, ubicados a una altitud mayor a 3500 m.s.n.m., muestran que la precipitación promedio anual en la parte alta de la cuenca va de 637 a 800 mm al año, donde las mayores precipitaciones se dan en el mes de marzo con un promedio de 137 mm.

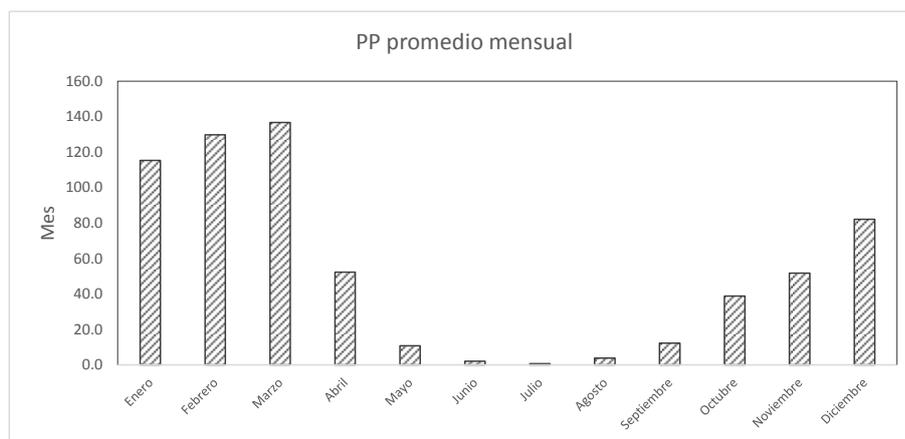


Figura 6. Precipitación promedio en la parte alta de la cuenca del río Pativilca

En la figura 7, se muestra las isoyetas anuales (en mm) de la cuenca del río Pativilca.

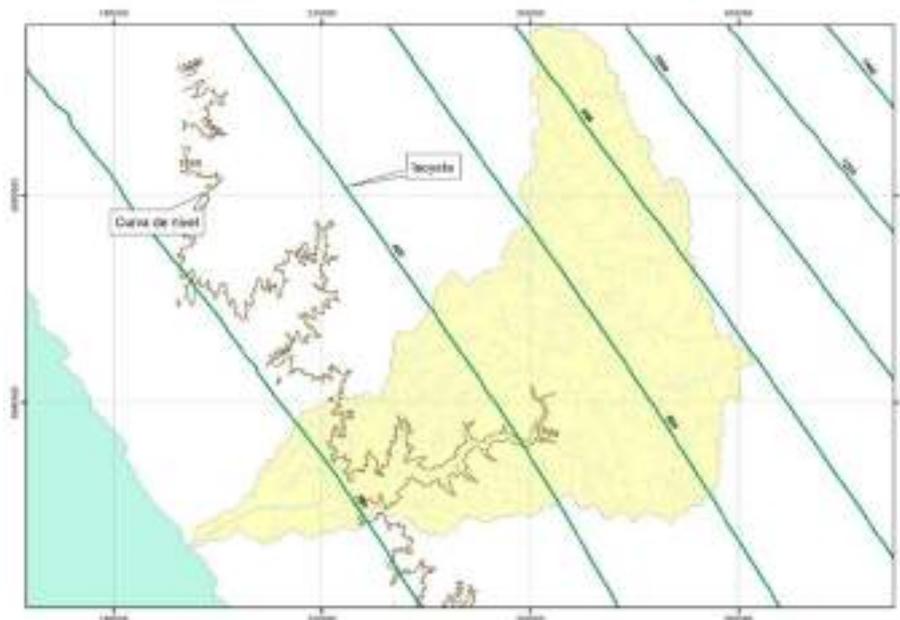


Figura 7. Isoyetas anuales de la cuenca del río Pativilca, límite de cuenca seca y húmeda

### 2.3.2 Temperatura

La temperatura va desde el tipo semicálido ( $20^{\circ}$  en Purmacana a 170 ms.n.m.), hasta el tipo frío ( $11.6^{\circ}\text{C}$  en Chiquian a 3400 m.s.n.m.), en la parte alta de la cuenca la temperatura puede llegar al tipo gélido apolar ( $0^{\circ}\text{C}$  a 5000 m.s.n.m.).

La temperatura media en la cuenca registra un comportamiento variable, en su distribución espacial y temporal; registrándose en marzo las mayores temperatura, con valores que fluctúan entre  $16,0^{\circ}\text{C}$  y  $24,0^{\circ}$  y el más frío en agosto con  $13,0^{\circ}\text{C}$  y  $19,0^{\circ}\text{C}$ .

La temperatura mínima en la cuenca, registra un comportamiento variable en su distribución espacial y temporal, teniéndose durante los meses de junio y julio las menores temperaturas que oscilan entre  $9,0^{\circ}\text{C}$  y  $15^{\circ}\text{C}$  y las mayores durante el marzo con  $11,0^{\circ}\text{C}$  y  $20,0^{\circ}\text{C}$ .

La temperatura máxima en la cuenca, se caracteriza por registrar un comportamiento variable a nivel espacial y temporal, teniéndose durante el mes de febrero las mayores temperaturas que oscilan entre  $19,0^{\circ}\text{C}$  y  $31,0^{\circ}\text{C}$  (valor generado mediante gradiente térmico), y las menores en julio y agosto con valores

que fluctúan entre 19,0°C y 24,0°C (valor generado mediante gradiente térmico)<sup>1</sup>

### 2.3.3 Humedad relativa (HR)

A nivel medio, esta variable registra un comportamiento uniforme en su distribución espacial y temporal, registrando durante el período abril-agosto los mayores valores que oscilan entre 80% y 82%, mientras que en el período noviembre - febrero se tiene los menores valores con 70% y 74%<sup>1</sup>.

### 2.3.4 Horas de Sol

Experimenta un comportamiento variable en la distribución espacial y temporal, con valores anuales que fluctúan entre 178,0 horas y 188,5 horas. Los mayores valores para la parte baja de la cuenca se da entre noviembre y abril, los que oscilan entre 175 a 215 horas mensuales, mientras que para la parte media y alta en este período ocurren los menores valores que varían de 70,0 horas y 145,0 horas. En el período mayo – octubre, los mayores valores ocurren en la parte media y alta de la cuenca con 182,0 horas y 310 horas al mes y, en la parte baja se presentan los valores menores que oscilan entre 145 y 199 horas<sup>1</sup>.

## 2.4 Red de drenaje

a. **Río Pativilca**, es de régimen permanente e irregular. Sus principales afluentes por la margen izquierda son los ríos Gorgor, Rapay, Achin y Quero. Por la margen derecha quebradas Huanchay, Ushpacota, Pisopate, Yanayaco y Pichcarnara.

### Afluentes principales margen izquierda

- o **Río Gorgor**. Nace en las lagunas de Tocto, Tayacocha y Sondoriana. Es alimentado por las quebradas de Chanquillo, Condor y la quebrada Pacomayo, para formar el río Gorgor. Otros afluentes, son las quebradas Pitacancha, Mashuaragra, Ayarmachay, Sequir, Tungri, De curi, Quinllan, Arcamayo, y los ríos Colpa, Surco, Paca, etc.
- o **Río Rapay**. Tiene su origen en las lagunas de Sarapococha, Jurau, Viconga y Collorcocha. Es formado por la confluencia de los ríos Huayllapa y Pumarinri. Otros afluentes son las Qdas. Yapac, Tumac, Yumar, río

---

<sup>1</sup> Fuente: <http://www.senamhi.gob.pe/load/file/03705SENA-22022013.pdf>

Cuchichaca, etc.

- **Río Achin.** Nace en las lagunas de Solteracocha y Jahuacocha. Su principal afluente es el río Llamac.
- **Río Quero.** Nace en las lagunas de Calupuyoc, Contaycocha y Condorcocha. Es formado por la confluencia de las Qdas. Condor y Mahuay, éste a su vez es formado por las Qdas. De Pampahuay y Parlash.

#### **Afluentes principales margen derecha**

- **Río Huanchay.** Nace con el nombre de Qda. Chonta y al unirse con la Qda. Huallac, toma el nombre de río Grande Chota; luego toma el nombre de río Ocros a partir de la Qda. Hualcos.
- **Quebrada Pisopate.** Nace de la confluencia de las Qdas. Lucma y Chinchis.
- **Quebrada Carnero.** Nace de la confluencia de las Qdas. Puscayan y Sinsan. Tiene como su principal afluente la Qda. Yaroc.

- b. Lagunas,** en la parte alta de la cuenca se han identificado las principales lagunas: Calupuyoc, Contaycocha, Cordercocha, Solteracocha, Jahuacocha, Sarapococha, Jurau, Viconga y Collorcocha.

En la figura 8, se muestra el mapa de hidrográfico de la cuenca del río Pativilca, se nota que la mayor cantidad de afluentes se encuentran en la margen izquierda, por lo que se concluye que el mayor aporte de caudales en épocas de avenidas lo constituye de esta margen.

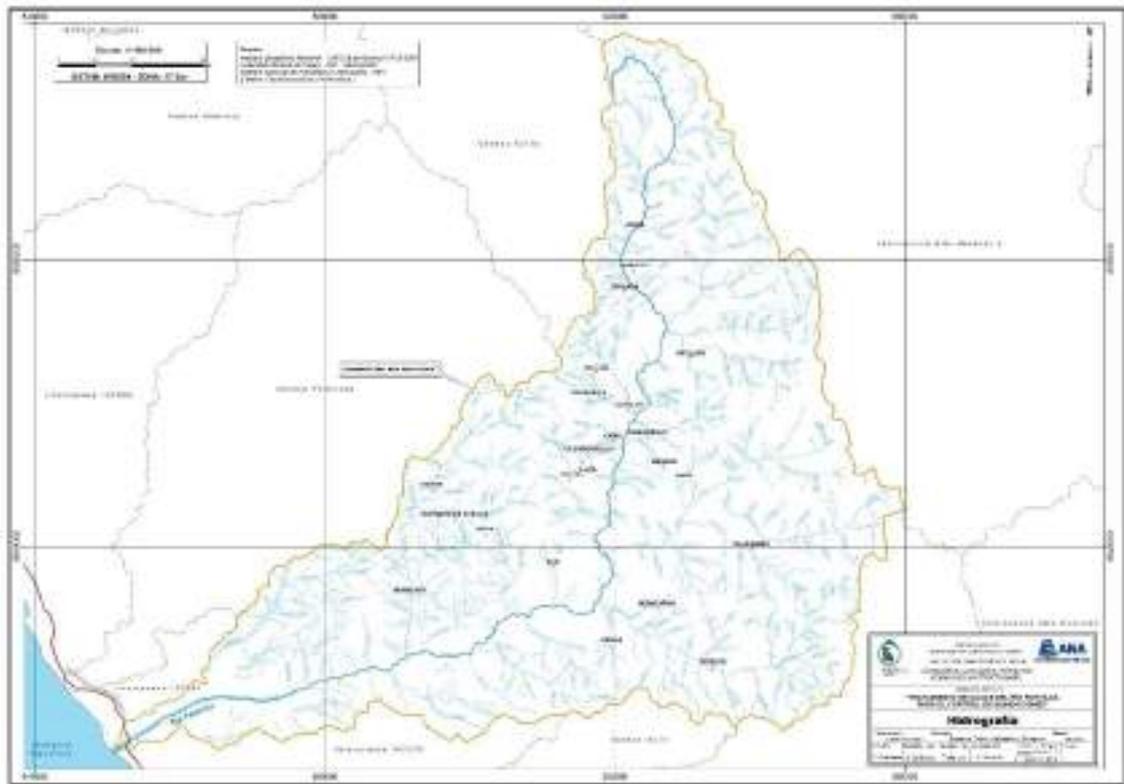


Figura 8. Red de drenaje natural de la cuenca del río Pativilca

## 2.5 Zonas de vida

Las formaciones ecológicas y sus características se muestran en el cuadro 4.

Cuadro 4. Características principales de las formaciones ecológicas

Formaciones ecológicas	Altitud (mm)	Temperatura promedio anual (°C)	Precipitación promedio anual (mm)	Tipo de actividad
Desierto pre-montano	0 - 900	19.5	0 - 50	Agricultura intensiva y semi-intensiva bajo riego. Ganadería establecida de vacunos y pastoreo de caprinos
Matorral desértico pre-montano	500 - 1800	17	50 - 200	Agricultura de subsistencia bajo riego y escaso pastoreo temporal
Estepa espinosa montano bajo	1600 - 2800	14	200 - 500	Agricultura de subsistencia bajo riego y al secano. Incipiente actividad forestal y pastoreo temporal de ganado vacuno
Pradera húmeda montano	2600 - 3700	10	500 - 1000	Agricultura semi-intensiva mayormente bajo secano comercialización de productos). Gran actividad forestal y pastoreo semi-permanente de ganado vacuno y ovino
Pradera muy húmeda montano	3700 - 4200	8	1000 - 1400	Pastoreo extensivo de ganado vacuno y ovino.

Fuente: [http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/dgaam/publicaciones/evats/pativilca/pativilca\\_i.htm](http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/dgaam/publicaciones/evats/pativilca/pativilca_i.htm)

## 2.6 Evaluación e inventario de las obras de protección, cruce y captación

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.

Se dan a conocer los diferentes tipos de obras de defensa, obras de cruce (puentes), obras de captación, construidos en el valle, las responsabilidades que a futuro deben asumir dentro de las funciones de diferentes instituciones de gobierno involucradas en el campo de la protección contra inundaciones, a las que será útil el Inventario.

No se incluye la metodología para su construcción, las fuentes y recopilación de Información de este aspecto, la elaboración de la ficha para el levantamiento de datos, la estrategia de búsqueda de las obras del Inventario y el análisis de la información recolectada. Presenta una diferenciación de los tipos de obras construidas inventariadas e impresa que conforman el Inventario.

Los tipos de estructuras identificados son:

- **Muro tipo dique longitudinal de gaviones**, conformado por 03 cuerpos colchón antisocavante, se observa buena conservación, se prevé buena operatividad (figura 9).



Figura 9. Dique longitudinal de gaviones

- **Muro de concreto longitudinal** este tipo de estructura tiene como fin evitar la erosión lateral y desborde una sección se muestra en la figura 10.



Figura 10. Muro de concreto

- **Dique enchapado con roca** grande acomodada, que aparenta estar estabilizada, construida en tramo recto del curso del río, que la experiencia enseña que es donde tiene mejor comportamiento a la fuerte velocidad de arrastre y contención (figura 11).



Figura 11. Muro de concreto

- **Estructura de captación** permanente en la margen derecha, de la ribera del río se observa que es importante para la determinación del ancho estable. Se aprecia dos compuertas de captación, aliviadero lateral y muros de encauzamiento (figura 12).



Figura 12. Estructura de captación

- **Puente colgante** sobre el río Ocros para tránsito liviano, personas y animales, importante porque define el ancho del cauce (figura 13).



Figura 13. Puente colgante sobre el río Ocros

- **Puente de cruce** en el río Pativilca, autopista de la Panamericana Norte de 381 m de luz nuevo, el antiguo tiene 360 m de luz, en la figura 14, se observa uno de los dos puentes.



Figura 14. Puente vehicular sobre el río Pativilca

En los cuadros 5, 6 y 7, se muestra la relación de estructuras de protección y su estado de conservación, estructuras de captación y estructuras de cruce.

Cuadro 5. Estructuras de captación en el río Pativilca

N	Tipo de obra	Departamento	Provincia	Distrito	Sector	Este	Norte	Longitud	Margen	Material	Estado
1	Dique enmallado	Lima	Barranca	Pativilca	Puente Bolivar	196122	8813209	50	D	Malla	Bueno
2	Dique enmallado	Lima	Barranca	Pativilca	Puente Bolivar	196337	8813356	160	D	Malla	Bueno
3	Muro de Concreto	Lima	Barranca	Pativilca	Puente Bolivar	196464	8813486	275	D	Concreto	Bueno
4	Dique de material propio	Lima	Barranca	Pativilca	Puente Bolivar	196806	8813760	525	D	Conglomerado	Bueno
5	Dique enrocado	Lima	Barranca	Pativilca	Puente Nuevo Panamericana	197379	8814156	600	D	Roca	Bueno
6	Dique enrocado	Lima	Barranca	Barranca	Puente Nuevo Panamericana	197597	8813880	500	I	Roca	Bueno
7	Espigón	Lima	Barranca	Pativilca	Puente Nuevo Panamericana	197759	8814469	185	D	Roca	Bueno
8	Espigón	Lima	Barranca	Pativilca	Molino	198153	8814747	142	D	Roca	Bueno
9	Espigón	Lima	Barranca	Pativilca	Molino	198361	8814836	110	D	Roca	Bueno
10	Espigón	Lima	Barranca	Pativilca	Molino	198525	8814997	110	D	Roca	Bueno
11	Espigón	Lima	Barranca	Pativilca	Molino	198814	8815259	100	D	Roca	Bueno
12	Espigón	Lima	Barranca	Pativilca	Molino	198951	8815384	55	D	Roca	Bueno
13	Espigón	Lima	Barranca	Pativilca	Molino	199136	8815472	70	D	Roca	Bueno
14	Espigón	Lima	Barranca	Pativilca	Molino	199315	8815567	50	D	Roca	Bueno
15	Espigón	Lima	Barranca	Pativilca	Puntizuela	200007	8815982	75	D	Roca	Bueno
16	Espigón	Lima	Barranca	Pativilca	Puntizuela	199988	8815896	310	D	Roca	Bueno
17	Dique enmallado	Lima	Barranca	Pativilca	Puntizuela	200235	8816143	225	D	Malla	Colapsado
18	Dique con material de préstamo enchapado	Lima	Barranca	Pativilca	Puntizuela	200825	8816766	1000	D	Piedra enchapada	Bueno
19	Dique con material de préstamo enchapado	Lima	Barranca	Pativilca	Puntizuela	201356	8816998	590	D	Piedra enchapada	Bueno
20	Dique	Lima	Barranca	Barranca	Vinto Bajo	202352	8816964	295	I	Conglomerado	Bueno
21	Dique de material propio	Lima	Barranca	Barranca	Vinto Bajo	203823	8817659	500	I	Conglomerado	Bueno
22	Dique enrocado	Lima	Barranca	Barranca	Huayto	208679	8819563	826	I	Roca	Bueno
23	Dique enrocado	Lima	Barranca	Barranca	Huayto	211766	8819959	2500	D	Roca	Bueno
24	Dique enmallado	Lima	Barranca	Barranca	Araya Grande	213691	8819356	198	I	Malla	Bueno
25	Dique enmallado	Lima	Barranca	Barranca	Araya Grande	213886	8819281	45	I	Malla	Bueno
26	Dique con material de préstamo enchapado	Lima	Barranca	Pativilca	La Vega	213875	8819601	180	D	Piedra enchapada	Bueno
27	Dique enrocado	Lima	Barranca	Pativilca	La Vega	214108	8819613	250	D	Roca	Bueno
28	Dique con material de préstamo enchapado	Lima	Barranca	Pativilca	La Vega	214280	8819615	140	D	Piedra enchapada	Bueno
29	Dique enrocado	Lima	Barranca	Pativilca	La Vega	214449	8819576	220	D	Roca	Bueno
30	Dique con material de préstamo enchapado	Lima	Barranca	Pativilca	La Vega	214649	8819586	150	D	Piedra enchapada	Bueno
31	Dique enrocado	Lima	Barranca	Pativilca	La Vega	215019	8819548	500	D	Roca	Bueno
32	Dique enrocado	Lima	Barranca	Pativilca	La Vega	215431	8819588	250	D	Roca	Bueno
33	Dique con material de préstamo enchapado	Lima	Barranca	Barranca	Araya Chica	217896	8819789	1000	I	Piedra enchapada	Bueno
34	Dique con material de préstamo enchapado	Ancash	Ocros	Cochas	Las Vírgenes	220766	8821237	300	I	Piedra enchapada	Bueno
35	Dique con material de préstamo enchapado	Ancash	Ocros	Cochas	Cochas	222740	8822555	2000	D	Piedra enchapada	Bueno
36	Dique enrocado	Ancash	Ocros	Cochas	Alpas	224839	8822883	525	D	Roca	Bueno
37	Dique enrocado	Ancash	Ocros	Cochas	Alpas	225075	8822788	340	I	Roca	Bueno
38	Espigón	Ancash	Ocros	Cochas	Nueva Bocatoma La Vega	225685	8822996	25	D	Roca	Bueno
39	Espigón	Ancash	Ocros	Cochas	Nueva Bocatoma La Vega	225728	8823016	20	D	Roca	Bueno
40	Espigón	Ancash	Ocros	Cochas	Nueva Bocatoma La Vega	225772	8823036	20	D	Roca	Bueno
41	Espigón	Ancash	Ocros	Cochas	Nueva Bocatoma La Vega	225821	8823055	20	D	Roca	Bueno
42	Enrocado acomodado	Ancash	Ocros	Cochas	Nueva Bocatoma La Vega	225814	8822943	30	I	Roca	Bueno
43	Dique enrocado	Ancash	Ocros	Cochas	Nueva Bocatoma La Vega	226148	8823097	500	D	Roca	Bueno
44	Dique con material de préstamo enchapado	Ancash	Ocros	Ocros	La Vega	234319	8838425	85	D	Piedra enchapada	Bueno
45	Dique enrocado	Ancash	Ocros	Acas	Toma Yamachupan	239213	8826082	150	D	Roca	Bueno
46	Dique enrocado	Ancash	Ocros	Acas	Toma Yamachupan	239408	8826022	100	D	Roca	Bueno
47	Enrocado de protección	Ancash	Ocros	Acas	Puente Cahua	243553	8826631	15	D	Roca	Bueno
48	Dique de roca al volteo	Ancash	Cajatambo	Manas	Central Hidroeléctrica Cahua	246750	8830150	100	I	Roca	Bueno
49	Dique de roca al volteo	Ancash	Cajatambo	Manas	Central Hidroeléctrica Cahua	246742	8830283	100	I	Roca	Bueno

Cuadro 6. Estructuras de captación en el río Pativilca

N°	Tipo de Obra	Departamento	Provincia	Distrito	Sector	Este	Norte	Longitud	Altura	DERECHA	IZQUIERDA	MATERIAL	ESTADO
1	BOCATOMA GALPON	LIMA	BARRANCA	PATIVILCA	Puntizuela	201018	8817082	0		X		Concreto	Bueno
2	BOCATOMA PARAMONGA	ANCASH	OCROS	COCHAS	La Vega	211524	8820037	0		X		Concreto	Bueno
3	BOCATOMA VINTO	LIMA	BARRANCA	BARRANCA	Vinto	213853	8819280	0			X	Concreto	Bueno
4	BOCATOMA HUAYTO	ANCASH	OCROS	COCHAS	La Vega	216633	8819801	0			X	Concreto	Bueno
5	BOCATOMA PATIVILCA ANTIGUO	ANCASH	OCROS	COCHAS	Alpas	225272	8822871	0			X	Concreto	No operativa
6	BOCATOMA LA VEGA	ANCASH	OCROS	COCHAS	Otopongo	226358	8823201	0		X		Concreto	Bueno
7	BOCATOMA NUEVA PATIVILCA-MURO	LIMA	BARRANCA	COCHAS	Alpas	226497	8823304	40			X	Concreto	Inconclusa
8	BOCATOMA ALPAS	ANCASH	OCROS	COCHAS	Alpas	228833	8823931	0		X		Concreto	Bueno
9	BOCATOMA YANAPAMPA BAJA	ANCASH	OCROS	ACAS	Yanapampa	241291	8826036	3	3	X		Concreto	Bueno
10	BOCATOMA - MUROS	LIMA	BARRANCA	COCHAS	Yanapampa	243540	8826629	200			X	Concreto	Bueno
11	BOCATOMA VILCAPAMPA	ANCASH	OCROS	ACAS	Vilcapampa	243785	8827371	1	1.1	X		Concreto	Bueno

Cuadro 7. Estructuras de cruce en el río Pativilca

N°	Nombre	Este	Norte	Departamento	Provincia	Distrito
1	Puente	232546	8824288	Ancash	Ocros	Cochas
2	Puente Corte Rinconada	234098	8839341	Ancash	Ocros	Ocros
3	Puente Yanapampa	240103	8826048	Ancash	Ocros	Acas
4	Puente Cahuas	243570	8826621	Ancash	Ocros	Acas
5	Puente Mayus	254447	8833185	Ancash	Ocros	Carhuapampa
6	Puente Colgante Cuchillas	235087	8832659	Ancash	Ocros	Cochas
7	Puente Yanachupan	234666	8826591	Ancash	Ocros	Cochas
8	Puente Nuevo Panamericana	197440	8813978	Lima	Barranca	Barranca
9	Puente Antigua Panamericana	196627	8813472	Lima	Barranca	Barranca

# CAPITULO III

## Geología y geotecnia



## INDICE

<b>CAPITULO III</b> .....	<b>41</b>
<b>GEOLOGÍA Y GEOTECNIA</b> .....	<b>41</b>
<b>3.1. GEOLOGÍA REGIONAL</b> .....	<b>41</b>
3.1.1 <i>Unidades geomorfológicas</i> .....	41
<b>3.2. UNIDADES LITOLÓGICAS</b> .....	<b>44</b>
<b>3.3. SISMICIDAD</b> .....	<b>47</b>
<b>3.4. CATASTRO MINERO EN LA CUENCA DEL RÍO PATIVILCA</b> .....	<b>47</b>
<b>3.5. PELIGROS GEOLÓGICOS REGISTRADOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO – PARTE BAJA DE LA CUENCA</b>	<b>49</b>
3.5.1 <i>Erosión Fluvial</i> .....	49
3.5.2 <i>Inundaciones Fluviales</i> .....	49
3.5.3 <i>Erosión de Ladera</i> .....	50
3.5.4 <i>Flujos de Detritos</i> .....	50
3.5.5 <i>Caídas de Rocas y Derrumbes</i> .....	50
<b>3.6. ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DE PROBLEMAS GEODINÁMICOS</b> .....	<b>51</b>
3.6.1 <i>Medidas para Inundación y Erosión Fluvial</i> .....	51
3.6.2 <i>Medidas para flujos de detritos</i> .....	55
3.6.3 <i>Medidas para Caída de Rocas y Derrumbes</i> .....	55
<b>3.7. GEOTECNIA DEL ÁREA DE ESTUDIO</b> .....	<b>56</b>
3.7.1 <i>Investigaciones Geotécnicas Río Pativilca</i> .....	56
3.7.2 <i>Condiciones Geotécnicas</i> .....	80
3.7.3 <i>Canteras de enrocado</i> .....	81
<b>3.8. GEOTECNIA DEL ÁREA DE ESTUDIO</b> .....	<b>84</b>
3.8.2 <i>Conclusiones</i> .....	84
3.8.3 <i>Recomendaciones</i> .....	85

