



**División de Medio Ambiente, Desarrollo Rural y Gestión  
de Riesgo de Desastres  
CSD/RND**

**BOLIVIA RESILIENTE FRENTE A LOS RIESGOS CLIMÁTICOS  
(BO-L1188, BO-T1298; ATN/OC-16082-BO, BO-T1239/ATN/OC-14904-BO)**

**INFORME DE AVANCE No. 1**

**ANÁLISIS DEL RIESGO DE INUNDACIONES Y  
DESLIZAMIENTOS INCLUYENDO LOS ESCENARIOS DE  
CAMBIO CLIMÁTICO, IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS  
CRÍTICOS DE INTERVENCIÓN Y DISEÑO DE OBRAS A  
NIVEL DE INVERSIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO ROCHA Y  
CUENCA ALPACOMA**



**Ingeniería Técnica y Científica S.A.S.  
Calle 83 # 16A – 44 Oficina 606  
Tel.: (57-1) 702 2947  
Bogotá D.C., Colombia**

**Agosto de 2017**

## Dirección y Coordinación de Grupos de Trabajo Técnico

**Luis Eduardo Yamin**  
Dirección General del Proyecto

**Juan Sebastián Echeverry**  
Coordinación Técnica

**Juan Felipe Velandia**  
Ingeniero Especialista

## Especialistas y Asesores

**Mauricio F. Villazón**  
Ingeniero Especialista (BOL)

**Fabiana Viscarra**  
Ingeniera Especialista (BOL)

**Catalina González**  
Ingeniera Especialista

**Daniel Ávila**  
Ingeniero Especialista

**Fabio Amador**  
Ingeniero Especialista

**Johner Correa**  
Especialista SIG

**Pablo Pardo**  
Asistente Técnico (BOL)

## CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.....	1
1.1	GENERALIDADES .....	1
1.2	OBJETIVOS Y ALCANCES .....	3
1.3	CONSIDERACIONES Y LIMITACIONES .....	6
1.4	ZONA DE ESTUDIO .....	7
1.4.1	Cuenca del río Rocha .....	7
1.4.2	Cuenca Alpacoma .....	9
2	IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS.....	11
2.1	PUNTOS CRÍTICOS POR INUNDACIÓN.....	11
2.1.1	Estudios previos de amenaza y riesgo de inundación .....	11
2.1.2	Visitas de campo .....	15
2.2	PUNTOS CRÍTICOS POR DESLIZAMIENTOS.....	27
2.2.1	Estudios previos de susceptibilidad por deslizamientos.....	28
2.2.2	Visitas de campo .....	30
2.2.3	Villa Exaltación y Tejada Alpacoma.....	30
2.2.4	Titiri.....	34
3	OBRAS DE MITIGACIÓN DE INUNDACIONES.....	38
3.1	TIPOS DE INTERVENCIONES PLANTEADAS.....	38
3.1.1	Acondicionamiento hidráulico .....	38
3.1.2	Gaviones de reconformación.....	39
3.1.3	Protección de diques en curvas .....	40
3.1.4	Compuertas de regulación.....	41
3.1.5	Conformación de laguna de regulación.....	43
3.1.6	Recuperación del cauce.....	44
3.2	DISEÑOS PRELIMINARES DE OBRAS .....	45
3.2.1	Cochabamba .....	45

3.2.2	Colcapirhua .....	46
3.2.3	Quillacollo.....	47
3.2.4	Vinto.....	49
3.2.5	Sipe Sipe.....	50
3.3	PRESUPUESTO PRELIMINAR DE OBRAS Y REQUERIMIENTO DE MANO DE OBRA ....	51
4	OBRAS DE MITIGACIÓN DE DESLIZAMIENTOS .....	56
4.1	TIPOS DE INTERVENCIONES PLANTEADAS.....	56
4.1.1	Reconformación geométrica con anclajes pasivos .....	56
4.1.2	Control de drenaje pluvial .....	57
4.1.3	Drenaje subterráneo.....	59
4.1.4	Control de erosión con diques en gavión .....	60
4.1.5	Control de erosión con canalización abierta.....	61
4.1.6	Control de erosión con canalización cerrada.....	61
4.1.7	Obras de bioingeniería .....	62
4.2	DISEÑOS PRELIMINARES DE OBRAS .....	62
4.2.1	Villa Exaltación.....	62
4.2.2	Titiri.....	65
4.3	PRESUPUESTO PRELIMINAR DE OBRAS .....	67
5	REFERENCIAS .....	69

## Índice de Figuras

Figura 1. Ubicación geográfica de la cuenca del Río Rocha.....	8
Figura 2. Ubicación geográfica de la zona expuesta en la cuenca del Río Rocha.....	9
Figura 3. Ubicación de la cuenca Alpacoma.....	10
Figura 4. Susceptibilidad a las inundaciones para la cuenca del río Rocha .....	12
Figura 5. Manchas de inundación para diferentes periodos de retorno .....	13
Figura 6. Levantamiento de edificaciones expuestas en la cuenca del río Rocha .....	13
Figura 7. Curva de pérdida máxima probable vs. periodo de retorno .....	14
Figura 8. Mapa de riesgo de inundaciones para el escenario crítico de análisis para la cuenca del río Rocha.....	15
Figura 9. Predios alrededor del río Rocha en la zona periurbana de Cochabamba .....	18
Figura 10. Condición actual del cauce del río en zona periurbana de Cochabamba .....	18
Figura 11. Condición actual del cauce del río Rocha y la laguna Alalay en la zona urbana de Cochabamba .....	19
Figura 12. Condición actual del cauce del río en zona periurbana de Colcapirhua .....	20
Figura 13. Zona de confluencia con torrentera en Colcapirhua .....	21
Figura 14. Zona de pico de loro donde se adelanta intervención en Colcapirhua.....	21
Figura 15. Primer tramo del río Rocha en Quillacollo .....	22
Figura 16. Estructura de retención y captación de agua para riego en Quillacollo .....	22
Figura 17. Segundo tramo del río Rocha en Quillacollo.....	23
Figura 18. Canalización de torrentera en concreto armado en Quillacollo .....	23
Figura 19. Confluencia de torrentera con el río en Quillacollo .....	23
Figura 20. Condición actual de laguna Cotapachi en Quillacollo .....	24
Figura 21. Canal de salida de laguna en concreto armado y compuerta de descarga al río en Quillacollo .....	24
Figura 22. Condición actual del cauce del río Rocha en Vinto .....	25
Figura 23. Protección de curvas con gavión en Vinto.....	25
Figura 24. Condición actual de sector del pico de loro en Vinto .....	25
Figura 25. Condición actual del primer tramo del río Rocha en Sipe Sipe .....	26
Figura 26. Condición actual del segundo tramo del río Rocha en Sipe Sipe .....	27
Figura 27. Resultados típicos de análisis de susceptibilidad a los deslizamientos: a) nivel país y b ) La Paz.....	28
Figura 28. Población en zonas susceptibles por deslizamientos por municipios .....	29
Figura 29. Ubicación de las áreas Villa Exaltación y Tejada Alpacoma .....	31
Figura 30. Flanco izquierdo del proyecto Villa Exaltación.....	32
Figura 31. Vista calzada de adoquines (Av. Panorámica), en cabecera de ladera del proyecto Villa Exaltación.....	32
Figura 32. Vista panorámica hacia lado norte de la cabecera de Villa Exaltación.....	32
Figura 33. Zona inestable en Tejada Alpacoma .....	33
Figura 34. Vista en planta de obras con movimiento de tierra en Tejada Alpacoma .....	33
Figura 35. Ubicación de la torrentera Titiri.....	34
Figura 36. Microcuencas de aporte a la torrentera Titiri.....	34
Figura 37. Vista cabecera de microcuencas en zona de la torrentera Titiri.....	35
Figura 38. Vista aguas arriba de primera estructura de diques de gaviones en torrentera Titiri .....	36
Figura 39. Sedimentación de áridos en zona actual de explotación en Titiri .....	36
Figura 40. Vista del espesor de material granular depositado en la zona actual de sedimentación en Titiri .....	37