## Listado de cuadros

CUADRO 1. DISTRIBUCIÓN POR EXTENSIÓN DE DERECHOS MINEROS EN LA CUENCA DEL RÍO PATIVILCA .....	48
CUADRO 2. ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS REALIZADOS EN EL RÍO PATIVILCA.....	56
CUADRO 3. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE SUELOS.....	58
CUADRO 4. TOPOLOGÍA DE SUELOS SEGÚN EL SUCS (BAÑON Y BEVIA, 2000) .....	59
CUADRO 5. CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS SEGÚN EL SUCS (BAÑON Y BEVIA, 2000) .....	59
CUADRO 6. VALORACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE DE SUELOS EN FUNCIÓN DEL CBR (MODIFICADO DE LAIN Y OTROS, 2005) ...	60

## Listado de figuras

FIGURA 1. UNIDAD GEOMORFOLÓGICA PLANICE COSTANERA (PC) SUBUNIDAD VALLE EN V. TERRENOS DE CULTIVO OCUPAN ESTA UNIDAD EN ZONAS CERCANAS A LOS VALLES COSTEROS. ....	43
FIGURA 2. UNIDAD GEOMORFOLÓGICA CORDILLERA OCCIDENTAL - FLANCO ANDINO OCCIDENTAL (FAOC): INICIO DE CADENAS MONTAÑOSAS DISECTADAS POR EL RÍO PATIVILCA, TERRAZAS ALTAS CONFORMADAS POR MATERIAL CONGLOMERADO Y BLOQUES DE ROCAS ÍGNEAS DE DIÁMETRO SUPERIOR A 1.50. ....	44
FIGURA 3. EXCAVACIÓN EXPLORATORIA P-1 EN EL SECTOR VINTO, LOS MATERIALES GRANULARES CORRESPONDEN A GRAVAS BIEN GRADADAS DE CLASIFICACIÓN SUCS GW .....	61
FIGURA 4. EXCAVACIÓN EXPLORATORIA P-2 EN EL SECTOR POTAO, LOS MATERIALES GRANULARES CORRESPONDEN A ARENAS LIMOSAS DE CLASIFICACIÓN SUCS SM .....	63
FIGURA 5. EXCAVACIÓN EXPLORATORIA P-3 EN EL SECTOR LAS VEGAS, LOS MATERIALES GRANULARES CORRESPONDEN A ARENAS LIMOSAS DE CLASIFICACIÓN SUCS SM - SC.....	66
FIGURA 6. EXCAVACIÓN EXPLORATORIA P-4 EN EL SECTOR LAS ALPAS, LOS MATERIALES GRANULARES CORRESPONDEN A GRAVAS MAL GRADADAS DE CLASIFICACIÓN SUCS GP .....	68
FIGURA 7. EXCAVACIÓN EXPLORATORIA P-5 EN EL SECTOR SAN TELMO, LOS MATERIALES GRANULARES CORRESPONDEN A ARENAS MAL GRADADAS DE CLASIFICACIÓN SUCS SP .....	70
FIGURA 8. EXCAVACIÓN EXPLORATORIA P-6 EN EL SECTOR SAN TELMO, LOS MATERIALES GRANULARES CORRESPONDEN A GRAVAS LIMOSAS Y ARCILLOSAS DE CLASIFICACIÓN SUCS GM-GC.....	72
FIGURA 9. EXCAVACIÓN EXPLORATORIA P-7 EN EL SECTOR TRES CRUCES, LOS MATERIALES GRANULARES CORRESPONDEN A GRAVAS ARCILLOSAS DE CLASIFICACIÓN SUCS GC .....	74
FIGURA 10. EXCAVACIÓN EXPLORATORIA P-8 EN EL SECTOR TRES CRUCES, LOS MATERIALES GRANULARES CORRESPONDEN A GRAVAS ARCILLOSAS DE CLASIFICACIÓN SUCS GC .....	76
FIGURA 11. EXCAVACIÓN EXPLORATORIA P-9 EN EL SECTOR TORRECILLA ALTA, LOS MATERIALES GRANULARES CORRESPONDEN A GRAVAS ARCILLOSAS DE CLASIFICACIÓN SUCS GM, SE OBSERVA EL ENSAYO DE DENSIDAD IN SITU .....	78
FIGURA 12. EXCAVACIÓN EXPLORATORIA P-10 EN EL SECTOR COCHAS, LOS MATERIALES GRANULARES CORRESPONDEN A GRAVAS ARCILLOSAS DE CLASIFICACIÓN SUCS GP .....	80
FIGURA 13. MATERIALES DE BOLONERÍA EN LA CANTERA COCHAS, DE DIÁMETROS QUE SUPERAN 1.00 M., DE FORMAS SUBREDONDEADAS A REDONDEADAS .....	82
FIGURA 14. AFLORAMIENTO ROCOSO DE LA CANTERA VINTO, DE DIÁMETROS QUE SUPERAN 1.00 M., LA EXPLOTACIÓN DEBERÁ REALIZARSE MEDIANTE VOLADURA CONTROLADA.....	83

## **CAPITULO III**

### **Geología y geotecnia**

#### **3.1. Geología Regional**

El relieve de la cuenca del río Pativilca corresponde a una hoya hidrográfica de forma alargada, fondo profundo, fuertes pendientes, de fisiografía escarpada y en partes abrupta, cortada por quebradas de cauce profundo y estrechas gargantas. Parte de la cuenca se encuentra limitada por las cordilleras Huayhuash y Raura, donde la deglaciación ha formado numerosas lagunas como: Viconga, Jurau, Solterococha, etc.

Hacia la parte baja de la cuenca, la disminución brusca de la pendiente y de la velocidad del agua ha dado lugar a la depositación del material aluviónico formando una llanura o cono de deyección, cuya base a lo largo del litoral tiene un ancho de más de 15 km.

En la región las rocas han sido deformadas en su deposición primaria por movimientos orogénicos y epirogenéticos de diversa magnitud (levantamiento de la cordillera de los Andes, así como el desarrollo de estructuras geológicas tales como sobreescurrecimientos, fallas y pliegues) que se localizan principalmente en las partes media y alta de la cuenca.

Las rocas sedimentarias e ígneas volcánicas, constituyen las formaciones estratigráficas aflorantes en las regiones norte, oriental y litoral de la cuenca; las rocas ígneas intrusivas del Batolito Andino se encuentran en la parte Occidental; mientras que los depósitos cuaternarios recientes, se localizan en la faja costanera y valles sobreyaciendo a las formaciones anteriores.

La cuenca del Pativilca por pertenecer al Cinturón del Pacífico está ubicada en una región de alta actividad sísmica. La interacción de la placa Continental y la placa de Nazca han dado lugar a la Cordillera de los Andes y la Fosa Tectónica de Lima. El encuentro de estas placas ha producido zonas de fractura en la corteza terrestre y por tanto la generación de los movimientos sísmicos, que en ocasiones han afectado fuertemente a la cuenca.

##### **3.1.1 Unidades geomorfológicas**

La geomorfología en la cuenca del río Pativilca está relacionada a los procesos

geodinámicos que han dado origen a la actual configuración del área, existiendo una estrecha relación entre el tectonismo y los factores denudativos que le dieron origen.

En la cuenca del río Pativilca de Oeste a Este, se han reconocido seis unidades geomorfológicas bien diferenciadas y otras subunidades locales (*Ver Mapa Unidades Geomorfológicas*).

**a. Planicie Costanera (PC).** Se localiza entre el borde litoral y las estribaciones del flanco andino occidental, conformada por una faja angosta de anchos variables y paralela al litoral. En esta unidad existen amplios abanicos aluviales pertenecientes al río Pativilca, presentando una morfología plana y escalonada; y depósitos de terrazas aluviales antiguas y recientes cuya altitud varía en decenas de metros cortados por el curso actual del río. Los principales peligros identificados en esta unidad están relacionados a inundaciones, erosiones fluviales (asociados a eventos de El Niño), arenamiento, derrumbes en depósitos eólicos, pudiendo ocurrir flujos de lodo de carácter muy excepcional.

Las unidades localizadas en la Planicie Costanera (PC) corresponden a:

Depósitos Eólicos (DE). Distribuidos ampliamente en forma de mantos, cordones y dunas de arena que muestran la dirección de los vientos predominantes, de grosor variable y arenas de grano grueso y fino, de color gris oscuro a blanco. Estas acumulaciones de arena forman una topografía plano – ondulada, las mismas que son transportadas hacia los contrafuertes andinos.

Abanicos Aluviales (Ab). Formados por superficies planas constituidas por depósitos aluviales. La morfología de estos depósitos está caracterizada por secuencias de abanicos aluviales superpuestos a través del tiempo, constituidos por material proveniente de la Cordillera Occidental y acarreados por flujos de detritos.

Colinas (Col). Conformadas por afloramientos rocosos de poca elevación, se ubican dentro de la Planicie Costanera o de abanicos aluviales antiguos y valles cerca al litoral que han quedado cubiertos por depósitos eólicos.

Valle Cañon (Vc). Constituida por zonas encajonadas y profundas, con paredes verticales y laderas abruptas, labradas en rocas de los flancos de las cordilleras Occidental y Oriental.

Valle en V (Vv). En sección transversal, la profundidad que existe entre la cima de sus laderas o flancos y el lecho, es variable, así también la forma e inclinación de las vertientes. Los flancos de estos valles son empinados y escarpados, según el tipo de

litología que los constituyen. Las terrazas formadas por la divagación de los cauces a través del tiempo, conforman hoy en día, valles agrícolas importantes y el terreno de fundación de actuales centros poblados



Figura 1. Unidad geomorfológica Planice Costanera (PC) Subunidad Valle en V. Terrenos de cultivo ocupan esta unidad en zonas cercanas a los valles costeros.

**b. Cordillera Occidental** Por su morfología, pendiente, características litológicas, la naturaleza de los suelos junto a los factores detonantes (lluvias, actividad antrópica y sísmica), presentan una gran variedad de procesos de movimientos en masa como huaycos, caída de rocas y derrumbes, deslizamientos y movimientos complejos de gran magnitud, erosión de laderas y reptación de suelos.

Flanco Andino Occidental (FAOC) Corresponde a una subunidad de la Cordillera Occidental, formada por una cadena montañosa de dirección NO-SE, conformada por rocas jurásicas y cretácicas intruídas por segmentos del Batolito de la Costa. Presenta una topografía irregular y de relieve abrupto, se encuentra disectada por numerosas quebradas distribuidas en drenaje dendrítico; las alturas varían entre 400 y 3 600 msnm



Figura 2. Unidad Geomorfológica Cordillera Occidental - Flanco Andino Occidental (FAOC): Inicio de cadenas montañosas disectadas por el río Pativilca, terrazas altas conformadas por material conglomerado y bloques de rocas ígneas de diámetro superior a 1.50.

### 3.2. Unidades Litológicas

En la Cuenca del río Pativilca, se han diferenciado 06 unidades litológicas, que se han agrupado según su origen y composición. De cada unidad se ha detallado sus características físicas y mecánicas, su comportamiento y resistencia ante los agentes de erosión externa.

Las formaciones superficiales, corresponden al conjunto de depósitos poco o nada coherentes, de extensión y espesor variables. Unidad denominada como I-1. Mientras que al conjunto de unidades rocosas consolidadas se les ha denominado: Unidad II a las rocas intrusivas, Unidad IV a las rocas volcánico-sedimentarias y Unidad V a las rocas sedimentarias (*Ver Mapa Geología Regional*).

Las unidades litológicas diferenciadas en la cuenca del río Pativilca corresponden a:

#### **3.2.1 Depósitos Superficiales Inconsolidados (I-1).**

Corresponden a depósitos recientes inconsolidados a medianamente consolidados. En el área de estudio se han reconocido los siguientes:

*Depósitos Eólicos.* Localizados próximos al litoral y cubren grandes extensiones de terreno. Se encuentran conformando la unidad morfológica Planicie Costanera formando cordones y dunas de arena, también es posible observarlos sobreyaciendo las estribaciones inferiores andinas.

*Depósitos Fluviales.* Conforman el cauce actual de los ríos, constituidos por depósitos inconsolidados con permeabilidad alta, bolos conformados de cantos y gravas subredondeadas combinados con arenas o limos.

*Depósitos Proluviales.* Originados a partir de torrentes de agua que bajan en forma súbita por quebradas, formando abanicos y terrazas. Constituido por materiales heterométricos y mal clasificados; de forma angulosa a subangulosa, en matriz fina permeable, medianamente consolidada a consolidados y susceptibles a erosión pluvial (lluvias).

*Depósitos Coluviales* Son productos de derrumbes, caídas de rocas o deslizamientos que se acumulan al pie de las laderas. Constituido por materiales gruesos y heterométricos, distribuidos dentro de los productos finos como arena y limo, que pueden estar bien o medianamente consolidados.

En estos depósitos pueden ocurrir problemas de asentamientos, densificación y licuefacción de arenas.

### **3.2.2 Segmentos del Batolito de la Costa (II-1).**

En el área de estudio afloran unidades del Batolito de la Costa como: la Superunidad Santa Rosa constituida por cuerpos tonalíticos, dioríticos y granodioríticos, la superunidad Paccho compuesta por cuerpos de tonalita gradando a diorita y la Superunidad Paraíso constituida por cuerpos de tonalita y diorita.

También afloran cuerpos intrusivos que forman un complejo de diques, sills o stocks de composición andesítica.

En este tipo de rocas los desplazamientos predominantes son los verticales, siendo menor los horizontes, y los efectos sísmicos en construcciones aún deficientes no son destructivos (relativamente). La resistencia de estos materiales rocosos varía según la composición, textura y su localización por efectos del clima al que están expuestos.

El granito, la roca más común de la familia de las rocas intrusivas tiene una resistencia a la compresión de 100 – 200 Mpa.

### **3.2.3 Andesitas, conglomerados, areniscas, calizas (IV-1).**

Secuencias de conglomerados intercalados con areniscas limolitas rojizas y calizas arenosas en un nivel inferior, seguido por secuencias de tobas y derrames andesíticos con flujo de brecha volcánica, y finalmente tobas rojizas con capas de andesitas y areniscas.

Se encuentran formando montañas y colinas de moderada a fuerte pendiente, sus valores de resistencia a la compresión son variables por encontrarse constituidos por diferentes litologías, lo mismo que la susceptibilidad a los movimientos en masa, siendo susceptibles a la ocurrencia de deslizamientos y derrumbes de grandes magnitudes.

Debido a su naturaleza volcánica y sedimentaria, su comportamiento físico mecánico dependerá de su estructura interna, pudiéndose comportar como suelos ígneos o residuales, por lo que se recomienda realizar estudios geomecánicos puntuales.

### **3.2.4 Andesitas, dacitas, tobas, ignimbritas, brecha volcánica, areniscas limosas y limoarcillitas (IV-2).**

Esta unidad agrupa rocas pertenecientes al Grupo Colqui, que consta de derrames andesíticos con alternancia de tobas finas abigarradas y lapillíticas blancas con capas de arenisca y el grupo Calipuy constituido por conglomerado basal andesitas y lavas dacíticas, calizas margosas y areniscas.

Este grupo litológico de acuerdo a las condiciones estructurales, hidrológicas y sísmicas pueden ser susceptibles a la ocurrencia de deslizamientos y derrumbes. Los movimientos en masa vinculados a este subgrupo son considerables dada la gran extensión de sus afloramientos.

### **3.2.5 Pizarras, lutitas, areniscas y esquistos (V-2).**

Constituida por grandes depósitos de areniscas, ortocuarcitas, areniscas cuarzosas, areniscas subgrauvacas, lutitas que se intercalan con areniscas piritosas y con nódulos ferruginosos.

Las formaciones representativas de esta subunidad son el: grupo Goyllarisquizga y las formaciones Chicama, Oyón y Casapalca.

### **3.2.6 Areniscas, y conglomerados (V-3).**

Areniscas conglomerádicas rojas, areniscas arcóscicas de grano medio a grueso de color rojo a marrón rojizo. Las evaporitas disminuyen la competencia de las rocas, siendo susceptibles a los deslizamientos, flujos (con lluvias intensas) y derrumbes.

Las formaciones representativas de esta subunidad son: Chota, Huaylas y Goyllarisquizga.

### **3.2.7 Lutitas, calizas y areniscas (V-4).**

Subunidad constituida por lutitas con intercalaciones de areniscas finas, también por lutitas fosilíferas, lutitas arenosas.

Las formaciones representativas de esta subunidad son: Chicama, Chala, Huaylas, Huamancay y Goyllarisquizga

## **3.3. Sismicidad**

De acuerdo al Mapa de Zonificación Sísmica del Perú, según la Norma Técnica de Construcciones E-030, 1989), la Cuenca del río Pativilca se ubica en la Zona III (Ver Mapa "Zonificación Sísmica del Perú"), la cual se caracteriza por una actividad sísmica Alta, se recomienda adoptar en los diseños Sismo-Resistentes, el siguiente parámetro:

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

El Mapa de Máximas Intensidades Sísmicas del Perú elaborado por ALVA et al (1994), muestra las intensidades máximas que prevalecen en la Cuenca del río Pativilca del orden de VI, VII y IX (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.

## **3.4. Catastro Minero en la Cuenca del río Pativilca**

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 para la

Cuenca del río Pativilca, encontrándose en el área de estudio 687 derechos mineros que ocupan 338,340.50 hectáreas de la cuenca del río Pativilca.

La distribución por extensión de áreas con Derechos Mineros se detalla en el siguiente cuadro 1.

Cuadro 1. Distribución por extensión de derechos mineros en la cuenca del río Pativilca

NÚMERO DE DERECHOS MINEROS	ESTADO	DISTRITOS	HAS	TIPO DE SUSTANCIA
1	Cantera D.S. 037-96-EM	Pativilca	400	No Metálica
2	Acumulación Derecho Minero Titulado	Huallanca, Huasta y Aquia	1,461	Metálica
3	Planta de Beneficio	Aquia y Gorgor	149	Metálica
30	Derecho Minero Extinguido	Barranca, Supe, Cajatambo, Gorgor, Aquia, Huallanca, Otros.	9,036	No Metálica y Metálica
118	Derecho Minero en Trámite	Santiago de Chilcas, Ambar, Manas, Chiquian, Gorgor, Barranca, Cajamarquilla, Pativilva, otros.	61,071	No Metálica y Metálica
533	Derecho Minero Titulado	Santiago de Chilcas, Ambar, Manas, Chiquian, Gorgor, Barranca, Cajamarquilla, Pativilva, otros.	266,223	No Metálica y Metálica

Como se observa, las concesiones con Derechos Mineros Titulados ocupan la mayor extensión en la cuenca del río Pativilca, 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).

Existen numerosas compañías mineras en etapa de exploraciones mineras en las provincias de Barranca, Bolognesi, Cajatambo, Huari, Ocos, Cajatambo, Huaura y Oyon. Entre los proyectos mineros destacan: Pachapaqui, El Padrino, Hilarion 2, Condor, Berlin, Cajatambo y Chiptaj.

En los departamentos de Ancash y Lima se han identificado áreas restringidas a la actividad minera, entre ellas destacan: Cordillera Huayhuash, Microcuenca de Paria y hacia la parte alta de la cuenca Pativilca el Área natural Protegida Huascarán; asimismo se tienen registrados más de 15 sitios arqueológicos.

### **3.5. Peligros Geológicos registrados en el Área de Estudio – parte baja de la cuenca**

En el área de estudio, se han registrado un total de 47 ocurrencias de peligros que corresponden a: inundación fluvial, erosión fluvial, flujos de detritos, caídas de rocas y derrumbes. En base a la información recabada se observa que los distritos de: Pativilca, Cochabambas y Manas han tenido una mayor ocurrencia de peligros geológicos tipo: erosión fluvial, inundación fluvial, flujos de detritos y caídas de rocas:

#### **3.5.1 Erosión Fluvial**

Son los principales fenómenos de geodinámica externa que afectan a la Cuenca, el carácter torrencioso e irregular del régimen hidráulico del río, en épocas de avenidas transporta carga; ya sea en disolución, suspensión, saltación y rodamiento.

El lecho del río Pativilca se presenta angosto desde las nacientes hasta la zona del cañón y algo más amplio en el sector de Cochabambas, atravesando terrenos de fuertes pendientes y acentuando la acción erosiva de fondo. A partir de Cochabambas, el río Pativilca disminuye su pendiente y el cauce se ensancha, incrementándose así la erosión lateral produciéndose divagaciones del cauce. Hacia la parte más baja del valle, se produce una mayor colmatación de sedimentos.

En la Cuenca la erosión fluvial del río Pativilca ha sido registrada en los sectores de Puente Bolívar, Roncador, Cochabambas, Fundo Alpas, San Telmo, Soledad, Llanapampa y cerca de la Hidroeléctrica de Cahua; en los distritos de Pativilca, Cochabambas, Ocros, Acas y Manas.

#### **3.5.2 Inundaciones Fluviales**

El desborde del río se produce cuando el curso del agua resulta superior a la capacidad del lecho, provocando la inundación de terrenos adyacentes, debido al aporte extraordinario de agua y sedimentos y el aumento de velocidad de flujo.

Gran parte del recorrido del río Pativilca lo efectúa a través de un lecho bien definido: desde sus nacientes hasta la altura de Cochabambas. Los sectores donde se han registrado estos procesos de geodinámica externa corresponden a: Aliso, Punta y Suela, Pinto Bajo y Las Vírgenes, en el distrito de Pativilca.

### **3.5.3 Erosión de Ladera**

Los factores que actúan durante los procesos erosivos de ladera corresponden a: factores naturales (climáticos, pendiente natural de las laderas, la gravedad, factores ecológicos, geológicos, meteorológicos, hidrológicos, sísmicos) y factores artificiales (antrópicos). El producto de este tipo de procesos son las manifestaciones de la erosión laminar, erosión en canales, erosión piramidal superficial y erosión de cárcavas.

En la cuenca del río Pativilca los daños por erosión afectan, en las partes bajas a los terrenos de cultivo y obras viales; y en las partes medias y altas a las laderas de los cerros, terrenos de cultivo, obras de infraestructura y a los pueblos aledaños.

El sector donde se han registrado procesos de erosión de ladera es el Cerro Huaccapampa en el distrito de Cochabamba.

### **3.5.4 Flujos de Detritos**

Fenómenos de geodinámica externa de flujo muy rápido de detritos saturados, no plásticos, que tiene lugar a lo largo de un cauce con pendiente pronunciada. Este tipo de flujos incorporan gran cantidad de material saturado en su trayectoria y finalmente se depositan en abanicos de detritos.

En el área de estudio, los flujos de detritos han sido registrados en las Quebradas La Isla, Piedras Gordas, San Telmo, Huaylillas, Huanchuy, Congon, Tres Cruces, Llamachupan, Nunucay, en los distritos de Cochabamba, Orosi, Acas y Manas.

### **3.5.5 Caídas de Rocas y Derrumbes**

Las caídas de rocas y derrumbes en la cuenca del río Pativilca, están condicionados a los factores naturales, climáticos, geológicos, geomorfológicos, hidrometeorológicos, sísmicos; así como la acción de la gravedad, la pendiente de los taludes; y a factores antrópicos.

A lo largo del curso del río Pativilca existen numerosos sectores donde la inestabilidad de los taludes de las laderas de los cerros es latente y ocasiona constantes daños a la carretera Barranca – Cajatambo y a terrenos de cultivo.

Los sectores que registran caídas de rocas y derrumbes son: Cerro Tentación, Huallacocha, Yerba Buena, Cerro Mancapa, Llamachupan, Las Palmeras, Purmacana

Alta, Laccha; en los distritos de Pativilca, Cochabamba, Oros, Santiago de Chilcas, Acas y Manas

### **3.6. Alternativas para el Manejo de Problemas Geodinámicos**

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.

Con la finalidad de minimizar las ocurrencias de los peligros geológicos identificados en el área de estudio, se dan algunas medidas preventivas o correctivas.

#### **3.6.1 Medidas para Inundación y Erosión Fluvial**

Las acciones a ejecutar para proteger las márgenes del río, susceptibles a erosiones e inundaciones, tienen que estar íntimamente relacionadas a las que se ejecutarán en las quebradas afluentes, ya que es considerable el aporte de sólidos, especialmente en épocas de fuertes precipitaciones, provocando la colmatación del lecho.

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**

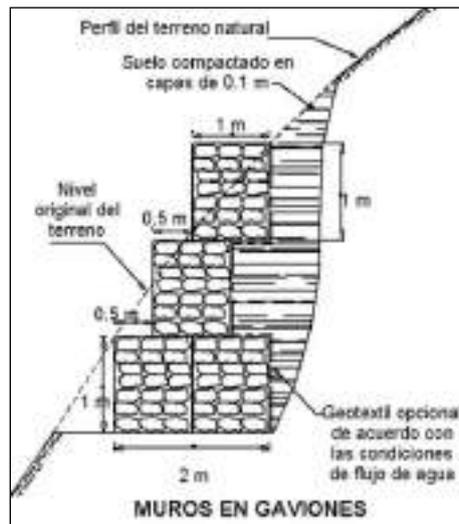
Son estructuras de encausamiento contra crecidas o construcciones longitudinales, es decir en el mismo sentido de la corriente del río, que protege directamente la pendiente de la acción erosiva de la corriente.

Se consideran las siguientes estructuras:

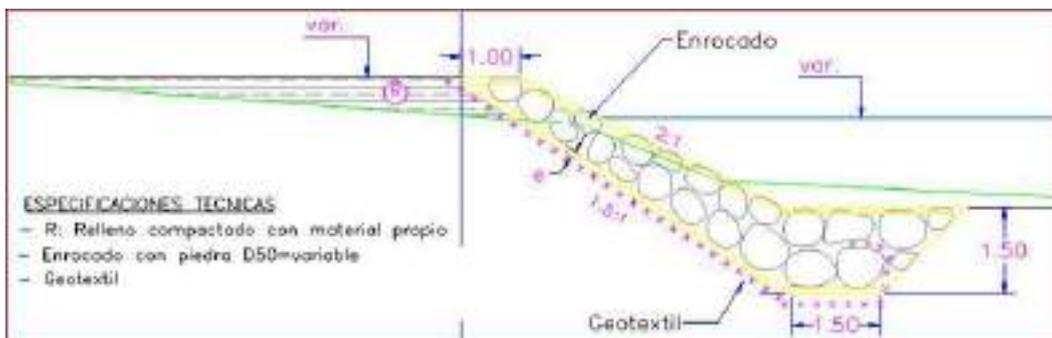
Muros de Contención Dado su elevado costo, solamente en casos estrictamente necesarios y de acuerdo a las características del suelo y dinámica fluvial son recomendables los muros de contención, de hormigón o de hormigón armado, siendo adecuado para cualquier altura.



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.



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.



b. **Obras Paralelas.**

Las estructuras paralelas son en su mayoría diques de protección contra crecidas, de perfil trapezoidal. 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 acarreos 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.

Para los proyectos de los diques en general partimos de las posibilidades locales de material, debido a que el volumen de dichos materiales, así como el trabajo suelen ser considerables.

La estructura será de mampostería de piedra, cuyos paramentos serán asentados y emboquillados con mortero de cemento-arena, con núcleo constituido por material granular y piedras grandes. Sus dimensiones estarán de acuerdo a la naturaleza del terreno, magnitud, volumen y fuerza erosiva de la corriente.

Diques Transversales Son construcciones que se realizan sobre la corriente fluvial. Su fin es desviar la corriente de la orilla o retener los acarreos. 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 empotrados en la cimentación.
- Espigones de Sedimentación. Son estructuras ubicadas en forma escalonada paralelamente y espaciadas unas 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 preveer 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.