Figura 41. Sección transversal del río después de acondicionamiento hidráulico .....	39
Figura 42. Acondicionamiento hidráulico en el municipio de Vinto .....	39
Figura 43. Sección transversal del río después de reconformación con diques en gavión.....	40
Figura 44. Esquema general del dique lateral del río conformado con gavión .....	40
Figura 45. Esquema general del dique de protección en curvas del río conformado con gavión .....	41
Figura 46. Protección de diques en curvas en el municipio de Vinto .....	41
Figura 47. Vista en planta de esquema de compuertas de regulación en torrenteras .....	42
Figura 48. Vista frontal de esquema de compuertas de regulación en torrenteras .....	43
Figura 49. Vista lateral de esquema de compuertas de regulación en torrenteras.....	43
Figura 50. Esquema de obras de conformación de dique perimetral en laguna de regulación .....	44
Figura 51. Esquema de sección transversal de canal de conducción a laguna de regulación .....	44
Figura 52. Esquema de intervención de recuperación del cauce .....	45
Figura 53. Localización de obras planteadas en Cochabamba .....	46
Figura 54. Localización de obras planteadas en Colcapirhua .....	47
Figura 55. Localización de obras planteadas en Quillacollo .....	49
Figura 56. Localización de obras planteadas en Vinto.....	50
Figura 57. Localización de obras planteadas en Sipe Sipe.....	51
Figura 58. Anclajes pasivos y reconformación geométrica .....	57
Figura 59. Esquema de drenajes superficiales.....	58
Figura 60. Esquema de detalle cuneta y zanja de coronamiento .....	58
Figura 61. Esquema de drenaje subterráneo.....	59
Figura 62. Esquema de detalle de salida de drenaje en cara de talud.....	59
Figura 63. Esquema de detalle de filtro tipo francés .....	60
Figura 64. Esquema de control de cauce con diques en gavión .....	60
Figura 65. Esquema de control de cauce con canalización en concreto ciclópeo o gavión .....	61
Figura 66. Esquema de control de cauce con canalización cerrada en concreto armado .....	61
Figura 67. Esquema de reforestación con sistema tresbolillo .....	62
Figura 68. Localización de obras planteadas en Villa Exaltación.....	63
Figura 69. Localización de obras planteadas en Titiri.....	65

## Índice de Tablas

Tabla 1. Datos relevantes de las zonas susceptibles en la cuenca del río Rocha .....	12
Tabla 2. Resumen de la información contenida en los archivos de exposición .....	13
Tabla 3. Resultados generales de riesgo por inundación.....	14
Tabla 4. Resumen de resultados del escenario crítico para la cuenca del río Rocha.....	15
Tabla 5. Indicadores de riesgo por deslizamientos por municipio .....	29
Tabla 6. Priorización de sitios críticos ante amenaza de deslizamientos .....	30
Tabla 7. Costos unitarios de referencia para actividades de obras .....	52
Tabla 8. Distribución porcentual de mano de obra, maquinaria y materiales para actividades de obras .....	52
Tabla 9. Costos unitarios de tipos de obras de mitigación de inundaciones .....	53
Tabla 10. Presupuesto preliminar de obras de mitigación en Cochabamba .....	53
Tabla 11. Presupuesto preliminar de obras de mitigación en Colcapirhua .....	54
Tabla 12. Presupuesto preliminar de obras de mitigación en Quillacollo.....	54
Tabla 13. Presupuesto preliminar de obras de mitigación en Vinto.....	54
Tabla 14. Presupuesto preliminar de obras de mitigación en Sipe Sipe.....	55
Tabla 15. Presupuesto general de obras de mitigación de inundaciones.....	55
Tabla 16. Criterios sugeridos en taludes de corte.....	57
Tabla 17. Cantidades de obra de Villa Exaltación .....	64
Tabla 18. Cantidades de obra de control de erosión del cauce en Titiri.....	66
Tabla 19. Cantidades de obra de reforestación en Titiri.....	66
Tabla 20. Presupuesto preliminar de obras de Villa Exaltación.....	67
Tabla 21. Presupuesto preliminar de obra de control de erosión del cauce en Titiri.....	68
Tabla 22. Presupuesto preliminar de obra de reforestación en Titiri .....	68

# **1 INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES**

## **1.1 GENERALIDADES**

La gran diversidad geográfica en Bolivia, debido a que el territorio nacional es travesado por dos cordilleras que forman parte de la cadena montañosa de Los Andes, genera una división del país en seis regiones naturales: cordillera occidental, cordillera real, altiplano, región sub andina, llanura Chaco, y el escudo brasileño. Debido a la diversidad en relieve del territorio boliviano, en el país se generan múltiples fenómenos climáticos y a su vez, estos fenómenos ocasionan una amenaza específica a cada región. En las regiones del altiplano y las cordilleras, se presentan constantemente inundaciones, deslizamientos y actividad sísmica moderada, afectando a la población y las zonas de cultivo considerablemente.