### **3.6.2 Medidas para flujos de 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 deyeativos encausar el curso mediante estructuras transversales marginales, paralelas y diseñar debidamente las obras (puentes, alcantarillas, cruce de quebradas) para el paso normal del huayco.

### **3.6.3 Medidas para Caída de Rocas y 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 subterránea.
- Descarga del material inestable del talud, mediante la construcción de namquetas 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.

### 3.7. Geotecnia del área de estudio

En el área de estudio (riberas del río Pativilca), se realizaron investigaciones geotécnicas mediante 10 excavaciones exploratorias (calicatas) y 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.

#### 3.7.1 Investigaciones Geotécnicas Río Pativilca

Las investigaciones tuvieron lugar en los sectores de: Vinto, Potao, Las Vegas, Las Alpas, San Telmo, Huaylillas, Tres Cruces, Vilcapampa, Torrecilla Alta, Cochas (Cantera Agregados) y Vinto (Cantera de Enrocado).

Las muestras representativas de suelos y rocas fueron clasificadas, seleccionadas y enviadas al laboratorio de mecánica de suelos GEORALAB S.A.C. en la ciudad de Lima, para realizar los ensayos.

Cuadro 2. Ensayos de laboratorio de mecánica de suelos realizados en el río Pativilca

CALICATA	SIMBOLO	UBICACIÓN	PROFUNDIDAD	COORDENADAS UTM 18 SUR WGS 84		ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS							
				ESTE (X)	NORTE (Y)	GRANULOMETRIA	CLASIFICACION SUCS	LIMITES DE ATTERBERG	CONTENIDO DE HUMEDAD	DENSIDAD NATURAL	ABRASION MAQUINA DE LOS ANGELES	ABSORCION	PESO ESPECIFICO
CALICATA 1	P-1	VINTO	2.00	203450	8817081	1	1	1	1	1			
CALICATA 2	P-2	POTAO	2.00	202210	8816470	1	1	1	1	1			
CALICATA 3	P-3	LAS VEGAS	2.00	215586	8819761	1	1	1	1	1			
CALICATA 4	P-4	LAS ALPAS	2.00	224378	8822867	1	1	1	1	1			
CALICATA 5	P-5	SAN TELMO	2.00	232223	8824119	1	1	1	1	1			
CALICATA 6	P-6	HUAYLILLAS	2.00	233755	8825527	1	1	1	1	1			
CALICATA 7	P-7	TRES CRUCES	2.00	234983	8831464	1	1	1	1	1			
CALICATA 8	P-8	VILCAPAMPA	2.00	241029	8825991	1	1	1	1	1			
CALICATA 9	P-9	TORRECILLA ALTA	2.00	211410	8820209	1	1	1	1	1			
CALICATA 10	P-10	COCHAS	EN SUPERFICIE	220944	8822989	1	1	1	1	1			
MUESTREO CANTERA	CRX-1	COCHAS (AGREGADOS)	EN SUPERFICIE	220944	8822989						1	1	1
MUESTREO CANTERA	CRX-2	VINTO	EN SUPERFICIE	205327	8815318						1	1	1

En base a los resultados del laboratorio de mecánica de suelos, los sectores evaluados están caracterizados por presentar materiales de cimentación de clasificación SUCS: SW, SM, SC, GW, GP, GM y GC, materiales granulares de baja plasticidad y ligeramente húmedos.

Las características geotécnicas y propiedades físico – mecánicas de los suelos se han evaluado en base a las investigaciones y ensayos ejecutados en el área así como de información técnica existente y Parámetros Característicos de los Suelos presentados en los Cuadros G-6, G-7, G-8 y G-9.

Seguidamente, se presentan los resultados e interpretación de las investigaciones geotécnicas ejecutadas en el río Pativilca:

**a. Sector Vinto - Calicata 1 (P-1)**

Localizada cerca al centro poblado Vinto hacia la margen izquierda del río Pativilca, con coordenadas UTM Este (X): 203,450 y Norte (Y): 8'817,081 y de 2.00 metros de profundidad. Los suelos están constituidos por Arenas y Gravas bien gradadas de clasificación SUCS SW – GW, ligeramente húmedo a seco, densidad relativa compacta y nula plasticidad.

Cuadro 3. Parámetros característicos de suelos

FUENTE: Grundbau Taschenrechner, 3ª ed. 1ª Parte, 1980

TIPO DE SUELO	GRANULOMETRIA		LIMITE DE ATTERBERG (Fracción < 0.075 mm)			PESO ESPECIFICO $\gamma_{sat}$		HUMEDAD NATURAL w %	PROCTOR NORMAL		DEFORMABILIDAD <sup>(1)</sup>		RESISTENCIA AL CORTE			
	< 0.075 mm %	< 2.0 mm %	LL %	LP %	IP %	$\gamma$	$\gamma_{sat}$		Dens. Seca ( $\gamma_{dry}$ )	$W_{opt}$ %	$E_s = \text{kg/cm}^2$	$\alpha$	$\phi$ (°)	$c$ (ton/m <sup>2</sup> )	$\lambda$ (ton/m <sup>2</sup> )	
Grava	= 5	= 90	--	--	--	180	0.95	5	1.73	9	408	0.60	34°	--	32°	
						130	1.05	2	1.93	9	308	0.40	42°	--	38°	
Grava Arenosa con finos	= 5	= 60	--	--	--	210	1.15	7	2.03	7	408	0.70	35°	--	32°	
						230	1.35	3	2.23	4	1100	0.50	45°	--	38°	
Grava arenosa con finos fino-arcillosos que no alteran la estructura granular	8	= 60	20	16	4	210	1.15	8	2.13	7	408	0.70	35°	1.08	32°	
	15		45	25	25	240	1.45	3	2.33	3	1200	0.50	45°	0.08	38°	
Gravas y arenas con finos	20	= 60	20	16	4	200	1.85	13	1.93	10	158	0.90	38°	3.08	22°	
	40		50	25	30	225	1.30	5	2.23	5	400	0.70	35°	0.58	38°	
Arena uniforme	Fina	= 5	100	--	--	--	180	0.95	23	1.83	15	150	0.75	32°	--	38°
							180	1.30	8	1.73	10	300	0.60	40°	--	32°
	Gruesa	= 5	100	--	--	--	180	0.95	16	1.83	13	250	0.70	34°	--	38°
							180	1.30	6	1.73	8	700	0.55	42°	--	34°
Arena lila graduada y arena con grava	= 5	100	--	--	--	180	1.00	11	1.93	10	208	0.70	33	--	32°	
						210	1.20	5	2.13	6	608	0.55	41	--	34°	
Arena con finos que no alteran la estructura granular	8	= 60	20	16	4	180	1.05	15	2.03	13	158	0.80	32°	1.08	30	
	15		45	25	25	225	1.30	4	2.23	7	508	0.65	40°	0.08	32°	
Arena con finos que alteran la estructura granular	20	= 60	20	16	4	180	0.80	20	1.73	18	50	0.80	25°	6.08	22°	
	40		50	30	30	215	1.30	8	2.03	12	250	0.75	32°	1.08	30°	
Limo poco plástico	= 30	= 80	25	20	4	1.75	0.85	28	1.83	22	40	0.80	38°	2.08	25°	
			25	20	11	210	1.30	15	1.83	15	110	0.60	35°	0.58	30°	
Limo de plasticidad media a alta	= 30	= 100	25	22	7	1.70	0.85	35	1.55	23	30	0.90	25°	3.08	22°	
			60	25	20	200	1.85	20	1.75	16	70	0.70	33°	1.08	29°	
Arcilla de baja plasticidad	= 60	100	25	15	7	1.90	0.95	28	1.85	20	20	1.00	24°	6.08	20°	
			25	22	16	220	1.20	14	1.85	14	30	0.90	32°	1.58	28°	
Arcilla de plasticidad media	= 60	100	40	18	16	1.80	0.95	39	1.55	23	10	1.00	25°	8.08	10°	
			60	25	30	210	1.10	10	1.75	17	30	0.95	30°	2.08	29°	
Arcilla de alta plasticidad	160	100	60	30	33	1.65	0.70	55	1.45	27	8	1.00	17°	13.08	8°	
			85	28	85	200	1.00	30	1.65	30	30	1.00	37°	3.08	15°	
Limo ó Arcilla orgánicos	= 30	100	45	30	10	1.55	0.95	60	1.45	27	5	1.00	28°	7.08	15°	
			70	45	30	1.00	0.90	30	1.73	15	20	0.85	38°	2.08	22°	
Turba	--	--	--	--	--	104	0.04	800	--	--	3	1.00	25°	1.58	--	
						130	0.30	100	--	--	8	1.00	30°	0.58	--	
Fango	--	--	100	30	50	1.25	0.25	200	--	--	4	1.00	22°	2.08	--	
						250	0.60	50	--	--	15	0.90	38°	0.58	--	

NOTAS:

(2)  $\gamma = 0.1 \text{ kg/cm}^3$

Cuadro 4. Topología de suelos según el SUCS (Bañon y Bevia, 2000)

SÍMBOLO	Características generales		
GW GP GM GC	GRAVAS (>50% en tamiz #4 ASTM)	Limpias (Finos < 5%)	Bien graduadas Pobremente graduadas
SW SP SM SC		Con finos (Finos > 12%)	Componente limoso Componente arcilloso
ML MH	ARENAS (<50% en tamiz #4 ASTM)	Limpias (Finos < 5%)	Bien graduadas Pobremente graduadas
CL CH		Con finos (Finos > 12%)	Componente limoso Componente arcilloso
ML MH	LIMOS	Baja plasticidad (LL < 50)	
CL CH		Alta plasticidad (LL > 50)	
CL CH	ARCILLAS	Baja plasticidad (LL < 50)	
CL OH		Alta plasticidad (LL > 50)	
CL OH	SUELOS ORGÁNICOS	Baja plasticidad (LL < 50)	
Pt		Alta plasticidad (LL > 50)	
Pt	TURBA	Suelos altamente orgánicos	

Cuadro 5. Características de los suelos según el SUCS (Bañon y Bevia, 2000)

DIVISIONES PRINCIPALES	SÍMBOLO	COMPORTAMIENTO MECÁNICO	CAPACIDAD DE DRENAJE	Densidad óptima P.M.	CBR En %	
SUELOS DE GRANO GRUESO	Gravas	GW	Excelente	Excelente	2.00 - 2.24	60 - 80
		GP	Buena a excelente	Excelente	1.76 - 2.08	25 - 60
		GM { d u	Buena a excelente	Aceptable a mala	2.08 - 2.32	40 - 80
		GC	Buena	Mala a impermeable	1.92 - 2.24	10 - 40
	Arenas	SW	Buena	Excelente	1.76 - 2.08	10 - 40
		SP	Aceptable a buena	Excelente	1.60 - 1.92	10 - 25
		SM { d u	Aceptable a buena	Aceptable a mala	1.92 - 2.16	10 - 40
		SC	Aceptable	Mala a impermeable	1.68 - 2.08	10 - 20
SUELOS DE GRANO FINO	Limos y arcillas (L < 40)	ML	Mala a aceptable	Aceptable a mala	1.60 - 2.00	5 - 15
		CL	Mala a aceptable	Casi impermeable	1.60 - 2.00	5 - 15
		OL	Mala	Mala	1.44 - 1.76	4 - 8
	Limos y arcillas (L > 40)	MH	Mala	Aceptable a mala	1.28 - 1.60	4 - 8
		CH	Mala a aceptable	Casi impermeable	1.44 - 1.76	3 - 5
		OH	Mala a muy mala	Casi impermeable	1.28 - 1.60	3 - 5
SUELOS ORGÁNICOS	Pt	Inaceptable	Aceptable a mala	-	-	

Cuadro 6. Valoración de la capacidad portante de suelos en función del CBR (modificado de Lain y otros, 2005)

CBR	> 80	80 – 40	40 - 10	< 40
Capacidad portante del suelo	Muy buena	Buena	Media o regular	Mala

**Resultados de Laboratorio.** Los resultados de laboratorio de mecánica de suelos son los siguientes:

Calicata	:	P-1
% Gravas	:	66.23%
% Arenas	:	28.80%
% Finos	:	4.98%
Clasificación SUCS	:	GW
Clasificación AASHTO	:	A-1-0
Contenido de Humedad	:	2.8%
Límite Líquido	:	No presenta
Límite Plástico	:	No presenta
Índice Plástico	:	No presenta
Densidad Natural	:	2.122 gr/cm <sup>3</sup>
Nivel Freático	:	No presenta

**Parámetros Geotécnicos.** En forma preliminar se presentan los siguientes parámetros geotécnicos:

Ángulo de Fricción ( $\phi$ )	:	30° promedio
Cohesión (c)	:	0
Comportamiento Mecánico	:	Excelente
Capacidad de Drenaje	:	Excelente
CBR	:	60 – 80
Capacidad Portante del suelo	:	Buena

**Análisis de Cimentación.** Según la Norma NTE E.050 Suelos y Cimentación – Capítulo 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. Para la determinación de la carga al corte se han considerado los siguientes parámetros:

- Profundidad de cimentación : Df 1.00 m.
- Ancho de la Cimentación de Zapatas B : 1.00 m
- Factor de Seguridad : FS 3
- Obteniendo los siguientes resultados
- Capacidad Admisible : 1.93 Kg/cm<sup>2</sup>
- Asentamiento : 0.51 cm

**Interpretación Geotécnica.** Los materiales evaluados (GW) corresponden a Gravas bien gradadas color beige, ligeramente húmedo a seco. Se encuentran localizados en la parte superior de la terraza y presentan una potencia superior a 2.50 m., no presenta nivel freático.



Figura 3. Excavación Exploratoria P-1 en el Sector Vinto, los materiales granulares corresponden a Gravas bien gradadas de clasificación SUCS GW

Estos materiales son razonablemente estables, como terrenos de apoyo resultan ser excelentes, debido a su alta capacidad de carga superior a 1.93 Kg/cm<sup>2</sup>. Asimismo, presenta muy bajo riesgo de asentamientos, muy 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 1.93 Kg/cm<sup>2</sup>; considerando profundidades de desplante en 1.0 m se tienen asentamientos de 0.51 cm; no se evidencia asentamientos de 1" (2.54 cm).

**b. Sector Potao - Calicata 2 (P-2)**

Localizada cerca al centro poblado Potao hacia la margen izquierda del río Pativilca, con coordenadas UTM Este (X): 202,210 y Norte (Y): 8'816,470 y de 2.00 metros de profundidad. Los suelos están constituidos por Arenas limosas de clasificación SUCS SM, con presencia de grava y limo de baja plasticidad, ligeramente húmedo, densidad relativa compacta y muy baja plasticidad.

**Resultados de Laboratorio.** Los resultados de laboratorio de mecánica de suelos son los siguientes:

Calicata	:	P-2
% Gravas	:	37.79%
% Arenas	:	38.07%
% Finos	:	24.14%
Clasificación SUCS	:	SM
Clasificación AASHTO	:	A-2-4 (0)
Contenido de Humedad	:	2.0%
Límite Líquido	:	17%
Límite Plástico	:	14%
Índice Plástico	:	3%
Densidad Seca	:	2.132 gr/cm <sup>3</sup>
Nivel Freático	:	No presenta

**Parámetros Geotécnicos.** En forma preliminar se presentan los siguientes parámetros geotécnicos:

Ángulo de Fricción ( $\phi$ )	:	22° promedio
Cohesión (c)	:	1.00 promedio
Comportamiento Mecánico	:	Aceptable a bueno
Capacidad de Drenaje	:	Aceptable a mala
CBR	:	20 – 40
Capacidad Portante del suelo	:	Media o regular

**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.

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

- Profundidad de cimentación  $D_f$  1.00 m.
- Ancho de la Cimentación de Zapatas B1.00 m.
- Factor de Seguridad FS: 3
- Obteniendo los siguientes resultados:
- Capacidad Admisible 4.87 Kg/cm<sup>2</sup>
- Asentamiento 1.36 cm

**Interpretación Geotécnica.** Los materiales evaluados (SM) corresponden a Arenas Limosas color marrón claro, ligeramente húmedo. Se encuentran localizados en la parte superior de la terraza y presentan una potencia superior a 2.50 m., no presenta nivel freático.



Figura 4. Excavación Exploratoria P-2 en el Sector Potao, los materiales granulares corresponden a Arenas Limosas de clasificación SUCS SM

Estos materiales son razonablemente estables particularmente no conveniente para revestimientos, como terrenos de apoyo resultan ser buenos a medianos, debido a su capacidad de carga superior a 1.37 Kg/cm<sup>2</sup>. Asimismo, presenta bajo riesgo de asentamientos, bajo riesgo de deslizamientos de taludes y baja modificación de resistencia por cambios de humedad.

La capacidad portante calculada para estos materiales supera los 1.37 Kg/cm<sup>2</sup>; considerando profundidades de desplante en 1.0m., se tienen asentamientos de 0.35 cm; no se evidencia asentamientos de 1" (2.54 cm).

### **c. Sector Las Vegas - Calicata 3 (P-3)**

Localizada cerca al centro poblado Las Vegas hacia la margen derecha del río Pativilca, con coordenadas UTM Este (X): 215,586 y Norte (Y): 8'819,761 y de 2.00 metros de profundidad.

Los suelos están constituidos por Arenas Arcillosas y limosas de clasificación SUCS SC y SM, con finos de baja plasticidad, ligeramente húmedo, densidad relativa compacta y baja plasticidad.

**Resultados de Laboratorio** Los resultados de laboratorio de mecánica de suelos son los siguientes:

Calicata	:	P-3
% Gravas	:	25.13%
% Arenas	:	37.89%
% Finos	:	36.99%
Clasificación SUCS	:	SM-SC
Clasificación AASHTO	:	A-4 (0)
Contenido de Humedad	:	3.9%
Límite Líquido	:	20%
Límite Plástico	:	15%
Índice Plástico	:	5%
Densidad Seca	:	1.992 gr/cm <sup>3</sup>
Nivel Freático	:	No presenta

**Parámetros Geotécnicos** En forma preliminar se presentan los siguientes parámetros geotécnicos:

Ángulo de Fricción ( $\phi$ )	:	20° promedio
Cohesión (c)	:	1.00
Comportamiento Mecánico	:	Aceptable
Capacidad de Drenaje	:	Mala a impermeable
CBR	:	10 – 20

Capacidad Portante del suelo : Media o regular

**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.

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

- Profundidad de cimentación : Df 1.00 m.
- Ancho de la Cimentación de Zapatas : B 1.00 m.
- Factor de Seguridad : FS 3
- Obteniendo los siguientes resultados
- Capacidad Admisible : 1.10 Kg/cm<sup>2</sup>
- Asentamiento : 0.27 cm

**Interpretación Geotécnica** Los materiales evaluados (SM) corresponden a Arenas Limosas ligeramente arcillosa con presencia de grava de forma subredondeada a subangular, con finos de baja plasticidad, color marrón claro, suelo ligeramente húmedo. Se encuentran localizados en la parte superior de la terraza y presentan una potencia superior a 2.50 m., no presenta nivel freático.

Estos materiales son medianamente estables particularmente no conveniente para revestimientos, como terrenos de apoyo resultan ser apoyos buenos a pobres, debido a su capacidad de carga superior a 1.10 Kg/cm<sup>2</sup>. Asimismo, presenta bajo riesgo de asentamientos, bajo a medio riesgo de deslizamientos de taludes y baja modificación de resistencia por cambios de humedad.



Figura 5. Excavación Exploratoria P-3 en el Sector Las Vegas, los materiales granulares corresponden a Arenas Limosas de clasificación SUCS SM - SC

La capacidad portante calculada para estos materiales supera los 1.10 Kg/cm<sup>2</sup>; considerando profundidades de desplante en 1.0 m se tienen asentamientos de 0.27 cm; no se evidencia asentamientos de 1" (2.54 cm).

#### **d. Sector Las Alpas - Calicata 4 (P-4)**

Localizada cerca al centro poblado Las Alpas hacia la margen derecha, con coordenadas UTM Este (X): 224,378y Norte (Y): 8'822,867 y de 2.00 metros de profundidad. Los suelos están constituidos por gravas pobremente gradadas de clasificación SUCS GP, con finos no plásticos, ligeramente húmedo a seco, densidad relativa compacta.

**Resultados de Laboratorio** Los resultados de laboratorio de mecánica de suelos son los siguientes:

Calicata	:	P-4
% Gravas	:	61.23%
% Arenas	:	33.83%
% Finos	:	4.94%
Clasificación SUCS	:	GP
Clasificación AASHTO	:	A-1-a (0)
Contenido de Humedad	:	1.7%
Límite Líquido	:	N.P

Límite Plástico	:	N.P
Índice Plástico	:	N.P
Densidad Seca	:	2.218 gr/cm <sup>3</sup>
Nivel Freático	:	No presenta

**Parámetros Geotécnicos** En forma preliminar se presentan los siguientes parámetros geotécnicos:

Ángulo de Fricción ( $\phi$ )	:	32° promedio
Cohesión (c)	:	0.00
Comportamiento Mecánico	:	Bueno a excelente
Capacidad de Drenaje	:	Excelente
CBR	:	25-60
Capacidad Portante del suelo	:	Media o regular

**Análisis de Cimentación** Según la Norma NTE E.050 Suelos y Cimentación – Capítulo 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. Para la determinación de la carga al corte se han considerado los siguientes parámetros:

- Profundidad de cimentación : Df 1.00 m.
- Ancho de la Cimentación de Zapatas : B 1.00 m.
- Factor de Seguridad : FS 3
- Obteniendo los siguientes resultados
- Capacidad Admisible : 2.82 Kg/cm<sup>2</sup>
- Asentamiento : 0.78 cm

**Interpretación Geotécnica** Los materiales evaluados (GP) corresponden a gravas mal gradadas de forma redondeada a subredondeada, suelo ligeramente húmedo a seco. Estos materiales son razonablemente estables, como terrenos de apoyo resultan ser buenos a excelentes, debido a su capacidad de carga superior a 2.82 Kg/cm<sup>2</sup>. Asimismo, presenta muy bajo riesgo de asentamientos, bajo riesgo de deslizamientos de taludes y muy baja modificación de resistencia por cambios de humedad.



Figura 6. Excavación Exploratoria P-4 en el Sector Las Alpas, los materiales granulares corresponden a Gravas mal gradadas de clasificación SUCS GP

La capacidad portante calculada para estos materiales supera los 2.82 Kg/cm<sup>2</sup>; considerando profundidades de desplante en 1.0 m. se tienen asentamientos de 0.78 cm; no se evidencia asentamientos de 1" (2.54 cm).

**e. Sector San Telmo - Calicata 5 (P-5)**

Localizada cerca al centro poblado San Telmo hacia la margen derecha del río Pativilca, con coordenadas UTM Este (X): 232,223 y Norte (Y): 8'824,119, la excavación exploratoria se realizó hasta 1.50 m debido a la presencia de bolonería de diámetro aproximado 1.00 metro. Los suelos están constituidos por Arenas pobremente gradadas de clasificación SUCS SP, con finos no plásticos, ligeramente húmeda a seca, densidad relativa compacta a muy compacta.

**Resultados de Laboratorio** Los resultados de laboratorio de mecánica de suelos son los siguientes:

Calicata	:	P-5
% Gravas	:	46.63%
% Arenas	:	49.73%
% Finos	:	3.65%

Clasificación SUCS	:	SP
Clasificación AASHTO	:	A-1-a (0)
Contenido de Humedad	:	1.4%
Límite Líquido	:	N.P
Límite Plástico	:	N.P
Índice Plástico	:	N.P
Densidad Seca	:	2.169 gr/cm <sup>3</sup>
Nivel Freático	:	No presenta

**Parámetros Geotécnicos** Las características geotécnicas y propiedades físico – mecánicas de los suelos se han evaluado en base a las investigaciones y ensayos ejecutados en el área así como de información técnica existente, en forma preliminar se presentan los siguientes parámetros geotécnicos:

Ángulo de Fricción ( $\phi$ )	:	32° promedio
Cohesión (c)	:	0
Comportamiento Mecánico	:	Aceptable a bueno
Capacidad de Drenaje	:	Excelente
CBR	:	10-25
Capacidad Portante del suelo	:	Media o regular

**Análisis de Cimentación** Según la Norma NTE E.050 Suelos y Cimentación – Capítulo 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. Para la determinación de la carga al corte se han considerado los siguientes parámetros:

- Profundidad de cimentación : Df 1.00 m.
- Ancho de la Cimentación de Zapatas : B 1.00 m.
- Factor de Seguridad : FS 3
- Obteniendo los siguientes resultados
- Capacidad Admisible : 2.14 Kg/cm<sup>2</sup>
- Asentamiento : 0.57 cm

**Interpretación Geotécnica** Los materiales evaluados (SP) corresponden a arena gruesa mal graduada, con presencia de grava de forma subangular a subredondeada,

suelo ligeramente húmedo a seco. Se encuentran localizados en la parte superior de la terraza y presentan una potencia superior a 2.50 m., no presenta nivel freático.



Figura 7. Excavación Exploratoria P-5 en el Sector San Telmo, los materiales granulares corresponden a Arenas mal gradadas de clasificación SUCS SP

Estos materiales son razonablemente estables, como terrenos de apoyo resultan ser buenos a medianos, debido a su capacidad de carga superior a  $2.14 \text{ Kg/cm}^2$ . Asimismo, presenta bajo riesgo de asentamientos, bajo riesgo de deslizamientos de taludes y baja modificación de resistencia por cambios de humedad.

La capacidad portante calculada para estos materiales supera los  $2.14 \text{ Kg/cm}^2$ ; considerando profundidades de desplante en 1.0 m se tienen asentamientos de 0.56 cm; no se evidencia asentamientos de 1" (2.54 cm).

#### f. Sector Huaylillas - Calicata 6 (P-6)

Localizada cerca al centro poblado Huaylillas, con coordenadas UTM Este (X): 233,755 y Norte (Y): 8'825,527 y de 2.00 metros de profundidad. Los suelos están constituidos por grava limosa ligeramente arcillosa de clasificación SUCS GM-GC, con finos de mediana a baja plasticidad, ligeramente húmedo a húmedo, densidad relativa compacta a muy compacta.

**Resultados de Laboratorio** Los resultados de laboratorio de mecánica de suelos son los siguientes:

Calicata : P-6

% Gravas	:	37.67%
% Arenas	:	34.28%
% Finos	:	28.05%
Clasificación SUCS	:	GM-GC
Clasificación AASHTO	:	A-2-4 (0)
Contenido de Humedad	:	3.8%
Límite Líquido	:	19%
Límite Plástico	:	14%
Índice Plástico	:	5%
Densidad Seca	:	2.150 gr/cm <sup>3</sup>
Nivel Freático	:	No presenta

**Parámetros Geotécnicos** Las características geotécnicas y propiedades físico – mecánicas de los suelos se han evaluado en base a las investigaciones y ensayos ejecutados en el área así como de información técnica existente, en forma preliminar se presentan los siguientes parámetros geotécnicos:

Ángulo de Fricción ( $\phi$ )	:	30° promedio
Cohesión (c)	:	0
Comportamiento Mecánico	:	Bueno
Capacidad de Drenaje	:	Mala a impermeable
CBR	:	20-40
Capacidad Portante del suelo	:	Media o regular

**Análisis de Cimentación** Según la Norma NTE E.050 Suelos y Cimentación – Capítulo 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. Para la determinación de la carga al corte se han considerado los siguientes parámetros:

- Profundidad de cimentación : Df 1.00 m.
- Ancho de la Cimentación de Zapatas : B 1.00 m.
- Factor de Seguridad : FS 3
- Obteniendo los siguientes resultados:
- Capacidad Admisible : 2.12 Kg/cm<sup>2</sup>
- Asentamiento : 0.57 cm

**Interpretación Geotécnica** Los materiales evaluados (GM-GC) corresponden a grava limosa, ligeramente arcillosa, con presencia de grava de forma subangular a angular, suelo ligeramente húmedo a húmedo, color marrón amarillento.