Por otra parte, en Bolivia, similar a lo que ha venido ocurriendo en todos los países latinoamericanos en las últimas décadas, la población urbana ha presentado un alto crecimiento poblacional, llegando a representar cerca del 60% de la población total (The Democracy Center, 2015). Esto, añadido con una falta de planeación y medidas adecuadas de control, ha ocasionado un deterioro de la vida urbana, profundizando la crisis económica, social y medio ambiental, tanto así que se ha estimado que cerca del 50% de la población boliviana se encuentra en situación de vulnerabilidad social (Chipana, 2013). En la mayoría de ciudades, la capacidad gubernamental de proveer los servicios básicos a toda la población ha sido sobrepasada, lo que ocasiona la formación de asentamientos vulnerables a los diferentes fenómenos naturales. Desde finales del 2003 hasta la fecha, en Bolivia han fallecido más de 400 personas por causa de diversos fenómenos naturales.

Entre 2014 y 2016 el Banco Interamericano de Desarrollo BID apoyó al Gobierno del Estado Plurinacional de Bolivia en una reforma de política pública en el área de gestión del riesgo de desastres (GRD a través de una serie programática de dos operaciones (BO-11104 y BO-11107). Mediante dicha reforma Bolivia ha adoptado un moderno marco normativo, institucional y presupuestal para la GRD que está basado en buenas prácticas internacionales. A raíz de dicha reforma, el Gobierno de Bolivia ha solicitado al Banco este nuevo préstamo de inversión que corresponde al Programa: “Bolivia Resiliente frente a los Riesgos Climáticos” (BO-L1188), cuyo fin será financiar la implementación del proceso de reducción de riesgos que está contemplado en el nuevo marco legal.



Con el programa, se pretende realizar inversiones dirigidas a mejorar la resiliencia de Bolivia frente a los riesgos climáticos a través de la reducción del riesgo de inundaciones, deslizamientos y sequías en zonas priorizadas, principalmente en las áreas urbanas. El Programa tiene 3 componentes:

1. Componente 1: Reducción del riesgo climático. El cual incluirá actividades de identificación y mitigación de riesgos climáticos, realización de estudios de riesgos de inundación y deslizamientos que consideren los efectos del cambio climático (CC) a nivel municipal y de cuenca, y el diseño y ejecución de obras de reducción del riesgo y adaptación al CC.
2. Componente 2: Gestión del conocimiento sobre riesgos climáticos. El cual incluirá las actividades de fortalecimiento de capacidades de las instituciones del gobierno central y local involucradas en el análisis del riesgo climático y las entidades responsables del mantenimiento de las obras de mitigación implementadas con la operación.
3. Componente 3: Administración del Proyecto. Este componente incluirá el personal técnico y administrativo, auditorías, evaluación de medio término de la ejecución y evaluación de impacto.

En ese marco se identificó el presente proyecto correspondiente al análisis del riesgo de inundaciones y deslizamientos incluyendo los escenarios de cambio climático, identificación de puntos críticos de intervención y diseño de obras a nivel de inversión en la cuenca del río Rocha y cuenca Alpacoma, como parte de la cobertura del Programa “Bolivia Resiliente frente a los Riesgos Climáticos” (BO-L1188).

El proyecto tiene como fin llevar a cabo el estudio detallado, definición de puntos críticos, metodologías de análisis, selección de obras de muestra, y diseños de detalle para obras de mitigación de inundaciones y deslizamientos en la zona de estudio seleccionada. Estas servirán como obras de muestra para su posterior implementación en otras zonas vulnerables del país.

Para alcanzar, entonces, el objetivo general de identificar y cuantificar el riesgo de catástrofe de un país, es necesario desarrollar un método que permita tener en cuenta las amenazas naturales en forma integral, que incluya de la manera más completa posible la exposición de los bienes de infraestructura –teniendo en cuenta sus principales características–, que considere la vulnerabilidad específica de cada componente de dicha infraestructura y que finalmente permita la evaluación del riesgo mediante un proceso de cálculo probabilista apropiado teniendo en cuenta las incertidumbres propias de un proceso de este tipo, las inevitables limitaciones en la información y la capacidad de cómputo electrónico.