Figura 8. Excavación Exploratoria P-6 en el Sector San Telmo, los materiales granulares corresponden a Gravas limosas y arcillosas de clasificación SUCS GM-GC

Estos materiales son razonablemente estables, como terrenos de apoyo resultan ser buenos a medianos, debido a su capacidad de carga superior a  $2.12 \text{ Kg/cm}^2$ . Asimismo, presenta bajo riesgo de asentamientos, bajo riesgo de deslizamientos de taludes y baja modificación de resistencia por cambios de humedad.

La capacidad portante calculada para estos materiales supera los  $2.12 \text{ Kg/cm}^2$ ; considerando profundidades de desplante en 1.0 m se tienen asentamientos de 0.57 cm; no se evidencia asentamientos de 1" (2.54 cm).

#### **g. Sector Tres Cruces- Calicata 7 (P-7)**

Localizada cerca al centro poblado Tres Cruces hacia la margen derecha, con coordenadas UTM Este (X): 234,983 y Norte (Y): 8'831,464 y de 2.00 metros de profundidad. Los suelos están constituidos por grava arcillosa de clasificación SUCS GC, con finos de mediana a baja plasticidad, ligeramente húmedo a húmedo, densidad relativa compacta a muy compacta.

**Resultados de Laboratorio** Los resultados de laboratorio de mecánica de suelos son los siguientes:

Calicata	:	P-7
% Gravas	:	40.89%
% Arenas	:	39.42%
% Finos	:	19.68%
Clasificación SUCS	:	GC
Clasificación AASHTO	:	A-2-4 (0)
Contenido de Humedad	:	3.7%
Límite Líquido	:	24%
Límite Plástico	:	16%
Índice Plástico	:	8%
Densidad Seca	:	2.075 gr/cm <sup>3</sup>
Nivel Freático	:	No presenta

**Parámetros Geotécnicos** En forma preliminar se presentan los siguientes parámetros geotécnicos:

Ángulo de Fricción ( $\phi$ )	:	30° promedio
Cohesión (c)	:	0
Comportamiento Mecánico	:	Bueno
Capacidad de Drenaje	:	Mala a impermeable
CBR	:	20-40
Capacidad Portante del suelo	:	Media o regular

**Análisis de Cimentación** Según la Norma NTE E.050 Suelos y Cimentación – Capítulo 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. 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
- Obteniendo los siguientes resultados:
- Capacidad Admisible      2.05 Kg/cm<sup>2</sup>

- Asentamiento 0.55 cm

**Interpretación Geotécnica** Los materiales evaluados (GC) corresponden a grava arcillosa, ligeramente arcillosa, con presencia de grava de forma subangular a angular, suelo ligeramente húmedo a húmedo, color marrón amarillento.

Estos materiales son medianamente estables, como terrenos de apoyo resultan ser buenos apoyos, debido a su capacidad de carga superior a 2.05 Kg/cm<sup>2</sup>. Asimismo, presenta bajo riesgo de asentamientos, bajo riesgo de deslizamientos de taludes y baja modificación de resistencia por cambios de humedad.

La capacidad portante calculada para estos materiales supera los 2.05 Kg/cm<sup>2</sup>; considerando profundidades de desplante en 1.0m. se tienen asentamientos de 0.55 cm; no se evidencia asentamientos de 1" (2.54 cm).



Figura 9. Excavación Exploratoria P-7 en el Sector Tres Cruces, los materiales granulares corresponden a Gravas arcillosas de clasificación SUCS GC

#### **h. Sector Vilcapampa- Calicata 8 (P-8)**

Localizada cerca al centro poblado Vilcapampa, con coordenadas UTM Este (X): 241,029 y Norte (Y): 8'825,991 y de 2.00 metros de profundidad. Los suelos están constituidos por Gravas bien gradadas de clasificación SUCS GW, con finos no plásticos, ligeramente húmedo a seco, densidad relativa compacta.

**Resultados de Laboratorio** Los resultados de laboratorio de mecánica de suelos son los siguientes:

Calicata	:	P-8
% Gravas	:	60.80%
% Arenas	:	36.86%
% Finos	:	2.34%
Clasificación SUCS	:	GW
Clasificación AASHTO	:	A-1-a (0)
Contenido de Humedad	:	1.8%
Límite Líquido	:	N.P
Límite Plástico	:	N.P
Índice Plástico	:	N.P
Densidad Seca	:	2.131 gr/cm <sup>3</sup>
Nivel Freático	:	No presenta

**Parámetros Geotécnicos** En forma preliminar se presentan los siguientes parámetros geotécnicos:

Ángulo de Fricción ( $\phi$ )	:	30° promedio
Cohesión (c)	:	0
Comportamiento Mecánico	:	Excelente
Capacidad de Drenaje	:	Excelente
CBR	:	60-80
Capacidad Portante del suelo	:	Buena

**Análisis de Cimentación** Según la Norma NTE E.050 Suelos y Cimentación – Capítulo 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. Para la determinación de la carga al corte se han considerado los siguientes parámetros:

- Profundidad de cimentación : Df 1.00 m.
- Ancho de la Cimentación de Zapatas : B 1.00 m.
- Factor de Seguridad : FS 3
- Obteniendo los siguientes resultados
- Capacidad Admisible : 2.10 Kg/cm<sup>2</sup>
- Asentamiento : 0.56 cm

**Interpretación Geotécnica.** Los materiales evaluados (GW) corresponden a gravas bien gradadas, con presencia de grava de forma subangular a subredondeada, suelo ligeramente húmedo seco, color marrón claro.

Estos materiales son muy estables, como terrenos de apoyo resultan ser excelentes, debido a su capacidad de carga superior a  $2.10 \text{ Kg/cm}^2$ . Asimismo, presenta bajo riesgo de asentamientos, bajo riesgo de deslizamientos de taludes y muy baja modificación de resistencia por cambios de humedad.



Figura 10. Excavación Exploratoria P-8 en el Sector Tres Cruces, los materiales granulares corresponden a Gravas arcillosas de clasificación SUCS GC

La capacidad portante calculada para estos materiales supera los  $2.10 \text{ Kg/cm}^2$ ; considerando profundidades de desplante en  $1.0 \text{ m}$  se tienen asentamientos de  $0.56 \text{ cm}$ ; no se evidencia asentamientos de  $1''$  ( $2.54 \text{ cm}$ ).

#### **i. Sector Torrecilla Alta- Calicata 9 (P-9)**

Localizada cerca al centro poblado Torrecilla Alta, con coordenadas UTM Este (X):  $211,410$  y Norte (Y):  $8'820,209$  y de  $2.00$  metros de profundidad. Los suelos están constituidos por Gravas limosas de clasificación SUCS GM, con finos de baja plasticidad, ligeramente húmedo a húmedo, densidad relativa compacta a muy compacta.

**Resultados de Laboratorio** Los resultados de laboratorio de mecánica de suelos son los siguientes:

Calicata	:	P-9
% Gravas	:	56.01%
% Arenas	:	26.69%
% Finos	:	17.30%
Clasificación SUCS	:	GM
Clasificación AASHTO	:	A-1-b (0)
Contenido de Humedad	:	4.4%
Límite Líquido	:	18%
Límite Plástico	:	15%
Índice Plástico	:	3%
Densidad Seca	:	2.193 gr/cm <sup>3</sup>
Nivel Freático	:	No presenta

**Parámetros Geotécnicos** Las características geotécnicas y propiedades físico – mecánicas de los suelos se han evaluado en base a las investigaciones y ensayos ejecutados en el área así como de información técnica existente, en forma preliminar se presentan los siguientes parámetros geotécnicos:

Ángulo de Fricción ( $\phi$ )	:	30° promedio
Cohesión (c)	:	0
Comportamiento Mecánico	:	Bueno
Capacidad de Drenaje	:	Aceptable a Mala
CBR	:	40 - 80
Capacidad Portante del suelo	:	Buena

**Análisis de Cimentación** Según la Norma NTE E.050 Suelos y Cimentación – Capítulo 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. Para la determinación de la carga al corte se han considerado los siguientes parámetros:

- o Profundidad de cimentación Df 1.00 m.
- o Ancho de la Cimentación de Zapatas B 1.00 m.
- o Factor de Seguridad FS 3
- o Obteniendo los siguientes resultados:

- Capacidad Admisible 2.16 Kg/cm<sup>2</sup>
- Asentamiento 0.58 cm

**Interpretación Geotécnica** Los materiales evaluados (GM) corresponden a grava limosa, mezcla de grava, arena y arcilla, ligeramente arcillosa, con presencia de grava de forma subangular a angular, suelo ligeramente húmedo a húmedo, color marrón claro.



Figura 11. Excavación Exploratoria P-9 en el Sector Torrecilla Alta, los materiales granulares corresponden a Gravas arcillosas de clasificación SUCS GM, se observa el ensayo de densidad in situ

Estos materiales son razonablemente estables particularmente no conveniente para revestimientos, como terrenos de apoyo resultan ser buenos, debido a su capacidad de carga superior a 2.16 Kg/cm<sup>2</sup>. Asimismo, presenta bajo riesgo de asentamientos, bajo riesgo de deslizamientos de taludes y baja modificación de resistencia por cambios de humedad.

La capacidad portante calculada para estos materiales supera los 2.16 Kg/cm<sup>2</sup>; considerando profundidades de desplante en 1.0 m. se tienen asentamientos de 0.58 cm; no se evidencia asentamientos de 1" (2.54 cm).

**j. Sector Cochas - Calicata 10 (P-10)**

Localizada cerca al centro poblado Cochas, con coordenadas UTM Este (X): 220,944 y Norte (Y): 8'822,989, el muestreo y el ensayo de densidad in situ fueron realizados en

superficie, por presentar materiales de bolonería de diámetros en el rango de 0.20 a 1.00 m., lo que no permitió realizar la excavación exploratoria.

**Resultados de Laboratorio** Los resultados de laboratorio de mecánica de suelos son los siguientes:

Calicata	:	P-10
% Gravas	:	51.25%
% Arenas	:	46.62%
% Finos	:	2.13%
Clasificación SUCS	:	GP
Clasificación AASHTO	:	A-1-a (0)
Contenido de Humedad	:	1.8%
Límite Líquido	:	No presenta
Límite Plástico	:	No presenta
Índice Plástico	:	No presenta
Densidad Seca	:	2.162 gr/cm <sup>3</sup>
Nivel Freático	:	No presenta

**Parámetros Geotécnicos** En forma preliminar se presentan los siguientes parámetros geotécnicos:

Ángulo de Fricción ( $\phi$ )	:	30° promedio
Cohesión (c)	:	0
Comportamiento Mecánico	:	Bueno a Excelente
Capacidad de Drenaje	:	Excelente
CBR	:	60 - 80
Capacidad Portante del suelo	:	Buena

**Análisis de Cimentación** Según la Norma NTE E.050 Suelos y Cimentación – Capítulo 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. Para la determinación de la carga al corte se han considerado los siguientes parámetros:

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

- Obteniendo los siguientes resultados:
- Capacidad Admisible : 2.13 Kg/cm<sup>2</sup>
- Asentamiento : 0.57 cm

**Interpretación Geotécnica** Los materiales evaluados (GP) corresponden a Gravas pobremente gradadas. Estos materiales son razonablemente estables, como terrenos de apoyo resultan ser buenos a excelentes, debido a su capacidad de carga superior a 2.13 Kg/cm<sup>2</sup>. Asimismo, presenta muy bajo riesgo de asentamientos, bajo riesgo de deslizamientos de taludes y muy baja modificación de resistencia por cambios de humedad.



Figura 12. Excavación Exploratoria P-10 en el Sector Cochas, los materiales granulares corresponden a Gravas arcillosas de clasificación SUCS GP

La capacidad portante calculada para estos materiales supera los 2.13 Kg/cm<sup>2</sup>; considerando profundidades de desplante en 1.0 m. se tienen asentamientos de 0.57 cm; no se evidencia asentamientos de 1" (2.54 cm).

### 3.7.2 Condiciones Geotécnicas

En base a las investigaciones geotécnicas y ensayos de laboratorio realizados se tiene que en el área de estudio, predominan los suelos granulares tipo: Gravas y Arenas mal gradadas (GP y SP), Gravas y Arenas limosas (GW y SW) y Gravas y Arenas Arcillosas (GC y SC), con capacidad portante en el rango de 1.10 a 2.82 Kg/m<sup>2</sup>.

En todos los sectores, los asentamientos calculados no superan 1.0 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: Cochas (Material de agregados) y Vinto (Material de enrocado) 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).

### **3.7.3 Canteras de enrocado**

Para la evaluación de las canteras de enrocado se han tenido en cuenta los resultados de laboratorio de mecánica de suelos y rocas, y Tablas Generalizadas de Clasificación de rocas. Se han prospectado y/o verificado las siguientes posibles fuentes de materiales de construcción:

#### **Cantera de Agregados Cochas – CRX1**

La cantera de agregados se encuentra ubicada cerca al centro poblado Cochas, en la margen derecha del río Pativilca. Esta cantera está conformada por Gravas mal gradadas (GP) con cantos rodados y bolonería de formas subredondeados a redondeados, con matriz arenosa.



Figura 13. Materiales de bolonería en la cantera Cochas, de diámetros que superan 1.00 m., de formas subredondeadas a redondeadas

La disponibilidad de material se estima en 2,000 a 2,500 m<sup>3</sup>, con un rendimiento de cantera del orden de 80%.

Coordenadas X= 220,944 Y=8 822,989

Resultados de Laboratorio

Clasificación SUCS	GP (Gravas mal gradadas)
Clasificación AASHTO	A-1-a (0)
% Grava	51.25%
% Arena	46.62%
% Finos	2.13%
Humedad Natural	1.8%
Abrasión	18.40%
Absorción	0.32%
Peso Específico	2.72 gr/cm <sup>3</sup>
Porosidad	0.32%
Disponibilidad Estimada	2,000 – 2,500 m <sup>3</sup>
Potencia Estimada	2.50 metros
Rendimiento de Cantera	80%
Método de Explotación	Con cargador Frontal 70%

**Observaciones** De acuerdo a las propiedades físicas mecánicas, los materiales prospectados reúnen condiciones favorables para ser empleados como canteras de agregados.

### **Cantera de Enrocado Vinto – CRX-2**

Litológicamente consiste de rocas ígneas intrusivas graníticas en bancos superiores a 5.0 metros. Esta cantera está conformada por rocas tipo granodioritas y tonalitas de dureza media a alta, con fracturamiento leve y alteración leve.



Figura 14. Afloramiento rocoso de la cantera Vinto, de diámetros que superan 1.00 m., la explotación deberá realizarse mediante voladura controlada

La disponibilidad del material se estima en 4,000 a 5,000 m<sup>3</sup>, con un rendimiento de cantera del orden de 80%.

#### Resultados de Laboratorio

Peso específico	2.72 gr/cm <sup>3</sup>
Absorción	0.32%
Porosidad	0.32%
Abrasión	17.76%
Disponibilidad Estimada	4,000 – 5,000 m <sup>3</sup>
Rendimiento de Cantera	80%



En base al Catastro Minero (INGEMMET), en la Cuenca del río Pativilca existen 687 derechos mineros que ocupan 338,340.50 hectáreas de la cuenca; de los cuales 533 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 Pativilca corresponden a: inundación fluvial, erosión fluvial, flujos de detritos, caídas de rocas y derrumbes; siendo los distritos de: Pativilca, Cochabambas y Manas, los que han tenido una mayor ocurrencia de peligros geológicos.

Las investigaciones geotécnicas tuvieron lugar en los sectores de Vinto, Potao, Las Vegas, Las Alpas, San Telmo, Huayllillas, Tres Cruces, Vilcapampa, Torrecilla Alta, Cochabambas (Cantera Agregados) y Vinto (Cantera de Enrocado).

En base, a los resultados de laboratorio de mecánica de suelos se determinaron materiales granulares de clasificación SUCS: SW, SM, SC, GW, GP, GM y GC; de capacidad portante 1.10 a 2.82 Kg/m<sup>2</sup> y asentamientos que no superan los 1.00 cm. En la mayoría de los 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 Cochabambas y Vinto; constituidas por gravas mal gradadas de clasificación SUCS GP y rocas intrusivas graníticas caracterizadas por su alta dureza, resistencia a la meteorización, elevada densidad, diámetros superiores a 1.00 metro, disponibilidad superior a 2,000 m<sup>3</sup> y rendimiento de cantera por encima de los 80%, las mismas que reúnen las especificaciones requeridas para su utilización en la construcción de obras de defensas ribereñas.

### **3.8.3 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

<b>CAPITULO IV .....</b>	<b>90</b>
<b>CAUDALES MÁXIMOS-EVENTOS EXTREMOS .....</b>	<b>90</b>
<b>4.1    EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS EN LA CUENCA DEL RÍO PATIVILCA.....</b>	<b>90</b>
<b>4.2    PLANTEAMIENTO HIDROLÓGICO.....</b>	<b>91</b>
<i>4.2.2 Método estadístico .....</i>	<i>92</i>
<i>4.2.2 Método Fuller.....</i>	<i>95</i>
<i>4.2.3 Método Envolvente de Creager.....</i>	<i>96</i>
<b>4.3    RESULTADOS.....</b>	<b>97</b>
<b>4.4    CONCLUSIONES.....</b>	<b>99</b>

## Listado de cuadros

CUADRO 1. RESUMEN DEL PLANTEAMIENTO HIDROLÓGICO .....	92
CUADRO 2. CAUDALES MÁXIMOS DIARIOS .....	95
CUADRO 3. VALORES DE LOS COEFICIENTES SEGÚN REGIÓN DEL PERÚ .....	96
CUADRO 4. CAUDALES MÁXIMOS PARA VARIOS PERIODOS DE RETORNO, MEDIANTE FUNCIONES PROBABILÍSTICAS.....	98
CUADRO 5. CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS DE LA EC1.....	99
CUADRO 6. CAUDALES INSTANTÁNEOS EN LA EC2 .....	99

## Listado de figuras

FIGURA 1. UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN DE CONTROL Y ÁREAS DE INFLUENCIA.....	92
FIGURA 2. MAPA DE REGIONALIZACIÓN DE LAS AVENIDAS DEL PERÚ .....	97
FIGURA 3. GAMMA 3 PARÁMETROS MEJOR AJUSTE, MÉTODO GRÁFICO.....	98

## CAPITULO IV

### CAUDALES MÁXIMOS-EVENTOS EXTREMOS

Un evento climático extremo, son fenómenos meteorológicos normalmente raros que están por encima del percentil 90<sup>o</sup> y más bajo que el percentil 10<sup>o</sup> 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)<sup>1</sup>.

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 principalmente<sup>2</sup>.

#### 4.1 Eventos climáticos extremos en la cuenca del río Pativilca

En marzo del 2014 las fuertes precipitaciones han ocasionado desbordes afectando 60 hectáreas de cultivos de maíz, camote y cebolla roja de las localidades de Simón Bolívar, Providencia, Las Huertas y Araya Chica y una bocatoma. En el año 2013, de acuerdo al reporte de INDECI, las inundaciones del río Pativilca ha dejado 2 hectáreas de suelo agrícola por erosión, inundación de 116 Ha. Afectación de 700 Ha de cultivos por falta de agua por colapso de bocatomas y aproximadamente 1.5 kilómetros de canal de riego afectados. En la provincia de Ocos, desbordes del río Pativilca ha dejado 5 desaparecidos, 100 familias damnificadas del centro poblado de Mayus, distrito de Carhuapampa. En

---

<sup>1</sup> IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)

<sup>2</sup> Prevención ante eventos climáticos extremos en el Perú, T. Alfaro

febrero de 2012, las crecidas del río Pativilca han ocasionado el colapso de la bocatoma del sector Araya Grande, poniendo en riesgo de quedar sin riego 562 Ha de cultivos. Asimismo, las inundaciones han afectada entre 50 a 80 Ha de cultivos de los sectores de Vinto y Araya Grande.

#### **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 confluencia con el río Huanchay-Ocros, los caudales se calcularán en la EC1, haciendo uso del método Estadístico. Para ello se contó con un registro histórico de caudales máximos diarios de 52 años (1960-2011) de la estación Las Minas, administrada por el SENAMHI. Se ha tomado en cuenta los caudales del Fenómeno El Niño.
- c.** En la parte media y alta de la cuenca, identificados por las estaciones de control EC2, EC3, EC4, EC5, EC6 y EC7, los caudales se calcularán empleando el método de la Curva Envolvente de Creager. Previamente los coeficientes adimensionales  $C_1$  y  $C_2$ , se calibrarán a partir de los caudales de la EC1.
- d.** Los caudales máximos instantáneos se calcularán por el método de Fuller.
- e.** Se ha considerado como área húmeda productora de escorrentía el 70% del área total (área húmeda: 3,204 Km<sup>2</sup>). Se considera como límite la cuenca húmeda y seca, la altitud de 1500 m.s.n.m. y la isoyeta 200 mm.
- f.** La longitud de cauce para el escurrimiento máximo es el 70% de la longitud total (126 Km).
- g.** La pendiente del cauce en el valle es 2.95%.
- h.** El coeficiente de escorrentía depende de la permeabilidad de la superficie, pendiente, encharcamiento, condiciones de humedad del suelo, vegetación, principalmente

Cuadro 1. Resumen del planteamiento hidrológico

Estación de control (EC)	Método	Descripción	Referencia
EC1	Estadístico	Empleo de las distribuciones probabilísticas	Confluencia con el río Huanchay-Ocros
EC2	Curva Envolvente de Creager	Coefficientes adimensionales se obtienen de la EC1	Confluencia con el río Gorgor
EC3	Curva Envolvente de Creager	Coefficientes adimensionales se obtienen de la EC2	Confluencia con el río Rapay
EC4	Curva Envolvente de Creager	Coefficientes adimensionales se obtienen de la EC3	Confluencia con la Qda. Yanayaco-Yaroc
EC5	Curva Envolvente de Creager	Coefficientes adimensionales se obtienen de la EC4	Confluencia con el río Quero
EC6	Curva Envolvente de Creager	Coefficientes adimensionales se obtienen de la EC5	Huaman Hueque, distrito de Aquia
EC7	Curva Envolvente de Creager	Coefficientes adimensionales se obtienen de la EC6	Huiscash, C. P. Pachapaque

En la figura 1, se muestra la ubicación de las estaciones de control, tomando en cuenta la confluencia con los tributarios.

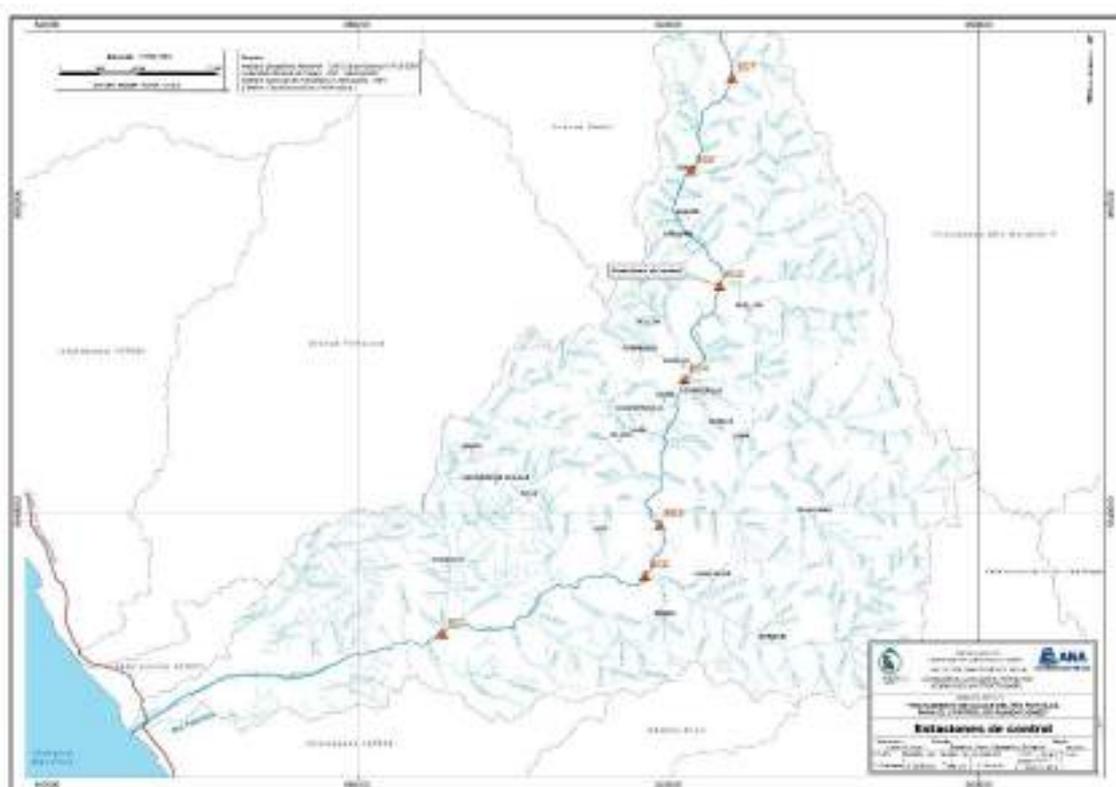


Figura 1. Ubicación de la estación de control y áreas de influencia

#### 4.2.2 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,  $\mu_x$ , desviación estándar  $\sigma_x$ . 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  $\mu_y$  y parámetro de forma  $\sigma_y$

**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  $\mu_y$  y parámetro de forma  $\sigma_y^2$ .

**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  $\gamma$ , parámetro de escala  $\beta$

**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.

Elas 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  $\alpha$  y parámetro de posición  $\beta$

**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 usado la data histórica de caudales medios diarios, disponible en la

página de la Autoridad Nacional del Agua.

<http://www.ana.gob.pe:8080/snirh2/consHidrometria.aspx>.

La información histórica corresponde a la estación Las Minas, periodo de 1960 a 2011, un total de 52 años (cuadro 2).

Cuadro 2. Caudales máximos diarios

Año	Qmax	Año	Qmax
1960	379.5	1986	184.0
1961	406.3	1987	350.0
1962	413.3	1988	350.0
1963	200.9	1989	310.1
1964	142.7	1990	85.0
1965	204.7	1991	180.0
1966	152.0	1992	100.0
1967	312.7	1993	190.0
1968	118.8	1994	150.0
1969	169.9	1995	120.0
1970	298.7	1996	115.0
1971	238.7	1997	115.0
1972	323.5	1998	207.0
1973	219.5	1999	175.0
1974	258.8	2000	193.0
1975	159.0	2001	200.7
1976	149.8	2002	161.7
1977	196.1	2003	134.0
1978	185.7	2004	101.5
1979	180.0	2005	69.3
1980	185.0	2006	135.3
1981	425.0	2007	121.8
1982	280.0	2008	107.9
1983	320.0	2009	148.3
1984	480.0	2010	94.8
1985	135.0	2011	131.5

#### 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<sup>2</sup>).

### 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

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

Donde,

C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, m y n son coeficientes adimensionales para diferentes regiones del Perú.

Q<sub>max</sub>, 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 4.

Cuadro 3. Valores de los coeficientes según región del Perú

Nº	Región	Cuencas
1	Costa Norte (Frontero)	Tumbes a Piura
2	Costa Norte	Cajamarca a Tarma
3	Sierra Norte	Alto Huancabamba
4	Costa Central	Ica a Arequipa
5	Costa Sur	Quilca a Cuzco
	Tierras	Tierras
6	Sierra Central Sur	Waman, Apurimac y Urubamba
7	Selva	Ucayali, Tarma, Huancabamba, Madre de Dios y Amazonas

Región	C1	C2	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 EC1, (desde el litoral hacia la confluencia con el río Huanchay-Ocros), se muestra en la figura 3 y cuadro 4.

En la figura 3 se observa que la función Log Normal 3 Parámetros, tiene el mejor ajuste, respecto al comportamiento de la data histórica y la prueba estadística es baja.

En el cuadro 4, se indica los caudales máximos diarios para varios periodos de retorno, calculados por 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	Gamman 2 parámetros	Gamman 3 parámetros	Log-Pearson tipo III	Gumbel	Log Gumbel
2.00	0.500	207.1	186.3	186.3	193.2	190.5		190.7	172.8
5.0	0.200	291.0	274.3	273.2	278.9	282.5	272.8	278.8	259.4
10.0	0.100	335.0	335.8	334.0	332.2	340.8	338.9	337.2	339.3
25.0	0.040	381.8	416.6	413.7	395.7	411.1	430.1	411.0	476.6
50.0	0.020	412.0	478.9	475.1	440.5	461.1	503.6	465.7	613.2
75.0	0.013	428.3	516.0	511.7	465.8	489.4	548.7	497.6	709.9
100.0	0.010	439.3	542.8	538.0	483.4	509.1	581.8	520.1	787.4
Estadístico de prueba		0.1794	0.0888	0.0875	0.1194	0.11216	0.0795	0.1091	0.0868

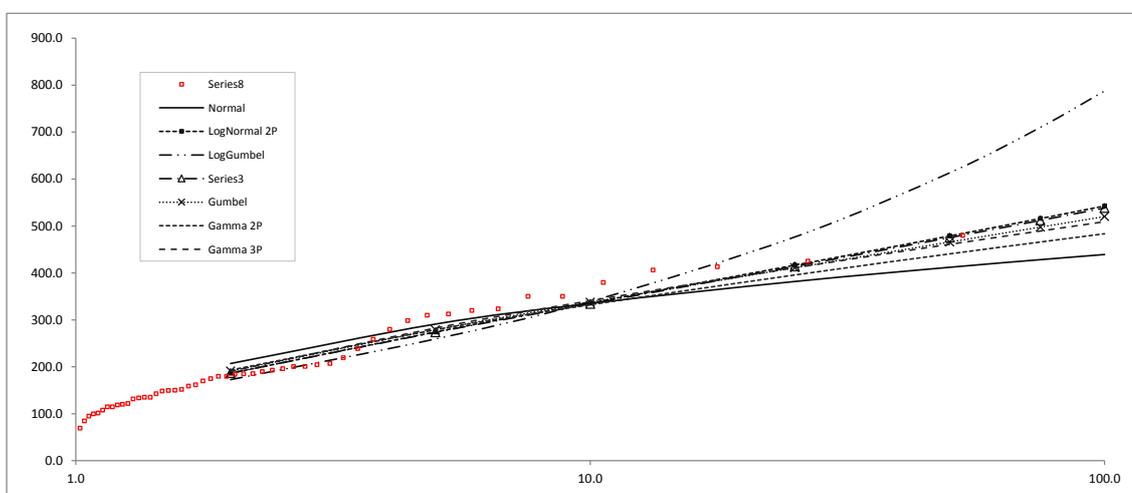


Figura 3. Gamma 3 parámetros mejor ajuste, método gráfico

b. Mediante el método de Fuller, se calcularon los caudales máximos instantáneos, a partir de los caudales máximos diarios calculados con el método estadístico. En el cuadro 5, se muestra los caudales máximos instantáneos en la EC1, los cuales deberán ser usados en el dimensionamiento de las defensas ribereñas y cálculos de los parámetros fluviales del río.

Cuadro 5. Caudales máximos instantáneos de la EC1

Período de Retorno (T)	$Q_{inst}$ ( $m^3/s$ )	Area ( $Km^2$ ), húmeda
2.0	230.3	3,204.0
5.0	339.1	
10.0	415.1	
25.0	515.0	
50.0	592.0	
75.0	637.9	
100.0	670.9	

- c. Los caudales en la estación de control EC1, EC2, EC3, EC4, EC5, EC6 y EC7 (confluencia con el río Gorgor hasta la parte alta de la cuenca) se muestran en los cuadros 6 al 11.

Cuadro 6. Caudales instantáneos en la EC2

Período de retorno (años)	Estación de control						
	EC1	EC2	EC3	EC4	EC5	EC6	EC7
2	230.3	199.0	162.5	142.2	128.4	68.5	43.1
5	339.1	293.0	239.2	209.4	189.0	100.9	63.5
10	415.1	358.6	292.8	256.4	231.4	123.5	77.7
25	515.0	444.9	363.3	318.1	287.1	153.2	96.4
50	592.0	511.5	417.6	365.6	330.0	176.1	110.8
75	637.9	551.1	450.0	394.0	355.6	189.8	119.4
100	670.9	579.6	473.3	414.4	374.0	199.6	125.6

#### 4.4 Conclusiones

El presente estudio abarca todo el cauce; por lo tanto, fue necesario establecer 7 puntos o estaciones de control para calcular los caudales.

Con fines de diseño de defensas ribereñas, dimensionamiento de las estructuras, cálculo de los parámetros fluviales, se recomienda periodos de retorno de 50 años para zonas agrícolas y 100 años para zonas urbanas.

El valor del Coeficiente de Gravelius se encuentra entre 1 y 2; por lo tanto, tendrá una tendencia a las crecidas; sin embargo, se debe tener en cuenta otras características de la cuenca como cobertura, pendiente que influyen en las crecidas.



# Análisis de la Vulnerabilidad

## INDICE

<b><i>CAPITULO V.....</i></b>	<b><i>103</i></b>
<b><i>ANALISIS DE LA VULNERABILIDAD.....</i></b>	<b><i>103</i></b>
<b>5.1 Identificación de peligros .....</b>	<b>104</b>
<b>5.2 Identificación y descripción de los puntos críticos por sectores .....</b>	<b>106</b>
<b>5.3 Influencia de los tributarios en el comportamiento del río Pativilca ....</b>	<b>125</b>

## Listado de figuras

Figura 1. Punto crítico 01, riesgo de inundación y erosión _____	106
Figura 2. Punto crítico 02, riesgo de inundación en C.P. Simón Bolívar _____	107
Figura 3. Punto crítico 03, sector Molino Alto-Puntizuela _____	107
Figura 4. Punto crítico 04, sector Puntizuela _____	108
Figura 5. Punto crítico 05, sector Providencia _____	108
Figura 6. Punto crítico 06, sector Carretería _____	109
Figura 7. Punto crítico 07, sector Carretería _____	109
Figura 8. Punto crítico 08, sector Torreca Baja _____	110
Figura 9. Punto crítico 09, sector Bocatoma Paramonga _____	110
Figura 10. Punto crítico 10 y 11, sector bocatoma Huayto _____	111
Figura 11. Punto crítico 12, sector Monte Arguy _____	112
Figura 12. Punto crítico 13, sector Monte Potao _____	112
Figura 13. Punto crítico 14, sector Monte Potao _____	113
Figura 14. Punto crítico 15, sector Fundo Rosales _____	113
Figura 15. Punto crítico 16, sector Fundo Rosales _____	114
Figura 16. Punto crítico 17, sector Troncal _____	114
Figura 17. Punto crítico 18, sector Roncador _____	115
Figura 18. Punto crítico 19, sector las Huertas _____	115
Figura 19. Punto crítico 20, sector Vinto _____	116
Figura 20. Punto crítico 21 y 22, sector Araya Chica _____	116
Figura 21. Punto crítico 23, sector Espachín _____	117
Figura 22. Punto crítico 24 y 25, sector Las Vírgenes _____	118
Figura 23. Punto crítico 26, sector La Vega-Otopongo _____	118
Figura 24. Punto crítico 27, sector Cochas _____	119
Figura 25. Punto crítico 28 y 29, sector Alpas _____	119
Figura 26. Punto crítico 30, sector Bocatoma Irrigación Pativilca _____	120
Figura 27. Punto crítico 31 y 32, sector Nueva Irrigación Pativilca _____	120
Figura 28. Punto crítico 33, sector Pasamaito _____	121
Figura 29. Punto crítico 34, sector Llamachupan _____	122
Figura 30. Punto crítico 35, sector Vilcapampa _____	122
Figura 31: Ubicación de los puntos críticos del río Pativilca _____	123
Figura 32. Punto crítico 36, sector Cahuas _____	124
Figura 33. Punto crítico 37, sector Carhuan _____	124
Figura 34. Punto crítico 38, sector Mayus _____	125
Figura 35. Ubicación de las subcuencas tributarias _____	127

## Listado de cuadros

Cuadro 1. Serie Cronológica de Emergencias por Fenómenos - Región Lima _____	105
Cuadro 2. Serie Cronológica de Emergencias por Fenómenos - Región Ancash _____	105
Cuadro 3. Elementos expuestos a inundación, en el distrito de Pativilca _____	111
Cuadro 4. Elementos expuestos a inundación, en el distrito de Barranca _____	117
Cuadro 5. Elementos expuestos a inundación, en el distrito de Cochas _____	121
Cuadro 6. Elementos expuestos a inundación, en el distrito de Acas _____	123
Cuadro 7. Elementos expuestos a inundación, en el distrito Manas _____	125
Cuadro 8. Características de los principales tributarios del río Pativilca _____	126

## **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.

Los peligros naturales están inmerso en un entorno cambiante y dinámico, que incluye no sólo las condiciones económicas y sociales, sino también las condiciones físicas. Es necesario evaluar, como estos cambios pueden afectar el proyecto y también como la ejecución del mismo puede afectar a dichas condiciones. En particular, los proyectos se circunscriben a un ambiente físico que lo expone a una serie de peligros: sismos, inundaciones, lluvias intensas, deslizamientos, sequías, entre otros, y por tanto, se hace necesario identificar los peligros y sus potenciales impactos.

El Perú, debido a sus características físicas y condiciones naturales, presenta gran ocurrencia de diversos y múltiples peligros, situación que se ha incrementado en las últimas décadas, debido principalmente a la ocupación informal del territorio, que no sólo incrementa la condición de vulnerabilidad sino también contribuye a la generación de conflicto de uso en el territorio y nuevos peligros, facilitando la existencia de viviendas e infraestructura en zonas de alto peligro susceptibles a sismos, deslizamientos, huaycos, alud, inundaciones y otros.

El conocimiento de los peligros dentro del proceso de identificación, formulación y evaluación de proyectos, permite tomar en cuenta el potencial impacto del medio ambiente y el entorno sobre el proyecto, de tal manera que sea posible implementar medidas para no afectar la operación del proyecto y para reducir los riesgos y potenciales daños.

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 de peligros**

El Instituto Nacional de Defensa Civil - INDECI a fin de identificar un peligro natural potencialmente dañino en cualquier punto del país, ha elaborado desde su creación junto con las instituciones científico-tecnológicas como el IGP (1997), PNUD (2005), PREDES (2006), INGEMMET (2009), CISMID, etc. mapas de peligros naturales, de intensidades sísmicas, de emergencias y daños, etc. basándose en un registro histórico de desastres naturales que han tenido un impacto social significativo.

La región Lima y Ancash que comprenden los límites de la cuenca del río Pativilca está permanentemente expuesto al impacto de estos eventos naturales que causan desastres o emergencias, tales como: sismos, suceden en toda la región, deslizamientos, derrumbes, aluviones, precipitaciones pluviales, sequías y principalmente la presencia del Fenómeno El Niño causados por eventos hidrometeorológicos. Las emergencias de mayor presencia en los distritos del ámbito del estudio son las intensas, lluvias y bajas temperaturas.

En el cuadro 1, se muestran las Series Cronológicas de Emergencias por Fenómeno en la región Lima, Periodo 2003 – 2012.

En el cuadro 2, se muestran las Series Cronológicas de Emergencias por Fenómeno en la región Ancash, periodo 2003 – 2012.

Cuadro 1. Serie Cronológica de Emergencias por Fenómenos - Región Lima

FENOMENO	REGIÓN LIMA
<b>TOTAL REGIÓN LIMA</b>	<b>2722</b>
COLAPSO DE CONSTRUCCIONES	247
CRECIDA DE RÍO	7
DERRAME SUSTANCIAS NOCIVAS	6
DERRUMBE DE CERRO	187
DESlizAMIENTO	50
EPIDEMIA	5
EXPLOSIÓN	15
GRANIZADA	1
HELADA	28
HUAYCO	38
INCENDIO FORESTAL	3
INCENDIO URBANO	1867
INUNDACIÓN	95
LLUVIA INTENSA	40
MARETAZO (MAREJADA)	7
SEQUÍA	1
SISMOS	86
TORMENTA ELÉCTRICA	1
VIENTO FUERTE	5
OTROS 1/	33

Fuente: SINPAD - COEN - INDECI - PERIODO 2003 - 2012

Cuadro 2. Serie Cronológica de Emergencias por Fenómenos - Región Ancash

FENOMENO	REGIÓN ANCASH
<b>TOTAL REGIÓN ANCASH</b>	<b>824</b>
ALUD	3
ALUVIÓN	6
COLAPSO DE CONSTRUCCIONES	3
CONTAMINACIÓN AGUA	1
CRECIDA DE RÍO	3
DERRAME SUSTANCIAS NOCIVAS	3
DERRUMBE DE CERRO	14
DESlizAMIENTO	44
EXPLOSIÓN	2
GRANIZADA	32
HELADA	31
HUAYCO	15
INCENDIO FORESTAL	14
INCENDIO URBANO	212
INUNDACIÓN	16
LLUVIA INTENSA	343
MARETAZO (MAREJADA)	3
SEQUÍA	9
SISMOS	10
TORMENTA ELÉCTRICA	6
VIENTO FUERTE	49
OTROS 1/	5

## 5.2 Identificación y descripción de los puntos críticos por sectores

El cauce del río Pativilca en el sector de estudio presenta un alto grado de colmatación, anchos naturales que superan los anchos calculados matemáticamente (ancho estable), actualmente existen anchos que oscilan entre 200 a 250 m y alturas de colmatación que oscilan entre 0.50 a 1.0 m.

La identificación de los puntos críticos se realizó in situ, con participación de profesionales de Defensa Civil de la Municipalidad Provincial de Barranca, Junta de Usuarios de agua del río Pativilca, sectoristas de riego y con el apoyo de personas del lugar; se recorrió desde el Océano Pacífico sectores Puente Bolívar, Monte Arguy, Molino Alto Puntizuela y Monte Potao, ubicados en el distrito de Pativilca; hasta la parte alta, distrito de Cochabamba, Acas y Carhuapampa de la provincia de Ochos Ríos y distrito de Manas de la provincia de Cajatambo. Se han identificado 38 puntos críticos y se describen por sectores y distritos:

### DISTRITO PATIVILCA

Se ha identificado 11 puntos críticos, distribuidos en los siguientes sectores:

1. **Sector Puente Bolívar.** Se ha identificado 2 puntos críticos, que ponen en riesgo ante una inundación y erosión el centro poblado de Simón Bolívar, 64.5 Ha de cultivos, 850 metros de la Panamericana Norte y 2000 metros de canales de riego (figura 01 y 02).



Figura 1. Punto crítico 01, riesgo de inundación y erosión



Figura 2. Punto crítico 02, riesgo de inundación en C.P. Simón Bolívar

2. **Sector Molino Alto-Puntizuela.** Se ha identificado 1 punto crítico, que ponen en riesgo 90 Ha de cultivos, ante una eventual inundación y erosión (figura 03).



Figura 3. Punto crítico 03, sector Molino Alto-Puntizuela

3. **Sector Puntizuela.** Se ha identificado 1 punto crítico, que pone en riesgo 10 Ha de cultivos y 700 metros de canal, de producirse una inundación y erosión (figura 4).



Figura 4. Punto crítico 04, sector Puntizuela

4. **Sector Providencia.** Se ha identificado 1 punto crítico, que pone en riesgo 15 Ha de cultivos y 1000 metros de canal, de producirse una inundación y erosión (figura 5).



Figura 5. Punto crítico 05, sector Providencia

5. **Sector Carretería.** Se ha identificado 2 puntos críticos, que ponen en riesgo de perderse por erosión 24 Ha de cultivos (figura 6 y 7).



Figura 6. Punto crítico 06, sector Carretería



Figura 7. Punto crítico 07, sector Carretería

- 6. Sector Torrencia Baja.** Se ha identificado 1 punto crítico, que pone en riesgo de perderse por inundación y erosión 25 Ha de cultivos y 500 metros de canal de riego (figura 8).



Figura 8. Punto crítico 08, sector Torrencia Baja

7. **Sector Bocatoma Paramonga.** Se ha identificado 1 punto crítico, que pone en riesgo de perderse por inundación y erosión 10 Ha de cultivos y 400 metros de canal de riego (figura 09).



Figura 9. Punto crítico 09, sector Bocatoma Paramonga

8. **Sector Bocatoma Huayto.** Se ha identificado 2 puntos críticos, que ponen en riesgo el colapso de la bocatoma Huayto, que podría a 2000 Ha de terrenos agrícolas de la comisión de regantes de Huayto (figura 10).



Figura 10. Punto crítico 10 y 11, sector bocatoma Huayto

En el cuadro 3, se muestra los elementos expuestos ante una inundación correspondiente a un periodo de retorno de 50 años, en el ámbito del distrito de Pativilca.

Cuadro 3. Elementos expuestos a inundación, en el distrito de Pativilca

Numero	X	Y	Margen	Sector	Distrito	Provincia	Departamento	C.P.	Viviendas	Puentes	Vías Asfaltadas (m)	Vías Afirmdas-no afirmdas	Area agrícola (ha)	Bocatoma	Canal de riego (m)	Observaciones
01	195519	8812817	Derecha	Puente Bolívar	Pativilca	Barranca	Lima						60		2000	
02	196490	8813520	Izquierda	Puente Bolívar	Pativilca	Barranca	Lima	Simón Bolívar	40	Bolívar	850		4.5			
03	200139	8816023	Derecha	Molino Alto-Puntuzuela	Pativilca	Barranca	Lima						90			
04	201033	8817088	Derecha	Puntuzuela	Pativilca	Barranca	Lima						10		700	
05	203855	8818277	Derecha	Providencia	Pativilca	Barranca	Lima						15		1000	
06	204647	8818619	Izquierda	Carretería	Pativilca	Barranca	Lima						24			
07	206436	8819697	Izquierda	Carretería	Pativilca	Barranca	Lima									
08	210045	8819784	Derecha	Torreca Baja	Pativilca	Barranca	Lima						25		500	
09	212005	8819887	Derecha	Bocatoma Paramonga	Pativilca	Barranca	Lima						10		400	
10	216627	8819783	Derecha	Bocatoma Huayto	Pativilca	Barranca	Lima							01 Bocatoma Huayto		Afectación de 2000 ha indirectas
11	217055	8819955	Derecha	Bocatoma Huayto	Pativilca	Barranca	Lima									
<b>TOTAL</b>									<b>40</b>	<b>0</b>	<b>850</b>	<b>0</b>	<b>239</b>	<b>1</b>	<b>4600</b>	<b>2000</b>

## DISTRITO DE BARRANCA

Se ha identificado 11 puntos críticos, distribuidos en los siguientes sectores de Monte Arguy, Monte Potao, Santa Rosa, La Cordillera y Chotuque.

**9. Sector Monte Arguy.** Se ha identificado 1 punto crítico, cuyo elementos expuestos a inundación y erosión son 35 Ha de área agrícola y 500 metros de canales de riego, que corresponde a la comisión de regantes de (figura 11).



Figura 11. Punto crítico 12, sector Monte Arguy

**10. Sector Monte Potao.** Se ha identificado 2 puntos críticos ante inundaciones, que ponen en riesgo 80 Ha de área agrícola (figura 12 y 13).

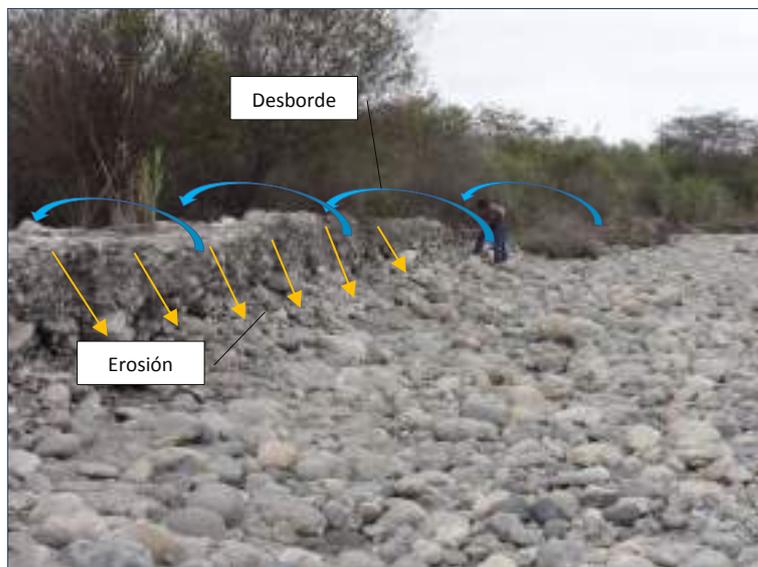


Figura 12. Punto crítico 13, sector Monte Potao



Figura 13. Punto crítico 14, sector Monte Potao

**11. Sector Fundo Rosales.** Se ha identificado 2 puntos críticos ante inundaciones, que ponen en riesgo 60 Ha de área agrícola (figura 14 y 15).



Figura 14. Punto crítico 15, sector Fundo Rosales



Figura 15. Punto crítico 16, sector Fundo Rosales

**12. Sector Troncal.** Se ha identificado 1 punto crítico ante inundaciones, que ponen en riesgo 35 Ha de área agrícola y 1000 metros de canal de riego (figura 16).



Figura 16. Punto crítico 17, sector Troncal

**13. Sector Roncador.** Se ha identificado 1 punto crítico en la margen izquierda, que ponen en riesgo 28 Ha de área agrícola, 01 bocatoma, 1250 metros de canales de riego y la afectación indirecta de 6700 Ha de área agrícola de la comisión de regantes Potao (figura 17).



Figura 17. Punto crítico 18, sector Roncador

**14. Sector Las Huertas.** Se ha identificado 1 punto crítico en la margen izquierda, que ponen en riesgo 40 Ha de área agrícola, (figura 18).



Figura 18, Punto crítico 19, sector las Huertas

**15. Sector Vinto.** Se ha identificado 1 punto crítico en la margen izquierda, que ponen en riesgo la bocatoma Vinto y la afectación indirecta de 2200 Ha de área agrícola de la comisión de regantes de Vinto (figura 19).



Figura 19. Punto crítico 20, sector Vinto

**16. Sector Araya Chica.** Se ha identificado 2 puntos críticos en la margen izquierda, que ponen en riesgo 90 Ha y 1000 metros de canal de riego (figura 20).

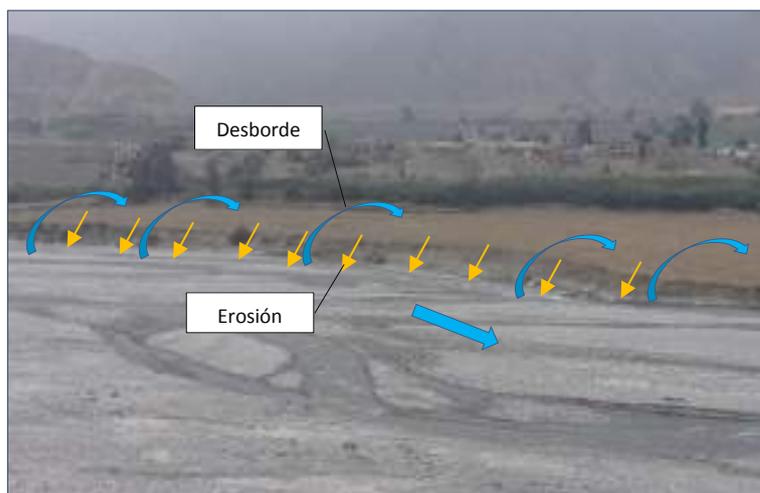


Figura 20. Punto crítico 21 y 22, sector Araya Chica

En el cuadro 4, se muestra los elementos expuestos ante una inundación correspondiente a un periodo de retorno de 50 años, en el ámbito del distrito de Barranca.

Cuadro 4. Elementos expuestos a inundación, en el distrito de Barranca

Numero	X	Y	Margen	Sector	Distrito	Provincia	Departamento	C.P.	Viviendas	Puentes	Vías Asfaltadas (m)	Vías Afirmdas-no afirmadas	Area agrícola (ha)	Bocatoma	Canal de riego (m)	Observaciones
12	198897	8814524	Izquierda	Monte Arguy	Barranca	Barranca	Lima						35			
13	200420	8815915	Izquierda	Monte Potao	Barranca	Barranca	Lima						80			
14	201556	8816776	Izquierda	Monte Potao	Barranca	Barranca	Lima									
15	203335	8817238	Izquierda	Fundo Rosales	Barranca	Barranca	Lima						60			
16	204413	8818044	Izquierda	Fundo Rosales	Barranca	Barranca	Lima									
17	208080	8819546	Izquierda	Troncal	Barranca	Barranca	Lima						35		1000	
18	209285	8819445	Izquierda	Roncador	Barranca	Barranca	Lima						28	01 Bocatoma Matriz	1250	Afectación de 6700 ha indirectas
19	212392	8819445	Derecha	Las Huertas	Barranca	Barranca	Lima						40			
20	213796	8819327	Izquierda	Vinto	Barranca	Barranca	Lima							01 Bocatoma Vinto		Afectación de 2200 ha indirectas
21	217270	8819621	Izquierda	Araya Chica	Barranca	Barranca	Lima						90		1000	
22	218382	8819920	Izquierda	Araya Chica	Barranca	Barranca	Lima									
<b>TOTAL</b>									<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>368</b>	<b>2</b>	<b>3250</b>	<b>8900</b>

## DISTRITO DE COCHAS

Se ha identificado 11 puntos críticos, distribuidos en los sectores de Las Vírgenes, La Vega-Otopongo, Cochás, Alpas, Irrigación Pativilca y Pasamaito.