## 1.2 OBJETIVOS Y ALCANCES

El objetivo principal de este estudio es realizar el análisis de riesgos de inundaciones y deslizamientos incluyendo los escenarios de cambio climático, identificar los puntos críticos intervención y diseño de obras de mitigación de inundaciones y deslizamientos a nivel de inversión en la sub cuenca del rio Rocha y cuenca Alpacoma, como parte de la cobertura del Programa “Bolivia Resiliente frente a los Riesgos Climáticos”.

Para el desarrollo de este proyecto, se requiere llevar a cabo las siguientes actividades específicas:

1. Análisis y recopilación de información. Se utiliza como insumo principal la información generada con los estudios realizados por el BID: “Perfil de Riesgo de Desastres para Bolivia” (RG-T2416), el estudio “Desarrollo del perfil de inversión pública para la reducción del riesgo de desastres” (RG-T2434), y el estudio “Integración de escenarios de cambio climático en un estudio de cálculo probabilista de precipitación y análisis de susceptibilidad de inundaciones, sequía y deslizamientos para Bolivia” (BO-T1249). Así mismo, se considera información complementaria, especialmente hidrológica y de áreas bajo amenaza de inundaciones y deslizamientos, datos de pérdidas históricas, población e infraestructura crítica expuesta, usos de suelo, entre otros. También se considera la información existente referente a diseños de obras de mitigación, estudios hidrológicos e hidráulicos.
2. Análisis de riesgos para inundaciones y deslizamientos incluyendo los escenarios de cambio climático e identificación de puntos críticos. Esta actividad cuenta con las siguientes sub actividades:
  - Para el análisis de riesgos por inundación, se lleva a cabo la modelación existente realizada con el estudio “Perfil de Riesgo de Desastres para Bolivia” (RG-T2416), incluyendo los escenarios de cambio climático.
  - Evaluar, completar y ajustar al área de intervención, los estudios de amenaza por deslizamientos existentes elaborados con el estudio “Integración de escenarios de cambio climático en un estudio de cálculo probabilista de precipitación y análisis de susceptibilidad de inundaciones, sequía y deslizamientos para Bolivia” (BO-T1249).
  - Identificación de puntos y zonas críticas. En base a la recopilación de información realizada, se lleva a cabo la identificación de puntos y zonas críticas para su intervención con obras de mitigación por inundaciones y deslizamientos dentro de la cuenca del rio Rocha y cuenca Alpacoma, respectivamente.
  - Elaboración de la modelación del riesgo a inundaciones y deslizamientos integrando escenarios de cambio climático en los puntos críticos. A partir de estas modelaciones se generan los cálculos del riesgo probabilista, referencias de valores de diseño para precipitaciones máximas y mínimas para distintos periodos de retorno, entre otros. Los

resultados se expresan en forma de mapas, figuras y gráficas, con diferentes periodos de retorno y duraciones.

3. Diseño de obras a nivel de inversión para inundaciones y deslizamientos, que conformen la muestra correspondiente al 30% del total de la inversión de la Operación BO-L1188. Para esto se llevan a cabo las siguientes actividades:
- Verificar/identificar los puntos críticos de intervención en donde estarán ubicadas las obras pertenecientes a la muestra, con el fin de mitigar las inundaciones y deslizamientos.
  - Definir la tipología de obras para inundaciones y deslizamientos, para lo cual se toma como insumo las obras para inundaciones previamente identificadas y analizadas en el estudio “Desarrollo del perfil de inversión pública para la reducción del riesgo de desastres” (RG-T2434).
  - Todas las tipologías de obras deben ser intensivas en mano de obra y deben estar ubicadas prioritariamente en las áreas urbanas; adicionalmente deben ser útiles para la mitigación del riesgo por inundaciones y deslizamientos, protegiendo a la población expuesta y/o infraestructura crítica y líneas vitales de las áreas intervenidas.
  - Realizar visitas de campo para el levantamiento de datos, incluyendo los estudios topográficos necesarios.
  - Realizar los planos constructivos detallados de las obras incluyendo secciones transversales y planta. Dichos planos presentan la localización de los hitos y puntos con GPS que permitan localizar espacialmente las obras.
  - Realizar las especificaciones técnicas de las obras con recomendaciones puntuales para su secuenciación lógica en el tiempo y en el espacio que contribuya a estructurar las fases de implementación y forma de organizar la mano de obra comunitaria.
  - Realizar el presupuesto detallado, incluyendo las fichas de cantidades de obra y precios unitarios.
  - Elaborar la propuesta de pliegos de licitación para obras. El presupuesto consolidado de dicha propuesta asciende a un mínimo de US\$12 millones de dólares.
  - Revisar que cada una de las obras cumpla con los requerimientos establecidos por los Planes Municipales de Ordenamiento Territorial vigentes, especialmente en relación a las restricciones de áreas urbanas previamente asentadas en zonas de alto y muy alto riesgo, donde es viable la mitigación del riesgo en la zona del proyecto. Asegurar que las obras

seleccionadas no generen riesgo aguas abajo que implique la relocalización de los asentamientos humanos existentes.

- Coordinar y brindar información oportuna sobre los avances del diseño del proyecto y selección de la alternativa al Organismo Ejecutor (Ministerio de Medio Ambiente y Agua y el Fondo Nacional de Inversión Productiva y Social), lo cual será insumo tanto para que el consultor ambiental prepare y gestione las fichas y licencias ambientales del proyecto, como para que el FPS realice de las consultas públicas y la socialización del proyecto ante instancias pertinentes.
  - Coordinar y brindar información oportuna sobre los avances del diseño del proyecto, selección de la alternativa y costos unitarios a los consultores que el Banco contratará para el análisis ambiental y social del Programa.
  - Participar de las consultas públicas convocadas por el Organismo Ejecutor y organizadas por el consultor social contratado por el Banco, para sostener los elementos técnicos de los diseños de los proyectos, y con el apoyo del consultor ambiental socializar los impactos ambientales y sociales (positivos y negativos) y medidas de mitigación identificadas. Las consultas estarán enmarcadas dentro las políticas ambientales y sociales del Banco.
4. Análisis costo-beneficio de las obras pertenecientes a la muestra. Se evalúan los beneficios derivados de cada inversión y se estima su viabilidad económica a partir del valor presente neto de los ahorros en pérdidas económicas futuras por ocurrencia de eventos de deslizamientos e inundaciones, el ahorro en ayuda humanitaria y el valor actual de las obras de intervención. Asimismo, se realiza un levantamiento de información estadística básica para cada una de las obras que será utilizada como insumo para el desarrollo de un análisis económico paralelo a este proyecto que considere, además de los beneficios directos estimados por la firma, beneficios indirectos potenciales. El levantamiento consiste en identificar:
- El número de viviendas y población cuyo riesgo se reducirá como resultado de la obra. Se deben identificar su ubicación geográfica y un estimado de cuántas son las viviendas y la población que son afectadas por el fenómeno que se va a intervenir (inundación o deslizamiento).
  - El total de bienes salvables y número de caminos e infraestructura crítica en la zona de intervención afectados por inundaciones y deslizamientos, cuya afectación se reducirá por la obra.
  - El área de producción primaria en el caso de zonas agrícolas que son afectadas por el fenómeno.

- Para el levantamiento de los datos detallados anteriormente, se utiliza la información existente y disponible como imágenes satelitales y todo tipo de fuentes secundarias, como censo poblacional, censo agrícola, mapas de usos de suelo, catastrales, sistema vial, etc.
5. Presentación de información de obras en sistema de información geográfica. La información recopilada y generada se presenta en un sistema de información geográfica para las sub cuencas del río Rocha y Alpacoma (lugar de las obras, viviendas, población, infraestructura, afectaciones, áreas naturales, ríos, etc.).

### **1.3 CONSIDERACIONES Y LIMITACIONES**

Para el desarrollo de los diseños de las obras de mitigación ante inundaciones y deslizamientos en la cuenca del río Rocha y cuenca Alpacoma, se tienen en cuenta las siguientes consideraciones y limitaciones impartidas por el Banco y el Gobierno Nacional. Estas consideraciones y limitaciones son tomadas como directrices fundamentales y absolutas para el desarrollo de los diseños de las obras de intervención y mitigación.