**17. Sector Espachín.** Se ha identificado 1 punto crítico en la margen derecha, que pone en riesgo 8 Ha de área agrícola (figura 21).

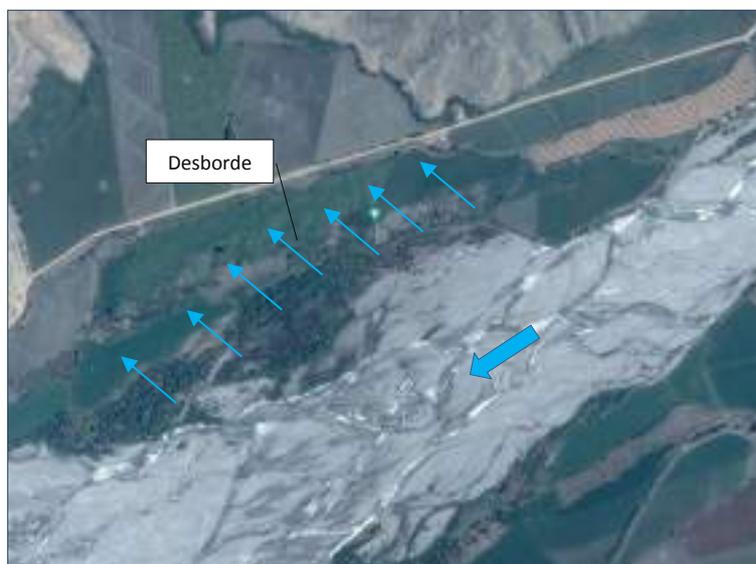


Figura 21. Punto crítico 23, sector Espachín

**18. Sector Las Vírgenes.** Se han identificado 2 puntos críticos en la margen izquierda, que pone en riesgo 1500 m de canal de riego y la afectación indirecta de 550 Ha de terreno de la comisión de regantes Araya (figura 22).

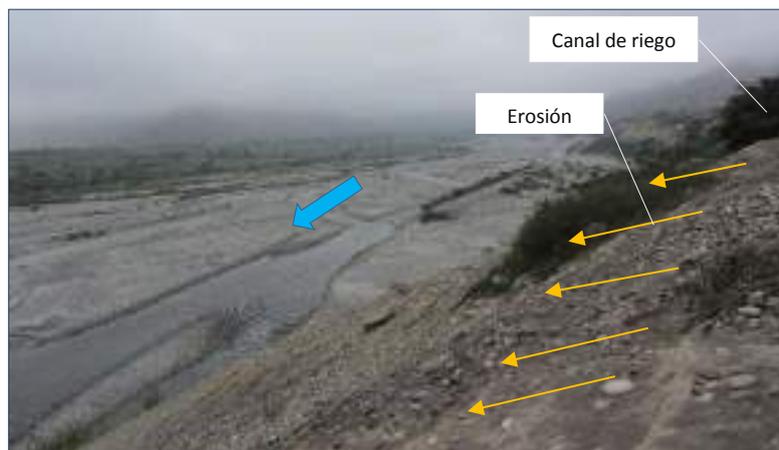


Figura 22. Punto crítico 24 y 25, sector Las Vírgenes

**19. Sector La Vega Otopongo.** Se ha identificado 1 punto crítico en la margen derecha, que pone en riesgo 50 Ha de área agrícola (figura 23).

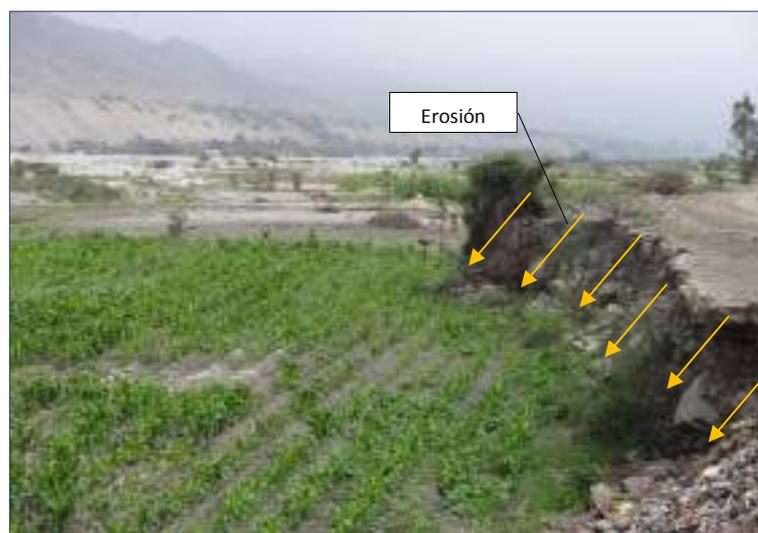


Figura 23. Punto crítico 26, sector La Vega-Otopongo

**20. Sector Cochás.** Este punto crítico pone en riesgo al centro poblado de Cochás, afectando 22 viviendas y 10 Ha de área agrícola (figura 24).



Figura 24. Punto crítico 27, sector Cochas

**21. Sector Alpas.** Se han identificado 02 puntos críticos que afectarían a 950 metros de canal de riego e indirectamente 1330 Ha de área agrícola de la comisión de riego La Vega Otopongo (figura 25).



Figura 25. Punto crítico 28 y 29, sector Alpas

**22. Sector Bocatoma Irrigación Pativilca.** Pone en riesgo 2 ha de área agrícola (figura 26).



Figura 26. Punto crítico 30, sector Bocatoma Irrigación Pativilca

**23. Sector Nueva Irrigación Pativilca.** Se han identificado 02 puntos críticos que afectaría la bocatoma Pativilca, 580 metros de canal de riego y la afectación indirecta de 3,950 ha de terreno agrícola de la comisión de regantes Purmacana (figura 27).

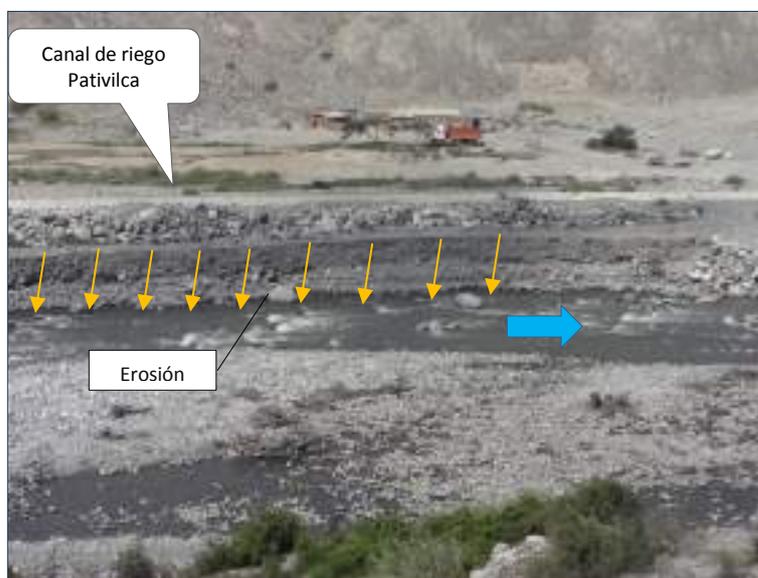


Figura 27. Punto crítico 31 y 32, sector Nueva Irrigación Pativilca

**24. Sector Pasamaito.** Se ha identificado 01 punto crítico que afectaría 500 metros de vía no afirmada con dirección a Cajatambo, 50 metros de canal de riego y la afectación de 150 Ha de terreno de cultivo (figura 28).



Figura 28. Punto crítico 33, sector Pasamaito

En el cuadro 5, se muestra los elementos expuestos ante una inundación correspondiente a un periodo de retorno de 50 años, en el ámbito del distrito de Cochas.

Cuadro 5. Elementos expuestos a inundación, en el distrito de Cochas

Numero	X	Y	Margen	Sector	Distrito	Provincia	Departamento	C.P.	Viviendas	Puentes	Vías Asfaltadas (m)	Vías Afirmdas-no afirmdas	Area agrícola (ha)	Bocatoma	Canal de riego (m)	Observaciones
23	218826	8820843	Derecha	Espachin	Cochas	Ocros	Ancash						8			
24	219772	8820764	Izquierda	Las Vírgenes	Cochas	Ocros	Ancash								1500	Afectación de 550 ha indirectas
25	221100	8821385	Izquierda	Las Vírgenes	Cochas	Ocros	Ancash									
26	221756	8822153	Derecha	La Vega Otopongo	Cochas	Ocros	Ancash						50			
27	222190	8822370	Derecha	Cochas	Cochas	Ocros	Ancash	Cochas	22				10			
28	224100	8822764	Derecha	Alpas	Cochas	Ocros	Ancash								950	Afectación de 1330 ha indirectas
29	224721	8822922	Derecha	Alpas	Cochas	Ocros	Ancash									
30	225402	8822903	Derecha	Bocatoma Irrigación Pativilca	Cochas	Ocros	Ancash						2			
31	225717	8822916	Izquierda	Nueva Irrigación Pativilca	Cochas	Ocros	Ancash							01 bocatoma Irrigación Pativilca	580	Afectación de 3950 ha indirectas
32	226502	8823258	Izquierda	Nueva Irrigación Pativilca	Cochas	Ocros	Ancash									
33	232625	8824522	Derecha	Pasamaito	Cochas	Ocros	Ancash					500			50	Afectación de 150 ha indirectas
<b>TOTAL</b>									<b>22</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>500</b>	<b>70</b>	<b>1</b>	<b>3080</b>	<b>5980</b>

## DISTRITO DE ACAS

Se ha identificado 2 puntos críticos, en los sectores de Llamachupan y Vilcapampa.

**25. Sector Llamachupan.** En este sector se encuentra en riesgo de erosión 670 metros de la carretera que va a Cajatambo (figura 29).



Figura 29. Punto crítico 34, sector Llamachupan

**26. Sector Vilcapampa.** Se ha identificado 01 punto crítico que afectaría 500 metros de vía no afirmada con dirección a Cajatambo, 80 metros de canal de riego y la afectación indirecta de 50 Ha de terreno de cultivo (figura 30).

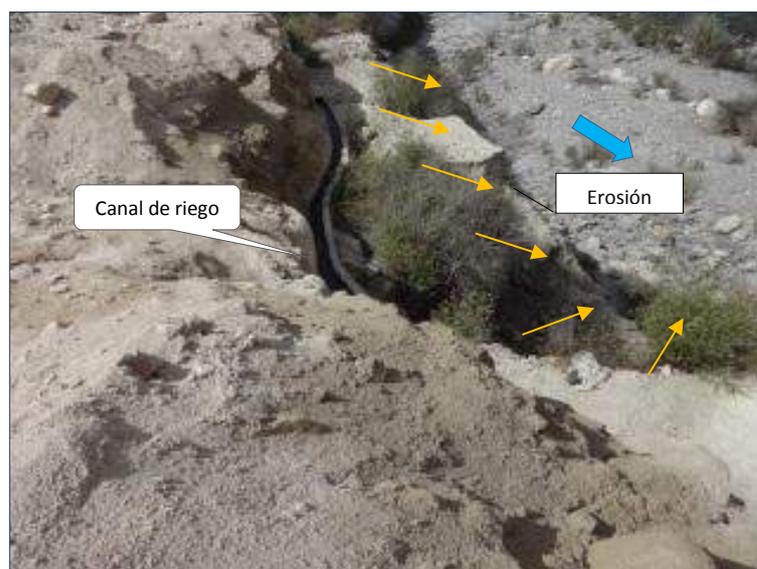


Figura 30. Punto crítico 35, sector Vilcapampa

En el cuadro 6, se muestra los elementos expuestos ante una inundación correspondiente a un periodo de retorno de 50 años, en el ámbito del distrito de Acas.

Cuadro 6. Elementos expuestos a inundación, en el distrito de Acas

Numero	X	Y	Margen	Sector	Distrito	Provincia	Departamento	C.P.	Viviendas	Puentes	Vías Asfaltadas (m)	Vías Afirmadas-no afirmadas	Area agricola (ha)	Bocatoma	Canal de riego (m)	Observaciones
34	240218	8826087	Derecha	Llamachupan	Acas	Ocros	Ancash					670				
35	242619	8826654	Derecha	Vilcampampa	Acas	Ocros	Ancash					300			80	Afectación de 50 ha indirectas
<b>TOTAL</b>												<b>970</b>			<b>80</b>	<b>50</b>

En la figura 31, se muestra la ubicación de los puntos críticos respecto al cauce del río Pativilca (más detalles se muestran en anexos).

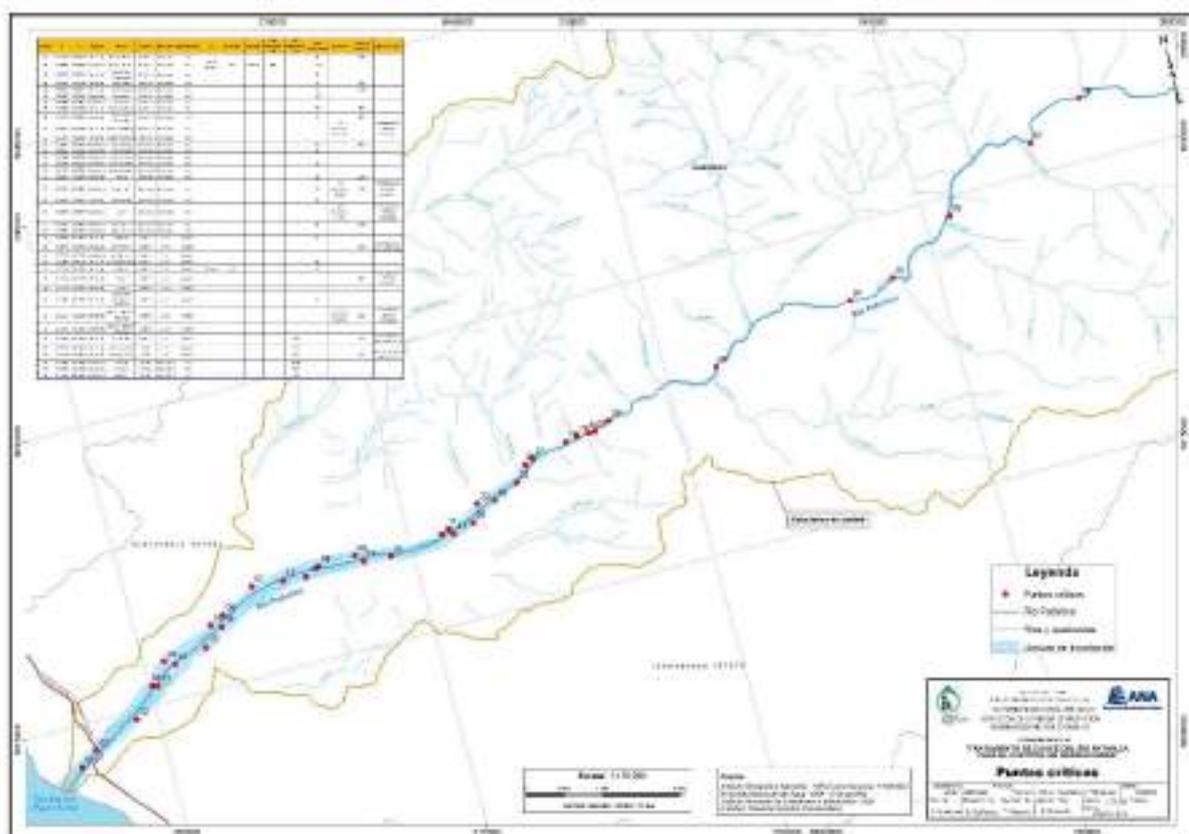


Figura 31: Ubicación de los puntos críticos del río Pativilca

## DISTRITO DE MANAS

Se ha identificado 3 puntos críticos, en los sectores de Cahuas, Carhuan y Mayus.

**27. Sector Cahuas.** Se ha identificado 01 punto crítico que afectaría 1000 metros de vía no afirmada con dirección a Cajatambo (figura 32).

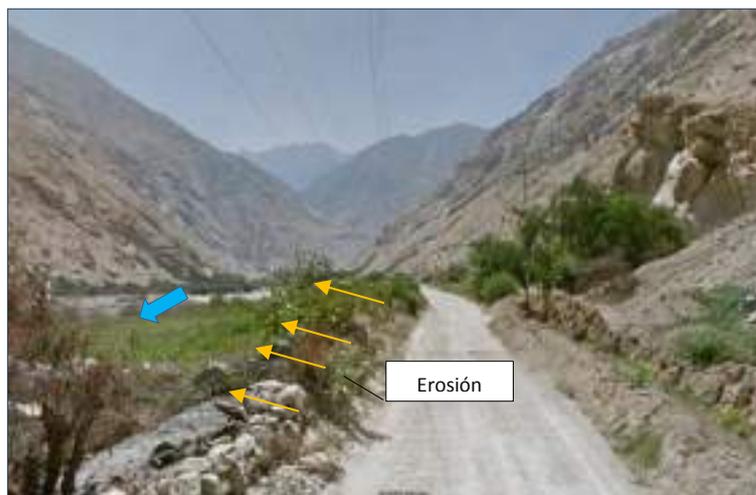


Figura 32. Punto crítico 36, sector Cahuas

**28. Sector Carhuan.** Se ha identificado 01 punto crítico que afectaría 500 metros de vía no afirmada con dirección a Cajatambo (figura 33).



Figura 33. Punto crítico 37, sector Carhuan

**29. Sector Mayus.** Se ha identificado 01 punto crítico que afectaría 500 metros de vía no afirmada con dirección a Cajatambo (figura 34).



Figura 34. Punto crítico 38, sector Mayus

En el cuadro 7, se muestra los elementos expuestos ante una inundación correspondiente a un periodo de retorno de 50 años, en el ámbito del distrito de Manas.

Cuadro 7. Elementos expuestos a inundación, en el distrito Manas

Numero	X	Y	Margen	Sector	Distrito	Provincia	Departamento	C.P.	Viviendas	Puentes	Vías Asfaltadas (m)	Vías Afirmadas-no afirmadas	Area agrícola (ha)	Bocatoma	Canal de riego (m)	Observaciones
36	246344	8829005	Izquierda	Cahuas	Manas	Cajatambo	Lima					1000				
37	251372	8831600	Izquierda	Carhuan	Manas	Cajatambo	Lima					500				
38	254414	8833225	Izquierda	Mayus	Manas	Cajatambo	Lima					500				
<b>TOTAL</b>												<b>2000</b>				

### 5.3 Influencia de los tributarios en el comportamiento del río Pativilca

Se han identificado 8 tributarios que fluyen sus aguas al río Pativilca; 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 Pativilca, 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 promedio de estos tributarios es aproximadamente 45%, es decir pendiente fuerte a muy fuertes, con procesos denudacionales intensos y peligro extremo de erosión de suelos.

En el cuadro 2, están representados los tributarios con algunas de sus principales características. En la figura 35, se muestra la ubicación de estos tributarios respecto a la cuenca del río Pativilca y su relación respecto a los puntos críticos.

Cuadro 8. Características de los principales tributarios del río Pativilca

Nº	Tributario	Longitud del cauce (m)	Altitud mínima (m.s.n.m.)	Altitud máxima (m.s.n.m.)	Pendiente promedio del cauce (%)	Pendiente de las subcuencas		Grado de erosión
						(%)	Tipo	
01	Huanchay-Ocros	50740	650	4750	8.1	45.5	Pendiente fuerte	Procesos denudacionales intensos (deslizamientos), peligro extremo de erosión
02	Ashuar	20801	950	4800	18.5	73	Pendiente muy fuerte	Afloramientos rocosos, procesos denudacionales intensos, reforestación posible
03	Pisopate	15770	1750	4750	19.0	47.9	Pendiente fuerte	Procesos denudacionales intensos (deslizamientos), peligro extremo de erosión
04	Yanayaco-Yaroc	20103	2000	4650	13.2	45.7	Pendiente fuerte	Procesos denudacionales intensos (deslizamientos), peligro extremo de erosión
05	Gorgor	47849	1200	5050	8.0	40.5	Pendiente fuerte	Procesos denudacionales intensos (deslizamientos), peligro extremo de erosión
06	Rapay	52054	1400	4550	6.1	43.5	Pendiente fuerte	Procesos denudacionales intensos (deslizamientos), peligro extremo de erosión
07	Achin	30976	2650	4600	6.3	45.4	Pendiente fuerte	Procesos denudacionales intensos (deslizamientos), peligro extremo de erosión
08	Quero	29980	2650	4750	7.0	49.5	Pendiente fuerte	Procesos denudacionales intensos (deslizamientos), peligro extremo de erosión

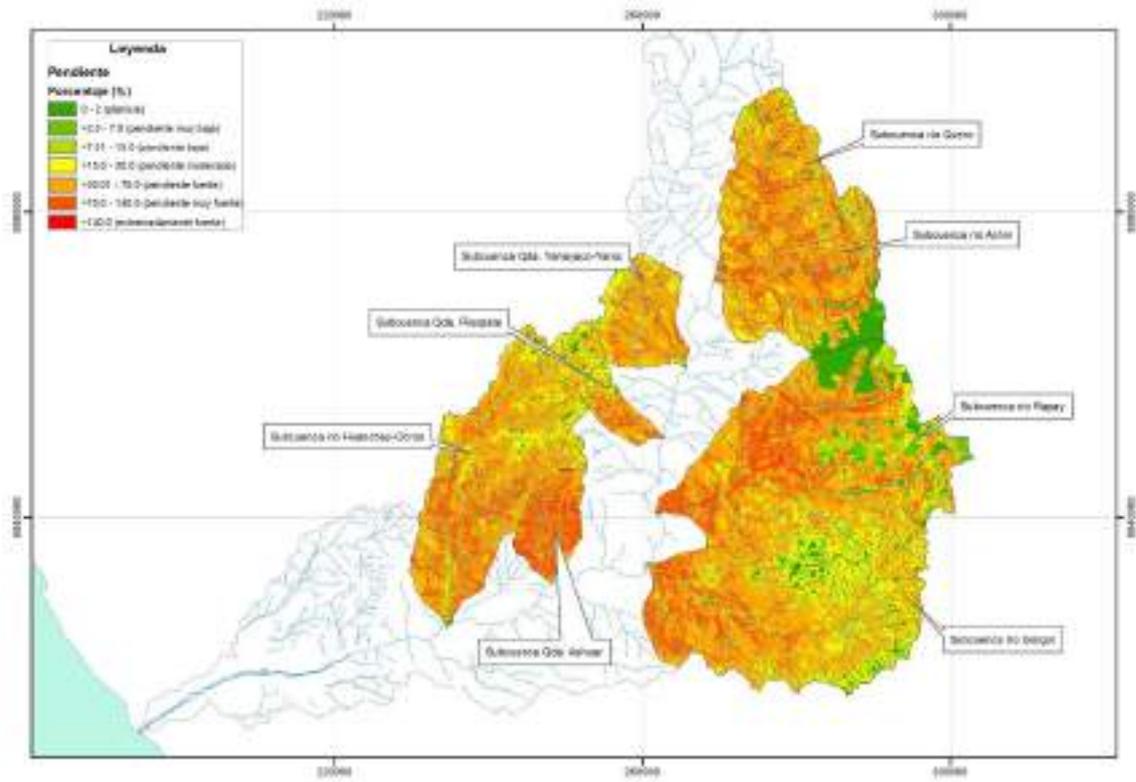


Figura 35. Ubicación de las subcuencas tributarias

# Capítulo VI

## Hidráulica fluvial



## INDICE

<b>CAPITULO VI.....</b>	<b>132</b>
<b>HIDRAULICA FLUVIAL.....</b>	<b>132</b>
<b>6.1 Análisis hidráulico del cauce.....</b>	<b>132</b>
6.1.1 Morfología fluvial .....	132
6.2.2 Acondicionamiento del cauce al régimen de equilibrio.....	135
6.2.3 Parámetros hidráulicos fluviales y elementos del cauce.....	139
<b>6.2 Granulometría .....</b>	<b>145</b>
<b>6.3 Análisis de socavación.....</b>	<b>146</b>

### **Listado de figuras**

<i>Figura 1. Variación del caudal promedio, estación Puente Piura</i>	132
<i>Figura 2. Grado de la sinuosidad de un río</i>	133
<i>Figura 3. Sinuosidad del río Pativilca y del valle</i>	134
<i>Figura 4. Tipos de ríos</i>	134
<i>Figura 5. Comportamiento unidireccional del río Pativilca</i>	135
<i>Figura 6. Trazo para reducir curvas</i>	136
<i>Figura 7. Existencia de estructuras de cruce (puente), condicionan la delimitación del eje</i>	136
<i>Figura 8. Defensas ribereñas, condicionan la delimitación del eje</i>	137
<i>Figura 9. Coordenadas del eje del río Pativilca</i>	138

### **Listado de cuadros**

<i>Cuadro 1. Propuesta de coordenadas de las progresivas</i>	138
<i>Cuadro 2. Pendiente del río Pativilca</i>	139
<i>Cuadro 3. Valores de K<sub>2</sub></i>	144
<i>Cuadro 5. Granulometría del cauce del río Pativilca</i>	145
<i>Cuadro 5. Valores de Manning</i>	146
<i>Cuadro 6. Profundidad de socavación</i>	150

## 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 Pativilca 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 junio a octubre, se presentan los caudales más bajos del año (figura 1).

De acuerdo a la información de caudales mensuales se considera al río Pativilca un río de régimen permanente.

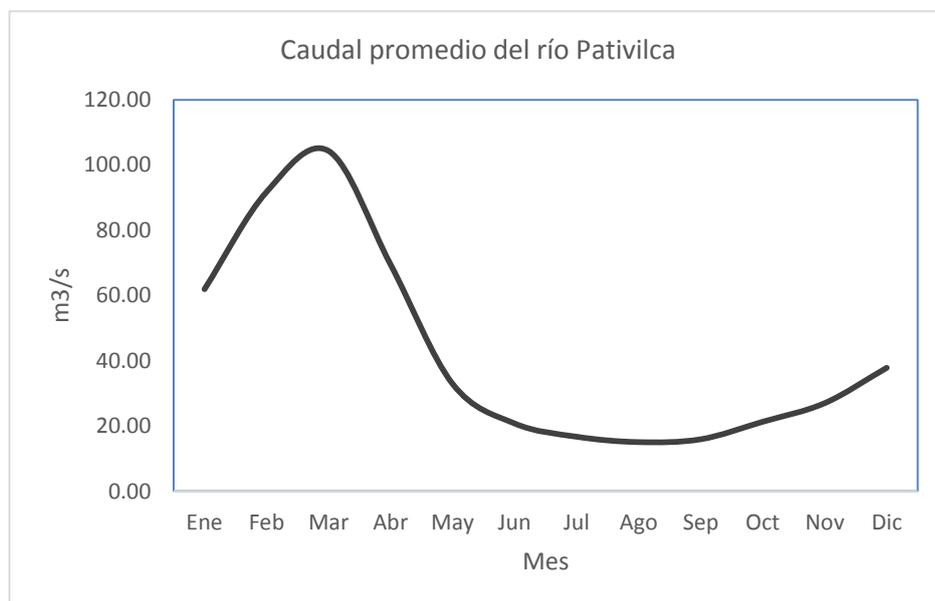


Figura 1. Variación del caudal promedio, estación Puente Piura

Fuente: Autoridad Nacional del Agua

**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 desbordamientos 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 2.