1. La identificación de puntos y zonas críticas para su intervención con obras de mitigación por inundaciones y deslizamientos se basa en criterios como: (i) recurrencia de los eventos, (ii) exposición a la amenaza, incluyendo en el análisis de exposición la población, cultivos de valor e infraestructura crítica, con lo cual realiza el inventario de elementos expuestos, (iii) que las obras no tengan impactos ambientales significativos, (iv) que las obras no impliquen reubicaciones, (v) que sean aceptadas socialmente y (vi) que cumplan con la legislación local en términos de normativa de uso del suelo.
2. Los diseños hacen referencia a obras de muestra que son características del tipo de obras que pueden realizarse en la zona o en cuencas similares y que serían eventualmente realizadas por otras entidades y en el marco de otros proyectos diferentes al presente, con miras a lograr los beneficios de una reducción del riesgo integral en las zonas intervenidas.
3. Todas las tipologías de obras que se definen deben ser intensivas en mano de obra y deben estar ubicadas prioritariamente en las áreas urbanas; adicionalmente deben ser útiles para la mitigación del riesgo por inundaciones y deslizamientos, protegiendo a la población expuesta y/o infraestructura crítica y líneas vitales de las áreas intervenidas.
4. Las obras tienen como propósito fundamental la reducción del riesgo de inundación y deslizamiento. A pesar de que cada una de ellas por si solas generan una reducción del riesgo en la zona en que se implementan, éstas en conjunto no garantizan la reducción integral del riesgo de inundación y deslizamiento en la zona urbana de la ciudad. Lo anterior significa que luego de implementadas estas obras, se podrán generar eventos de inundación o deslizamientos en algunos sectores para lluvias con periodos de retorno menores al periodo de diseño considerado.

5. La selección y diseño de las obras a implementar tiene en cuenta los siguientes criterios adicionales: (i) que las obras no generen ningún impacto ambiental complementario, aún si con la misma obra se mejoran algunas condiciones existentes en relación a los altos niveles de contaminación de la zona; (ii) que ninguna de las obras promueva o implique tácitamente la legalidad de la utilización de las aguas negras del río para actividades de riego de cultivos o uso agropecuario o industrial; (iii) que ninguna de las obras genere impactos sociales que requieran retribuciones económicas o pagos a propietarios o compra de terreno, aun considerando que las eventuales obras podrían en el mediano o largo plazo generar grandes beneficios a la comunidad; (iv) que aun cuando existan otras opciones más eficientes técnicamente y a menor costo que las obras planteadas, pero en las que se generan problemáticas sociales que pueden ser complejas y que pueden requerir mayores tiempos para su implementación, se mantendrán las obras seleccionadas.