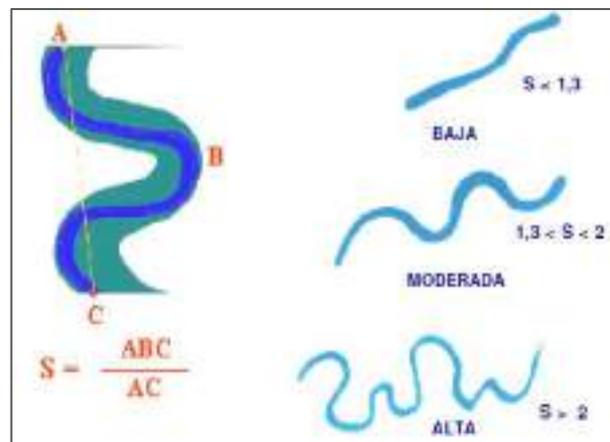


Figura 2. Grado de la sinuosidad de un río

Fuente. Rocha

Bajo este concepto, la sinuosidad del río Pativilca tiene un coeficiente de 1.5, el cual le corresponde una sinuosidad moderada. En la parte del valle que corresponde 35 kilómetros de longitud, la sinuosidad es baja, que implica un coeficiente de 1.05 (figura 3).



Figura 3. Sinuosidad del río Pativilca y del valle

**Morfología fluvial** considera tres tipos principales de ríos: rectos, trenzados y meándricos (figura 4).

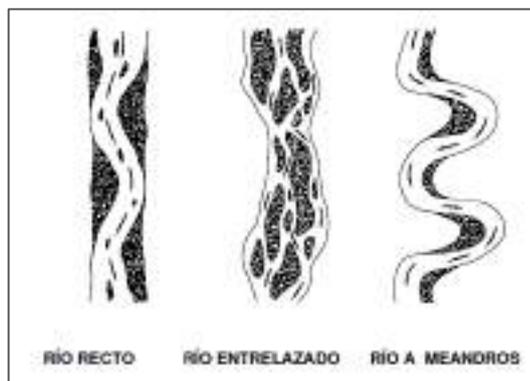


Figura 4. Tipos de ríos

El río Pativilca nace en los Andes Peruanos con dirección hacia el litoral marino, con una pendiente promedio del cauce de 2.7% y una pendiente promedio de la cuenca de 45%. Estas características son limitantes para que el cauce tenga un comportamiento unidireccional, formándose pequeños flujos dentro de un ancho de cauce definido a manera de río trenzado in llegar a tener este comportamiento (figura 5).



Figura 5. Comportamiento unidireccional del río Pativilca

### 6.2.2 Acondicionamiento del cauce al régimen de equilibrio

Para satisfacer las condiciones de régimen estable del río Pativilca 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 rectificad 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 6).

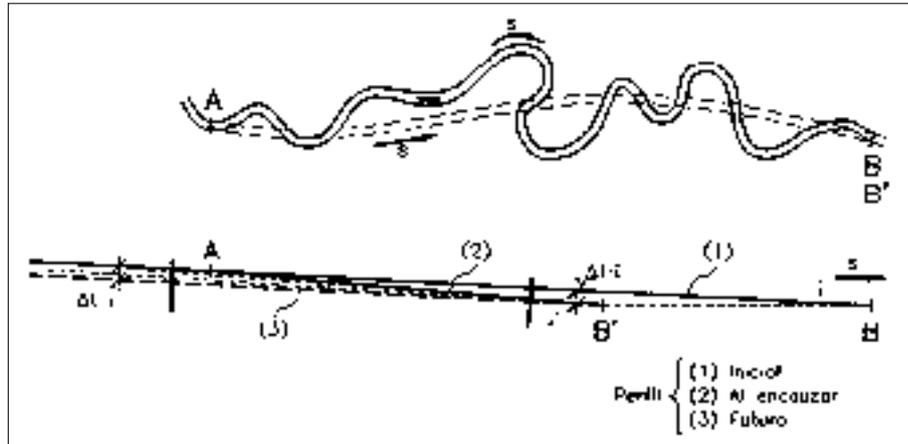


Figura 6. Trazo para reducir curvas

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 7).



Figura 7. 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.

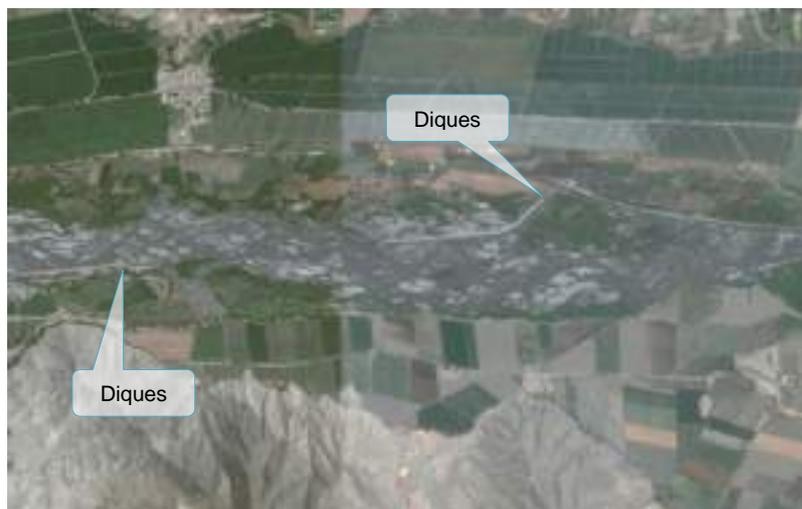


Figura 8. Defensas ribereñas, condicionan la delimitación del eje

Fuente: Google Earth

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

En la figura 9 y en el cuadro 1, se muestra el eje del río Pativilca y las coordenadas en UTM.

Cuadro 1. Propuesta de coordenadas de las progresivas

Nº	X	Y	Longitud (Km)	Nº	X	Y	Longitud (Km)
0	194375	8811810		20	262743	8850503	100
1	198507	8814613	5	21	264020	8854876	105
2	202661	8817312	10	22	265263	8859314	110
3	207121	8819499	15	23	266882	8862789	115
4	212090	8819615	20	24	266361	8866369	120
5	217017	8819704	25	25	268788	8869618	125
6	221556	8821748	30	26	269343	8873725	130
7	226267	8823098	35	27	266237	8876773	135
8	230500	8824326	40	28	263325	8880273	140
9	234352	8825499	45	29	264182	8884710	145
10	238502	8826159	50	30	266311	8888380	150
11	243114	8826614	55	31	266331	8892771	155
12	246315	8829168	60	32	269300	8895665	160
13	249636	8831933	65	33	270149	8900152	165
14	253393	8833353	70	34	268577	8904246	170
15	257840	8832451	75	35	266418	8907680	175
16	261234	8834706	80	36	263224	8908891	180
17	262510	8838982	85	37	261545	8905515	185
18	260199	8842527	90	38	261630	8904617	186
19	262116	8846430	95				

Fuente: Elaboración propia.

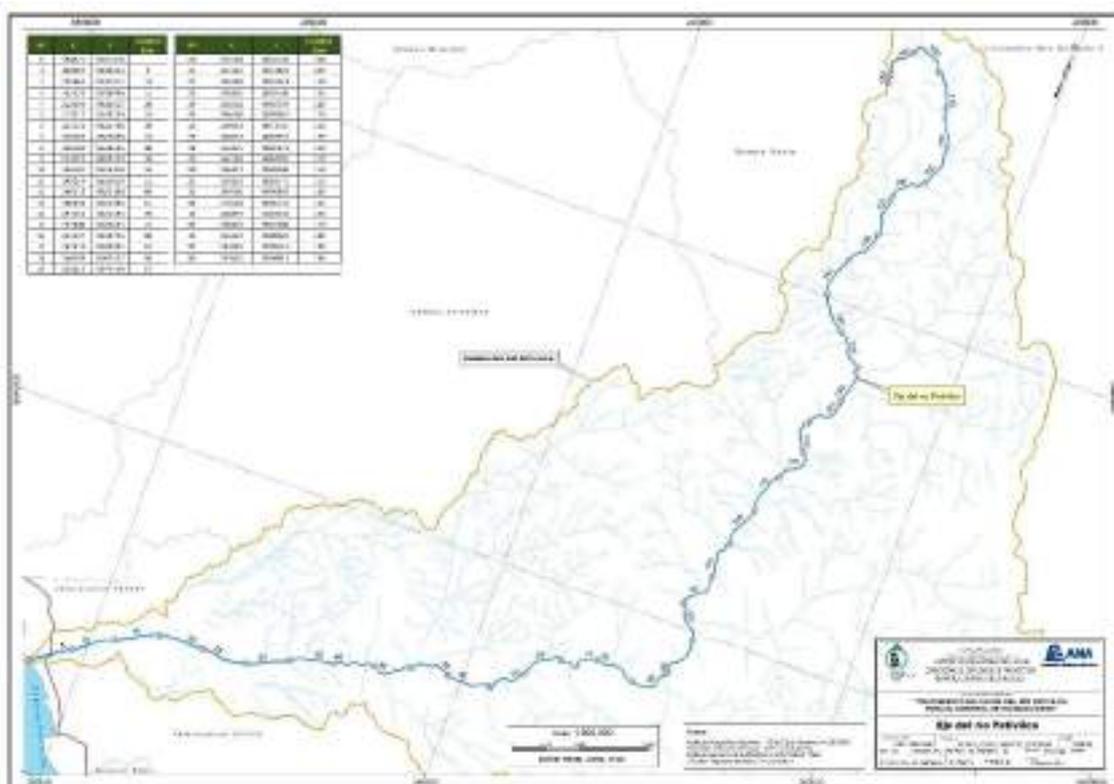


Figura 9. Coordenadas del eje del río Pativilca

### b. Pendiente del río

La pendiente promedio del río Pativilca es 2.7% (0.027). La pendiente del río aumenta a medida que sube la cota de la cuenca. La pendiente mínimo

identificado es 1.2% (0.012) y la pendiente máxima se ubica en la naciente del río con un valor de 5.94% (0.0594). En el cuadro 2, se indica las pendientes promedio por tramos de 5 kilómetros.

Cuadro 2. Pendiente del río Pativilca

Nº	X	Y	Pendiente (m/m)	Nº	X	Y	Pendiente (m/m)
0	194375	8811810		20	262743	8850503	0.0316
1	198507	8814613	0.0144	21	264020	8854876	0.0120
2	202661	8817312	0.0144	22	265263	8859314	0.0268
3	207121	8819499	0.0134	23	266882	8862789	0.0422
4	212090	8819615	0.0146	24	266361	8866369	0.0516
5	217017	8819704	0.0140	25	268788	8869618	0.0262
6	221556	8821748	0.0138	26	269343	8873725	0.0292
7	226267	8823098	0.0140	27	266237	8876773	0.0304
8	230500	8824326	0.0166	28	263325	8880273	0.0424
9	234352	8825499	0.0150	29	264182	8884710	0.0416
10	238502	8826159	0.0136	30	266311	8888380	0.0396
11	243114	8826614	0.0178	31	266331	8892771	0.0268
12	246315	8829168	0.0150	32	269300	8895665	0.0400
13	249636	8831933	0.0160	33	270149	8900152	0.0362
14	253393	8833353	0.0202	34	268577	8904246	0.0244
15	257840	8832451	0.0170	35	266418	8907680	0.0234
16	261234	8834706	0.0190	36	263224	8908891	0.0542
17	262510	8838982	0.0184	37	261545	8905515	0.0594
18	260199	8842527	0.0290	38	261630	8904617	
19	262116	8846430	0.0300				

### 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

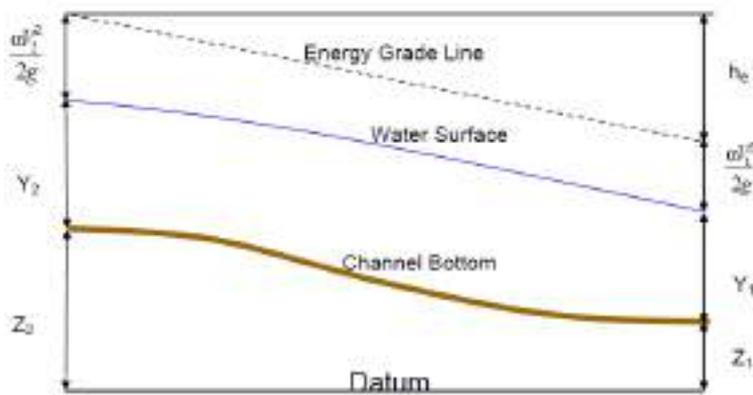
Los cálculos están orientados a flujo unidimensional, para flujo estacionario gradualmente variado y para régimen mixto (subcrítico y supercrítico). Desarrollado con la ecuación de la energía, por un proceso iterativo: standart step method. Que resuelve la ecuación dinámica del flujo gradualmente variado 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
- $\alpha_1$  y  $\alpha_2$  = 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

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 <sup>3</sup> /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

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

<input checked="" type="radio"/>	Fondo y Orillas de Arena .....	K1 = 5.70
<input type="radio"/>	Fondo Arena y Orillas de Material Cohesivo .....	K1 = 4.20
<input type="radio"/>	Fondo y Orillas de Material Cohesivo .....	K1 = 3.60
<input type="radio"/>	Fondo y Orillas del cauce de Grava .....	K1 = 2.90
<input type="radio"/>	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:

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

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

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

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 m<sup>3</sup>/s

S: pendiente

B: ancho estable (m)

##### **Simons**

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

Donde:

$K_2$ : coeficiente que depende del tipo de material del fondo y orillas del cauce

Cuadro 3. Valores de  $K_2$

Material	$K_2$
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

## 6.2 Granulometría

Se realizaron investigaciones geotécnicas mediante 10 excavaciones exploratorias (calicatas), en las riberas del río Pativilca. Los resultados se presentan en anexos y un resumen en el cuadro 5.

Cuadro 4. Granulometría del cauce del río Pativilca

Progresiva	D50 (mm)	Símbolo	Características generales	Capacidad portante (Kg/cm <sup>2</sup> )
0-10	0.3	S.M.	Arenas, con finos y componente limoso	1.37
10-15	0.2	S.M.-S.C.	Arenas, con finos, componente limoso y componente arcilloso	1.1
15-35	9.5	G.P.	Gravas limpias, pobremente graduadas	2.82
35-50	4.0	S.P.	Arenas limpias, pobremente graduadas	2.14
50-186	12.5	G.W.	Gravas limpias, bien graduadas	2.1

### 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 5, se muestra los valores del coeficiente de Manning ("n") del cauce y llanura del río Pativilca.

Cuadro 5. Valores de Manning

Tipo de canal y descripción	Minimo	Normal	Máximo
A. Cauces naturales			
<b>1. Canales principales</b>			
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
<b>2. Llanura de inundación</b>			
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. Saucos densos, en verano, rectos	0.11	0.15	0.2
<b>3. Cauces de montañas, sin vegetación en el canal, márgenes usualmente empinados, con árboles y arbustos sobre márgenes sumergidos</b>			
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:

$\gamma_m$  : peso volumétrico (específico) del material seco a una profundidad de  $H_s$  (ton/m<sup>3</sup>)

$\beta$  : 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

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

$\varphi$ : factor de corrección por forma de transporte de sedimento

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

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

$\mu$  : 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 deleznable o solubles que formen 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 6, se indica la profundidad de socavación general para los diferentes tramos del río Piura.

Cuadro 6. Profundidad de socavación

Nº	X	Y	Pendiente (m/m)	D <sub>50</sub> (mm)	Ancho estable (m)	Coefficiente de rugosidad	Q (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad sin sedimentos (m/s)	Velocidad con sedimentos (m/s)	Longitud (Km)	Tirante (m)		Socavación (m)			
0	194375	8811810														
1	198507	8814613	0.0144	0.3	140-160	0.030	592	5.4	9.3	5	2.20	2.00	3.65	3.30		
2	202661	8817312	0.0144		140-160	0.035		5.0	9.4	10	2.20	2.10	3.55	3.20		
3	207121	8819499	0.0134	0.2	140-160	0.035		5.0	9.9	15	2.20	2.10	3.90	3.55		
4	212090	8819615	0.0146	9.5	140-160	0.035		5.0	6.1	20	2.20	2.10	1.35	1.20		
5	217017	8819704	0.0140		140-160	0.030		5.3	5.9	25	2.20	2.00	1.45	1.30		
6	221556	8821748	0.0138		140-160	0.030		5.3	5.9	30	2.20	2.00	1.45	1.30		
7	226267	8823098	0.0140		110-150	0.035		5.0	6.1	35	2.30	2.10	1.65	1.30		
8	230500	8824326	0.0166	4.0	70-90	0.040		5.2	7.8	40	2.50	2.30	2.30	1.90		
9	234352	8825499	0.0150		70-90	0.040		5.1	7.5	45	2.60	2.30	2.90	2.00		
10	238502	8826159	0.0136		65-80	0.040		4.7	7.0	50	2.50	2.30	2.70	2.30		
11	243114	8826614	0.0178	12.5	65-80	0.040	511.5	5.2	6.8	55	2.40	2.20	2.00	1.70		
12	246315	8829168	0.0150		65-80	0.040		4.9	6.3	60	2.40	2.30	1.95	1.65		
13	249636	8831933	0.0160		65-80	0.040		5.0	6.5	65	2.40	2.30	2.00	1.65		
14	253393	8833353	0.0202		60-75	0.040		5.5	7.2	70	2.40	2.20	2.25	1.90		
15	257840	8832451	0.0170		60-75	0.040		5.2	6.7	75	2.40	2.30	2.15	1.80		
16	261234	8834706	0.0190		60-75	0.040		5.4	7.0	80	2.40	2.20	2.20	1.85		
17	262510	8838982	0.0184		55-75	0.040		417.6	5.1	6.6	85	2.30	2.10	2.00	1.55	
18	260199	8842527	0.0290		55-70	0.040			6	8	90	2.20	2.00	2.20	1.80	
19	262116	8846430	0.0300		12.5	50-70		0.040	365.6	5.9	7.9	95	2.10	1.90	2.15	1.65
20	262743	8850503	0.0316			50-70		0.040		6	8.1	100	2.10	1.90	2.20	1.65
21	264020	8854876	0.0120	55-70		0.040	4.2	5.3		105	2.20	2.10	1.55	1.25		
22	265263	8859314	0.0268	50-70		0.040	5.6	7.5		110	2.10	1.90	2.10	1.60		
23	266882	8862789	0.0422	40-65		0.040	330	6.6		9	115	2.00	1.80	2.55	1.75	
24	266361	8866369	0.0516	40-65		0.040		7.1		9.9	120	2.00	1.80	2.65	1.80	
25	268788	8869618	0.0262	40-65		0.040		5.5		7.3	125	2.10	1.90	2.30	1.55	
26	269343	8873725	0.0292	12.5		35-50	0.040	176.1		5	6.5	130	1.60	1.60	1.60	1.20
27	266237	8876773	0.0304			35-50	0.040			5.1	6.7	135	1.60	1.60	1.60	1.20
28	263325	8880273	0.0424			30-48	0.040			5.7	7.7	140	1.60	1.50	1.95	1.30
29	264182	8884710	0.0416		30-48	0.040	5.7		7.7	145	1.60	1.50	1.95	1.30		
30	266311	8888380	0.0396		25-38	0.040	110.8		5.1	6.8	150	1.40	1.40	1.50	1.10	
31	266331	8892771	0.0268		25-38	0.040			4.4	5.7	155	1.40	1.40	1.40	1.00	
32	269300	8895665	0.0400		25-38	0.040			5.1	6.8	160	1.40	1.40	1.50	1.10	
33	270149	8900152	0.0362		25-38	0.040			4.9	6.5	165	1.40	1.40	1.50	1.05	
34	268577	8904246	0.0244													
35	266418	8907680	0.0234													
36	263224	8908891	0.0542													
37	261545	8905515	0.0594													
38	261630	8904617														

# Capítulo VII: Propuesta de medidas estratégicas



## INDICE

<b><i>CAPITULO VII.....</i></b>	<b><i>154</i></b>
<b><i>PROPUESTA DE MEDIDAS ESTRATEGICAS.....</i></b>	<b><i>154</i></b>
<b>3.1 Planteamiento general .....</b>	<b>154</b>
<b>3.2 Medidas estructurales en el cauce principal .....</b>	<b>156</b>
<b>3.3 Medidas estratégicas en afluentes.....</b>	<b>158</b>
<b>3.4 Medidas no estructurales .....</b>	<b>163</b>
<b>3.5 Recomendaciones de diseño.....</b>	<b>163</b>

### **Listado de figuras**

<i>Figura 1. Modelo de espigones de gaviones</i>	155
<i>Figura 2. Dique o muro de gaviones</i>	156
<i>Figura 3. Construcción de dique y protección con revestimiento de roca u otro material</i>	156
<i>Figura 4. Modelo de dique transversal para el control de quebradas</i>	159
<i>Figura 5. Terrazas de absorción</i>	161
<i>Figura 6. Zanjas de infiltración</i>	161
<i>Figura 7. Terrazas de formación lenta</i>	162
<i>Figura 8. Obras de control y conservación de suelos</i>	162

### **Listado de cuadros**

<i>Cuadro 1. Relación de estructuras de protección en el distrito de Pativilca</i>	157
<i>Cuadro 2. Relación de estructuras de protección en el distrito de Barranca</i>	157
<i>Cuadro 3. Relación de estructuras de protección en el distrito de Cochabambas</i>	158
<i>Cuadro 4. Relación de estructuras de protección en el distrito de Manas</i>	158

## CAPITULO VII

### PROPUESTA DE MEDIDAS ESTRATEGICAS

#### 3.1 Planteamiento general

1. El planteamiento de las medidas estratégicas comprende medidas estructurales (diques, espigones, reforestación, muros, etc.) y no estructurales (descolmatación, delimitación y monumentación de la faja marginal, capacitaciones, sistema de alerta temprana, etc.).
2. Se ha trazado un eje del río Pativilca, que va desde el litoral hasta la parte más alejada de la cuenca, cuya longitud total es 186 kilómetros.
3. Tomando como referencia el eje, se ha trazado el ancho estable, para un tiempo de retorno de 50 años. Los primeros 30 kilómetros el ancho natural es mayor al ancho estable, coincidiendo con la luz de los puentes.
4. El ancho estable en el valle se ha considerado la luz de los puentes hasta empalmar el ancho estable.
5. Las estructuras de protección como los espigones, se han planteado con la finalidad de direccionar el flujo, evitando que las fuerzas de la corriente erosionen las márgenes o riberas. En conjunto estas estructuras van a crear zonas de sedimentación entre ellas, reconstituyendo o recuperando áreas de terrenos y márgenes. Son ubicados en forma transversal al flujo del agua y pueden ser con roca, piedra enmallada u otro material adecuado a la zona.

#### **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.

- o La longitud de los radios de curvatura (R) medidos hasta el eje del río debe estar entre los límites  $2.5B < R < 8B$ .
- o La longitud de los espigones ( $L_t$ ) debe estar entre los siguientes límites:  $h \leq L_t \leq B/4$ , donde h, es el tirante medio y B, es ancho estable del río.

En la figura 1, se muestra una estructura típica de espigones con gaviones, conformados con cajas de malas galvanizadas y colchones tipo Reno.

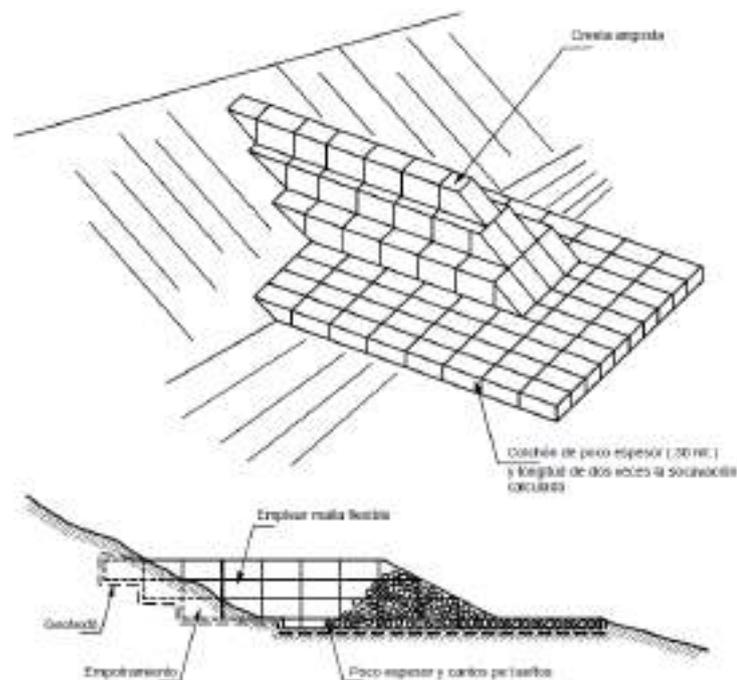


Figura 1. Modelo de espigones de gaviones

6. Las estructuras de protección como los diques paralelos al flujo, se han planteado con la finalidad de proteger las riberas o márgenes de las erosiones y desbordes laterales.

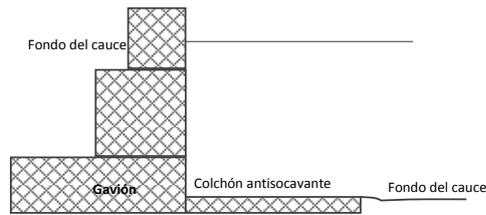


Figura 2. Dique o muro de gaviones

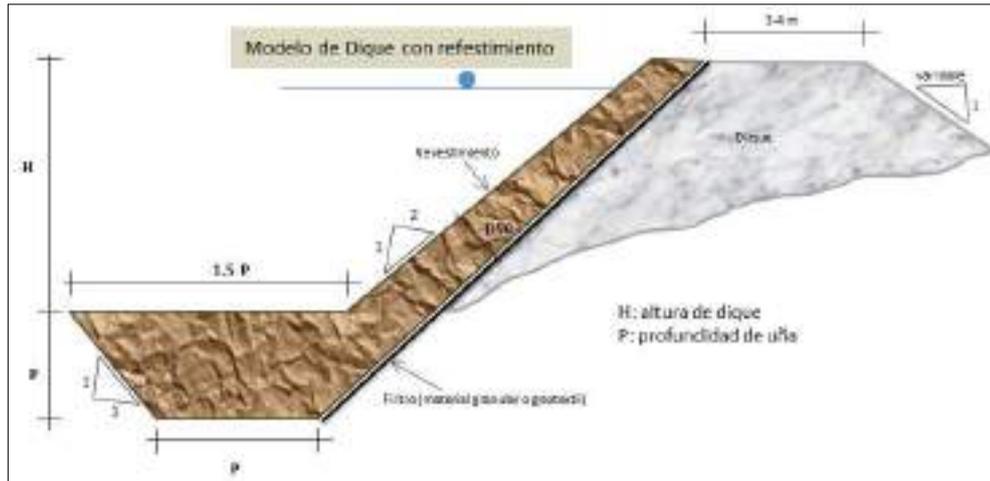


Figura 3. Construcción de dique y protección con revestimiento de roca u otro material

7. 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.

### 3.2 Medidas estructurales en el cauce principal

Teniendo en cuenta el nivel de riesgo y los elementos expuestos del sector se han identificado las siguientes estructuras.

#### A. Distrito de Pativilca.

Se han considerado intervenir en 9 sectores que contempla 6 530 metros de espigones, 2 910 metros de diques y el mejoramiento de 3 160 metros de diques existentes.

En el cuadro 1, se muestra la relación de estructuras de protección en el distrito de Pativilca.

Cuadro 1. Relación de estructuras de protección en el distrito de Pativilca

Nº	Distrito	Sector	Provincia	Tipo de estructura propuesta	Longitud	Margen	Ubicación UTM				Punto crítico
							X <sub>inicio</sub>	Y <sub>inicio</sub>	X <sub>fin</sub>	Y <sub>fin</sub>	
01	Pativilca	Puente Bolívar	Barranca	Espigones	420	Derecha	195029	8812489	195378	8812718	01
02	Pativilca	Puente Bolívar	Barranca	Dique	1000	Derecha	195383	8812720	196224	8813262	01
03	Pativilca	Puente Bolívar	Barranca	Descolmatación	440	Derecha	196224	8813262	196565	8813581	02
04	Pativilca	Molino Alto-Puntizuela	Barranca	Dique	1500	Derecha	199786	8815721	200886	8816749	03
05	Pativilca	Puntuzuela	Barranca	Espigones	1050	Derecha	200886	8816749	201868	8817137	04
06	Pativilca	Providencia y Carretería	Barranca	Espigones	4500	Derecha	204295	8818267	208351	8819832	05, 06 y 07
07	Pativilca	Torreca Baja	Barranca	Espigones	560	Derecha	209374	8819832	209927	8819806	08
08	Pativilca	Bocatoma Paramonga	Barranca	Mejoramiento de dique	2620	Derecha	210483	8819739	213084	8819756	09
09	Pativilca	Bocatoma Huayto	Barranca	Mejoramiento de dique	540	Derecha	216132	8819604	216628	8819776	10
10	Pativilca	Bocatoma Huayto	Barranca	Dique	410	Derecha	216657	8819812	217040	8819960	11

## B. Distrito de Barranca.

Se han considerado intervenir en 7 sectores que contempla 10 270 metros de espigones y 2 785 metros de diques. En el cuadro 2, se muestra la relación de estructuras de protección en el distrito de Barranca

Cuadro 2. Relación de estructuras de protección en el distrito de Barranca

Nº	Distrito	Sector	Provincia	Tipo de estructura propuesta	Longitud	Margen	Ubicación UTM				Punto crítico
							X <sub>inicio</sub>	Y <sub>inicio</sub>	X <sub>fin</sub>	Y <sub>fin</sub>	
11	Barranca	Monte Arguy	Barranca	Espigones	4050	Izquierda	198880	8814698	202167	8816944	12, 13 y 14
12	Barranca	Fundo Rosales	Barranca	Espigones	860	Izquierda	203036	8817183	203766	8817666	15
13	Barranca	Fundo Rosales	Barranca	Dique	470	Izquierda	203766	8817666	204160	8817920	15
14	Barranca	Fundo Rosales	Barranca	Espigones	970	Izquierda	204580	8818159	205418	8818661	16
15	Barranca	Troncal	Barranca	Espigones	1000	Izquierda	207134	8819348	208127	8819547	17
16	Barranca	Troncal	Barranca	Dique	1100	Izquierda	208127	8819547	209196	8819480	17
17	Barranca	Roncador	Barranca	Dique	515	Izquierda	209316	8819472	209810	8819541	18
18	Barranca	Roncador	Barranca	Espigones	550	Izquierda	209810	8819541	210359	8819514	18
19	Barranca	Las Huertas	Barranca	Espigones	790	Izquierda	211480	8819467	212279	8819482	19
20	Barranca	Las Huertas	Barranca	Dique	500	Izquierda	212279	8819482	212773	8819502	19
21	Barranca	Vinto	Barranca	Dique	200	Izquierda	213871	8819261	214042	8819165	20
22	Barranca	Vinto	Barranca	Mejoramiento de dique	470	Izquierda	213313	8819444	213768	8819350	20
23	Barranca	Araya Chica	Barranca	Espigones	2050	Izquierda	217498	8819715	219346	8820631	21, 22

## C. Distrito de Cochabamba

Se han considerado intervenir en 10 sectores que contempla 2 460 metros de espigones y 3 065 metros de diques. En el cuadro 3, se muestra la relación de estructuras de protección en el distrito de Cochabamba.

Cuadro 3. Relación de estructuras de protección en el distrito de Cochas

Nº	Distrito	Sector	Provincia	Tipo de estructura propuesta	Longitud	Margen	Ubicación UTM				Punto crítico
							X <sub>inicio</sub>	Y <sub>inicio</sub>	X <sub>fin</sub>	Y <sub>fin</sub>	
24	Cochas	Espachin	Ocros	Espigones	390	Derecha	218812	8820606	219148	8820791	23
25	Cochas	Las Virgenes La Vega	Ocros	Espigones	1420	Izquierda	219722	8820829	221056	8821340	24, 25
26	Cochas	Otopongo,	Ocros	Espigones	470	Derecha	221721	8822015	222110	8822282	26, 27
27	Cochas	Alpas	Ocros	Espigones	180	Derecha	224040	8822735	224214	8822777	28, 29
28	Cochas	Bocatoma Irriga	Ocros	Dique	565	Derecha	225190	8822927	225724	8823029	30
29	Cochas	Nueva Irrigacio	Ocros	Dique	570	Izquierda	225284	8822812	225824	8822962	31
30	Cochas	Nueva Irrigacio	Ocros	Dique	390	Derecha	226356	8823224	226720	8823333	32
31	Cochas	Pasamaito	Ocros	Dique	400	Derecha	232563	8824424	232735	8824794	33
32	Cochas	Llamachupan	Ocros	Dique	740	Derecha	239647	8826013	240339	8826020	34
33	Cochas	Vilcampampa	Ocros	Dique	400	Derecha	242340	8826502	242706	8826635	35

#### D. Distrito de Manas

Se han considerado intervenir en 3 sectores que contempla 340 metros de espigones y 1825 metros de diques. En el cuadro 4, se muestra la relación de estructuras de protección en el distrito de Cajatambo.

Cuadro 4. Relación de estructuras de protección en el distrito de Manas

Nº	Distrito	Sector	Provincia	Tipo de estructura propuesta	Longitud	Margen	Ubicación UTM				Punto crítico
							X <sub>inicio</sub>	Y <sub>inicio</sub>	X <sub>fin</sub>	Y <sub>fin</sub>	
34	Manas	Cahuas	Cajatambo	Dique	230	Izquierda	246365	8829062	246474	8829261	36
35	Manas	Cahuas	Cajatambo	Dique	180	Izquierda	246580	8829442	246657	8829601	36
36	Manas	Carhuan	Cajatambo	Espigones	340	Izquierda	251235	8831690	251572	8831702	37
37	Manas	Carhuan	Cajatambo	Dique	700	Izquierda	251572	8831702	251642	8832363	37
38	Manas	Mayus	Cajatambo	Dique	715	Derecha	254045	8833326	254742	8833245	38

### 3.3 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 4, se muestra los diques transversales tipo, que se recomienda para el control de las quebradas.

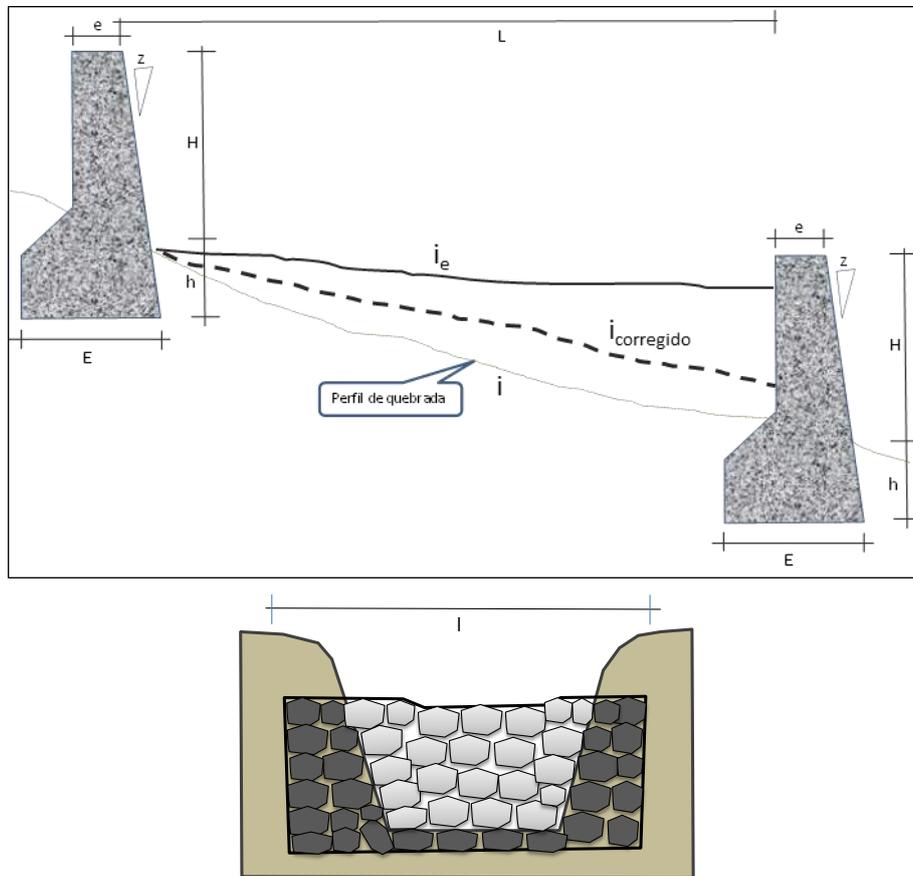


Figura 4. Modelo de dique transversal para el control de quebradas

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

Donde:

L: longitud entre dique y dique

i: pendiente natural

ie: pendiente de equilibrio

icorregido: 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%.

**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, construidos 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 5. 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 6. 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 7. Terrazas de formación lenta

En la figura 8, se muestra las obras de control y conservación de suelos para las quebradas tributarias.



Figura 8. Obras de control y conservación de suelos

### 3.4 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 riegos 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 descolmatacion 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.

### 3.5 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  $0^{\circ}$  -  $8^{\circ}$ ), considerar un área entre 200 a 500 metros de ancho en cada margen del río. En terrenos con pendientes bajas a moderadas ( $8^{\circ}$  -  $16^{\circ}$ ), 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 esorrentía.
- 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:  $e_{min}=25d_{50}(filtro)=0.5E$  (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

<b><i>CAPITULO VIII</i></b> .....	<b>171</b>
<b><i>IMPACTOS DEL ESTUDIO</i></b> .....	<b>171</b>
<b>8.1 Impactos ambientales</b> .....	<b>171</b>
<b>8.2 Impactos Socio – económico y cultural</b> .....	<b>174</b>
<b>8.3 Impactos Institucional - político</b> .....	<b>178</b>
<b>8.4 Conclusiones y Recomendaciones</b> .....	<b>179</b>

## Relación de cuadros

<i>Cuadro 1. Sitios arqueológicos.....</i>	<i>177</i>
--	------------

## Relación de figuras

<i>Figura 1. Áreas de cultivo y monte ribereño. Margen derecha del río Pativilca, Sector Puente Bolívar.....</i>	<i>172</i>
<i>Figura 2. Pyrocephalus rubinus, nombre común "Turtupilin". Sector Araya Chica, margen izquierda del río.....</i>	<i>173</i>
<i>Figura 3. Coragyps atratus, nombre común "Gallinazo cabeza negra". Sector Puntizuela..</i>	<i>174</i>
<i>Figura 4. Residuos de desmonte, 800 m aguas abajo del puente Bolívar, margen derecha del río Pativilca. ....</i>	<i>174</i>
<i>Figura 5. Residuos sólidos y desmonte, 150 m aguas arriba del puente Bolívar, margen derecha del río Pativilca.....</i>	<i>175</i>
<i>Figura 6. Residuos de desmonte, 50 m aguas arriba del puente Bolívar, margen izquierda del río Pativilca. Caserío Palmeras de Bolívar. ....</i>	<i>175</i>
<i>Figura 7. Vista de áreas de cultivo de la Comisión Araya Chica, margen izquierda del río Pativilca. Sector Araya Chica.....</i>	<i>176</i>
<i>Figura 8. Vista de áreas de cultivo de la Comisión Araya Chica, margen izquierda del río Pativilca. Sector Las Vírgenes. ....</i>	<i>176</i>
<i>Figura 9. Sitio Arqueológico Araya Grande. Sector Araya Grande, margen izquierda del río Pativilca. ....</i>	<i>178</i>

## 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*<sup>1</sup> 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 Pativilca.

El Área de Influencia Indirecta (AII) corresponde a la cuenca del Río Pativilca, tiene una superficie total de 4 577 km<sup>2</sup>. Políticamente, se localiza en los departamentos de Ancash y Lima, comprendiendo las provincias de Bolognesi y Ocros; y Cajatambo, Huaura y Barranca respectivamente. Altitudinalmente, se extiende desde el nivel del mar hasta la línea de cumbres de la Cordillera Occidental de los Andes, cuyos puntos más elevados están sobre los 4000 m.s.n.m. Ver detalle en mapa de 01 (Anexos).

El Área de Influencia Directa (AID) tiene una superficie total de 110 km<sup>2</sup>, considerando el área de la llanura de inundación, el cauce natural del río Pativilca, puntos críticos y las estructuras proyectadas; así mismo, abarca algunas áreas de los distritos adyacentes al cauce. Políticamente se localiza en los distritos de Pativilca y Barranca en la provincia de Barranca, departamento de Lima; distritos de Cochas y Acas en la provincia de Ocros, departamento de Ancash; y el distrito de Manas en la provincia de Cajatambo departamento de Ancash. Ver detalle en mapa 49 (Anexos).

#### 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, principalmente en el valle del río Pativilca, el estudio propone la proyección de defensas ribereñas. Ver detalle en mapas de medidas estratégicas (Anexos).

---

<sup>1</sup> En el CAPITULO VII, se detallan las Propuestas de medidas estratégicas.

El conocimiento de la ecología es esencial para la determinación de los impactos potenciales y producidos por la proyección de obras de defensa, por lo que se debe identificar las zonas de vida existentes. Ver detalle en mapa 50 (Anexos).

1. Desierto desecado Subtropical (**dd-S**).- Abarca los distritos de Pativilca y Barranca desde la zona costera y hasta la quebrada Piedra Hueca parte baja del valle del río Pativilca, la biotemperatura media anual máxima es de 22.2°C y la media mínima de 17.9 °C. El promedio máximo de precipitación total por año es de 44 mm (La Punta, Lima). Según el diagrama de Holdridge, el promedio de evapotranspiración potencial por año, varía entre 32 a 74 veces el valor de la precipitación y, por lo tanto se ubican en la provincia de humedad DESECADO.

En el valle encontramos comunidades vegetales como El Tillandsial y Monte ribereño y algunos parches de especies vegetales que se encuentra en comunidades de Gramadales y Ceibales. No se han considerado estas dos últimas comunidades para la zona de estudio pues la presencia de especies propias no es significativa. Se presentan formaciones típicas de las riberas fluviales de la costa, es decir, comunidades perennifolias, tillandsiales, herbáceas, trepadoras, arbustivas, arbóreas y áreas de cultivo propio de los valles. Las medidas estratégicas de tipo estructural generan un impacto positivo a esta zona ecológica por ejemplo en la figura 1, se observa la defensa ribereña (dique enmallado), que ante un evento extraordinario de precipitaciones actúa como estructura de protección ante inundación protegiendo áreas de cultivo.



Figura 1. Áreas de cultivo y monte ribereño. Margen derecha del río Pativilca, Sector Puente Bolívar.

## 2. Desierto superárido Premontano tropical (**ds-PT**)

Esta zona de vida se distribuye principalmente en el distrito de Cochas presenta una biotemperatura media anual máxima de 16,4°C y una media anual mínima de 10,6°C. El promedio máximo de precipitación total anual es de 102,2 mm y el promedio mínimo de 63,5 mm. Como el lugar geográfico que ocupa presenta promedios de precipitación muy por debajo para esta Zona de Vida, se considera, que se caracteriza por la presencia de vegetación natural propia de desierto perárido como arbustos xerófilos, gramíneas efímeras en aquellos lugares un tanto más húmedos propios de las vegas y lechos de los ríos secos o al lado de las riberas de los valles aluviales irrigados, así se tiene el “algarrobo”, “sapote” y “fayque” de los géneros (Proposopis, Capparis y Accasia, respectivamente), “caña brava” (Gynerium sagittatum), “pájaro bobo” (Tesaria integrifolia) y “Chilca” (Baccharis sp), entre los más importantes.

Las medidas estratégicas de tipo estructural generan un impacto positivo de forma indirecta a la protección de especies de Fauna silvestre típicas de la zona, por ejemplo en la figura 2, se observa a la especie *Pyrocephalus rubinus*, nombre común “Turtupilin”, que se alimenta especialmente de insectos que caza generalmente en vuelo; habita en campos abiertos, montes y entre la vegetación acuática. Al proteger las zonas adyacentes al cauce del río pativilca con obras de defensa ribereña, proyectadas en zonas críticas ante inundaciones, se está protegiendo el hábitat de estas especies.



Figura 2. *Pyrocephalus rubinus*, nombre común “Turtupilin”. Sector Araya Chica, margen izquierda del río.



Figura 3. *Coragyps atratus*, nombre común "Gallinazo cabeza negra". Sector Puntizuela.

## 8.2 Impactos Socio – económico y cultural

La cuenca del río Pativilca es una próspera zona agrícola en la que destaca la producción de caña de azúcar con uno de los ingenios azucareros más importantes del país como es CAP Paramonga, en donde además de azúcar se elabora papel. También destaca la producción de maíz, zapallo, sorgo, camote y diversas especies vegetales, dependiendo de las condiciones climáticas de altitud, temperatura y disponibilidad de agua.

Se han registrado residuos sólidos y materiales de construcción aguas arriba y aguas abajo del Puente Bolívar en ambas márgenes del río Pativilca, disminuyendo la sección hidráulica del río, lo que podría ocasionar debilitamiento de las estructuras como efecto de la socavación.



Figura 4. Residuos de desmonte, 800 m aguas abajo del puente Bolívar, margen derecha del río Pativilca.



Figura 5. Residuos sólidos y desmonte, 150 m aguas arriba del puente Bolívar, margen derecha del río Pativilca.



Figura 6. Residuos de desmonte, 50 m aguas arriba del puente Bolívar, margen izquierda del río Pativilca. Caserío Palmeras de Bolívar.

Las medidas estratégicas de tipo estructural generarán un impacto positivo en el medio socioeconómico, se protegerán las áreas de cultivos enmarcadas dentro de las comisiones de regantes: Galpón, Paramonga, Huayto, La Vega Otopongo, Llamachupan en la margen derecha del Río Pativilca, las comisiones de Potao, Vinto y Araya en la margen izquierda del río, así mismo se pretende la defensa de centros poblados como el Sector Puente Bolívar, infraestructuras de riego (canales, bocatomas) y vial (carreteras, trochas y puentes) ante posibles inundaciones. Ver detalle en mapa 51 (Anexos).



Figura 7. Vista de áreas de cultivo de la Comisión Araya Chica, margen izquierda del río Pativilca. Sector Araya Chica



Figura 8. Vista de áreas de cultivo de la Comisión Araya Chica, margen izquierda del río Pativilca. Sector Las Vírgenes.

Asimismo estas medidas de tipo estructural evitan 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.

Por otro lado, en la cuenca Pativilca se identificaron importantes sitios arqueológicos registrados por el Ministerio de Cultura que potencian la zona, no solo para la investigación sino también la construcción de la riqueza cultural e identidad local.

En el Cuadro 1, se han registrado los sitios arqueológicos identificados y en el mapa 52, se observa su distribución la espacial en la cuenca del río Pativilca. Esta potencialidad aun no se ha explotado en su máximo esplendor solo se encuentran identificados, por tal motivo no existe un circuito turístico que invite conocer estas zonas arqueológicas para dinamizar la economía rural. Ver detalle en Mapa 05 (Anexos).

Cuadro 1. Sitios arqueológicos

N°	Sitios Arqueológico	Este	Norte
1	Cerro Campana	201361	8817567
2	Cerro Campana Sector A y B	201289	8817878
3	Cerro Campana Sector Ay B	201393	8818043
4	Providencia	203624	8819394
5	Pampa San Alejo o Guayabito Sector 1	206817	8817514
6	Roncador	207421	8818542
7	Huayto	209815	8820671
8	Las Huertas	210857	8818897
9	Araya Grande	212406	8818743
10	Aterrazamiento Araya Grande	213510	8818497
11	La Isla 2	220724	8822052
12	La Isla 1	220931	8822129

Fuente: Ministerio de Agricultura

La ejecución de las estructuras proyectadas permitirá la protección de posibles afectaciones de éstos sitios arqueológicos ante eventuales lluvias que se susciten en el área de influencia. Asimismo la cantera CRX-1 de agregados, se ubica en Cochas adyacente al sitio arqueológico “La Isla 1”, en esta zona se tomaran medidas preventivas al realizar la extracción del material. La cantera CRX-2 de roca ígnea intrusiva, se ubica en el sector Vinto Alto y no afectara ningún sitio arqueológico.

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 planteadas contempla y prioriza la conservación del patrimonio cultural histórico.



Figura 9. Sitio Arqueológico Araya Grande. Sector Araya Grande, margen izquierda del río Pativilca.

### **8.3 Impactos Institucional - político**

Al contar con un estudio de tratamiento integral de cauce para la cuenca del río Pativilca, 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.
- ✓ Para la extracción de material en la cantera CRX-1 de agregados se deberá seguir ciertas pautas de prevención y protección ante posible afectación al sitio arqueológico “La Isla 1”.
- ✓ 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 Pativilca; 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 Pativilca.

#### **Geología y geotecnia**

Los principales peligros geológicos registrados en la Cuenca del río Pativilca corresponden a: inundación fluvial, erosión fluvial, flujos de detritos, caídas de rocas y derrumbes; siendo los distritos de: Pativilca, Cochabambas y Manas, los que han tenido una mayor ocurrencia de peligros geológicos.

Las investigaciones geotécnicas tuvieron lugar en los sectores de Vinto, Potao, Las Vegas, Las Alpas, San Telmo, Huayllillas, Tres Cruces, Vilcapampa, Torrecilla Alta, Cochabambas (Cantera Agregados) y Vinto (Cantera de Enrocado).

En base, a los resultados de laboratorio de mecánica de suelos se determinaron materiales granulares de clasificación SUCS: SW, SM, SC, GW, GP, GM y GC; de capacidad portante 1.10 a 2.82 Kg/m<sup>2</sup> y asentamientos que no superan los 1.00 cm. En la mayoría de los 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 Cochabambas y Vinto; constituidas por gravas mal gradadas de clasificación SUCS GP y rocas intrusivas graníticas caracterizadas por su alta dureza, resistencia a la meteorización, elevada densidad, diámetros superiores a 1.00 metro, disponibilidad superior a 2,000 m<sup>3</sup> y rendimiento de cantera por encima de los 80%, las mismas

que reúnen las especificaciones requeridas para su utilización en la construcción de obras de defensas ribereñas.

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

### **Caudales máximos y parámetros hidráulicos**

El presente estudio abarca todo el cauce; por lo tanto, fue necesario establecer 7 puntos o estaciones de control para calcular los caudales.

Con fines de diseño de defensas ribereñas, dimensionamiento de las estructuras, cálculo de los parámetros fluviales, se recomienda periodos de retorno de 50 años para zonas agrícolas y 100 años para zonas urbanas.

El valor del Coeficiente de Gravelius se encuentra entre 1 y 2; por lo tanto, tendrá una tendencia a las crecidas; sin embargo, se debe tener en cuenta otras características de la cuenca como cobertura, pendiente que influyen en las crecidas.

### **Vulnerabilidad**

Se han identificado 38 puntos críticos ante inundaciones y erosión de riberas en 5 distritos, poniendo en riesgo 62 viviendas, el puente Bolívar de la Panamericana, 850 metros de la Panamericana Norte, 3470 metros de vías afirmadas, 677 Ha de

cultivos agrícolas, 04 bocatomas de captación, 11510 metros de canales de riego y la afectación de 16630 Ha de cultivos.

También, se han identificado 08 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.

Se recomienda la ejecución de obras mecánico estructurales y reforestación en la parte alta de la cuenca o cabeceras, para disminuir el arrastre de sedimentos y la capacidad erosiva de la escorrentía, producto de las altas precipitaciones.

### **Análisis fluvial**

La pendiente promedio del río Pativilca es 2.7% (0.027). La pendiente del río aumenta a medida que sube la cota de la cuenca. La pendiente mínimo identificado es 1.2% (0.012) y la pendiente máxima se ubica en la naciente del río con un valor de 5.94% (0.0594).

El ancho estale varía de acuerdo a la pendiente, caudales y a la altitud de la cuenca variando desde los 25 metros en la parte alta de la cuenca hasta los 160 metros en el valle. Sin embargo, los primeros kilómetros se ha considerado un ancho aproximado de 300 metros, haciendo coincidir con el ancho de los puentes.

La granulometría varía de acuerdo a la ubicación del cauce, en el valle el diámetro 50 de las partículas varían de 0.2 a 0.3 milímetros y en la parte media y alta, el diámetros 50 varía de 4 a 12.5 milímetros.

Se ha analizado las velocidades del flujo, considerando el agua clara y con sedimentos, siendo mayores las velocidades en las condiciones del flujo con sedimentos, siendo ésta la situación que se debe considerar en la evaluación o formulación de proyectos.

Considerando eventos hidrológicos para periodos de retorno de 50 años, los tirantes de agua que se producen pueden alcanzar los 2.60 metros de altura.

En estas condiciones, la socavación general puede llegar hasta los 3.90 metros de profundidad.

### **Propuesta de medidas estratégicas**

Para disminuir el riesgo o vulnerabilidad ante inundaciones recurrentes y extremas, se propone medidas estructurales y no estructurales.

#### **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**

De acuerdo a las condiciones de cada sector del cauce, se ha propuesto principalmente diques revestidos de roca, gaviones, u otro material adecuado; espigones, mejoramiento de diques y descolmatación.

#### **c. Medidas estructurales en quebradas**

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

### **Impactos ambientales**

- o Los impactos generados por la ejecución de los proyectos propuesto por este estudio, serán principalmente positivos. Los impactos negativos generadas por las medidas estructurales son temporales, de carácter mitigable y controlable.

- Cuando se aproveche los materiales de las canteras, deberá seguir ciertas pautas de prevención y protección ante posible afectación al sitio arqueológico “La Isla 1”.
  
- 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 Pativilca; 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.