## **1.4 ZONA DE ESTUDIO**

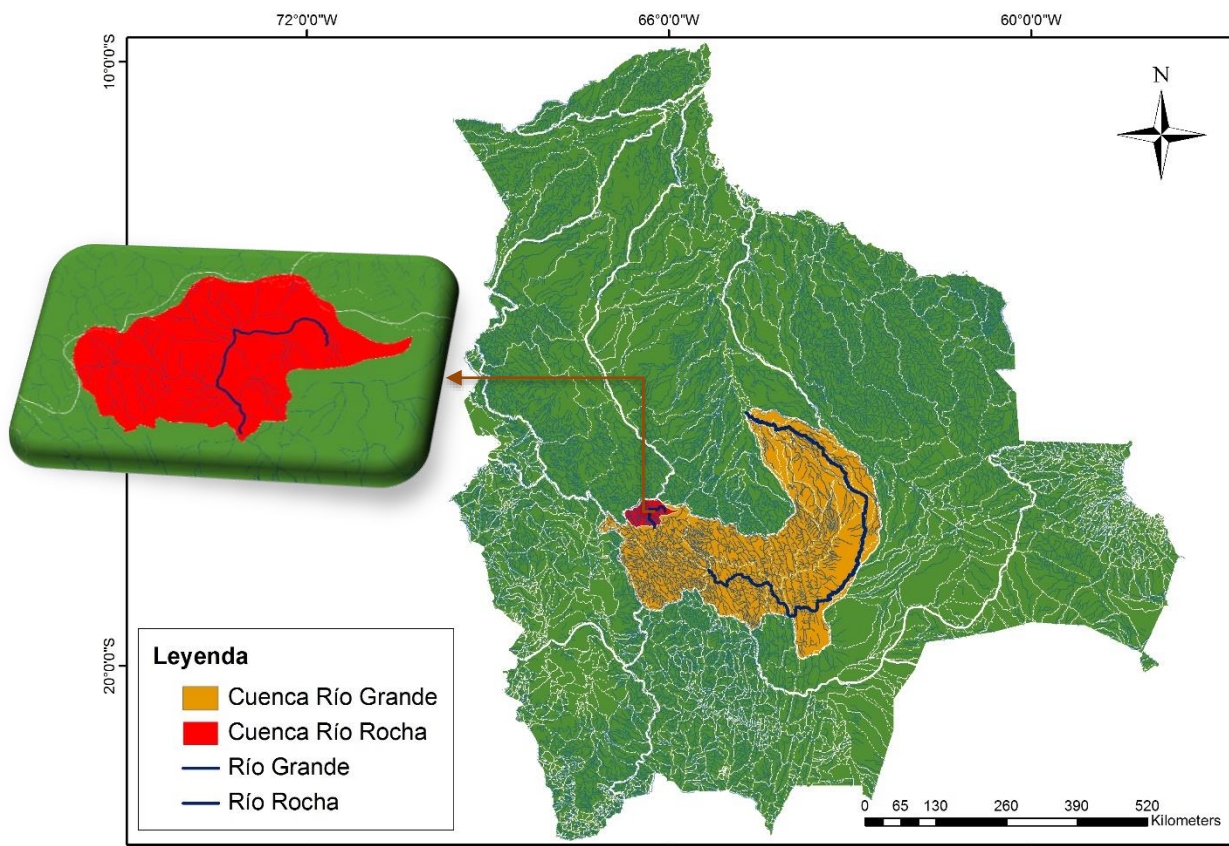
En el marco del programa, se identificaron dos zonas potenciales de cobertura del programa: (i) sub cuenca del río Rocha (Departamento de Cochabamba), particularmente los municipios de Cochabamba, Colcapirhua, Quillacollo, Vinto y Sipe Sipe, en la zona urbana y limitándose a las zonas con alta susceptibilidad a inundación; y (ii) sub cuenca Alpacoma (Departamento de La Paz), particularmente los municipios de El Alto y Achocalla, en la zona urbana y limitándose a las zonas con alta susceptibilidad a deslizamientos.. A continuación se presenta la caracterización general de cada una de ellas.

### **1.4.1 Cuenca del río Rocha**

La cuenca del río Maylanco-Rocha contenida en el departamento de Cochabamba hace parte de la cuenca alta del río Grande y tiene una superficie de 1,150 km<sup>2</sup>. La cuenca abarca cinco provincias: Chapare, Cercado, Capinota, Tapacarí y Quillacollo; y comprende un total de 11 municipios. La población total de la cuenca es de 888,506 habitantes. El río Rocha nace en la cordillera de los Andes al este de la ciudad de Sacaba a 2,635 m.s.n.m., atraviesa las ciudades de Cochabamba y Quillacollo en dirección oeste y posteriormente confluye con el río Arque para formar el río Caine a una altitud de 2,350 m.s.n.m. Su longitud es de 115 km. El río drena zonas de clima subhúmedo a seco cuyo régimen hidrológico incluye crecidas intempestivas de corta duración que arrastran gran cantidad de sólidos y modifican las condiciones del cauce.

La cuenca del río Rocha es de gran importancia pues atraviesa la ciudad de Cochabamba, cuarta ciudad más grande de Bolivia, cuya población supera el millón de habitantes y fluye a través de un valle en explosión demográfica donde predomina la invasión ilegal en zonas de inundación que contribuye a la contaminación del agua superficial y subterránea, del aire y del suelo, y aumenta la demanda de agua y la escorrentía. La falta de encausamiento y de regulación de la cuenca genera desbordes e inundaciones en la parte baja del valle, en especial en la ciudad de Quillacollo ubicada a 13 km de Cochabamba afectando familias, viviendas y cultivos.

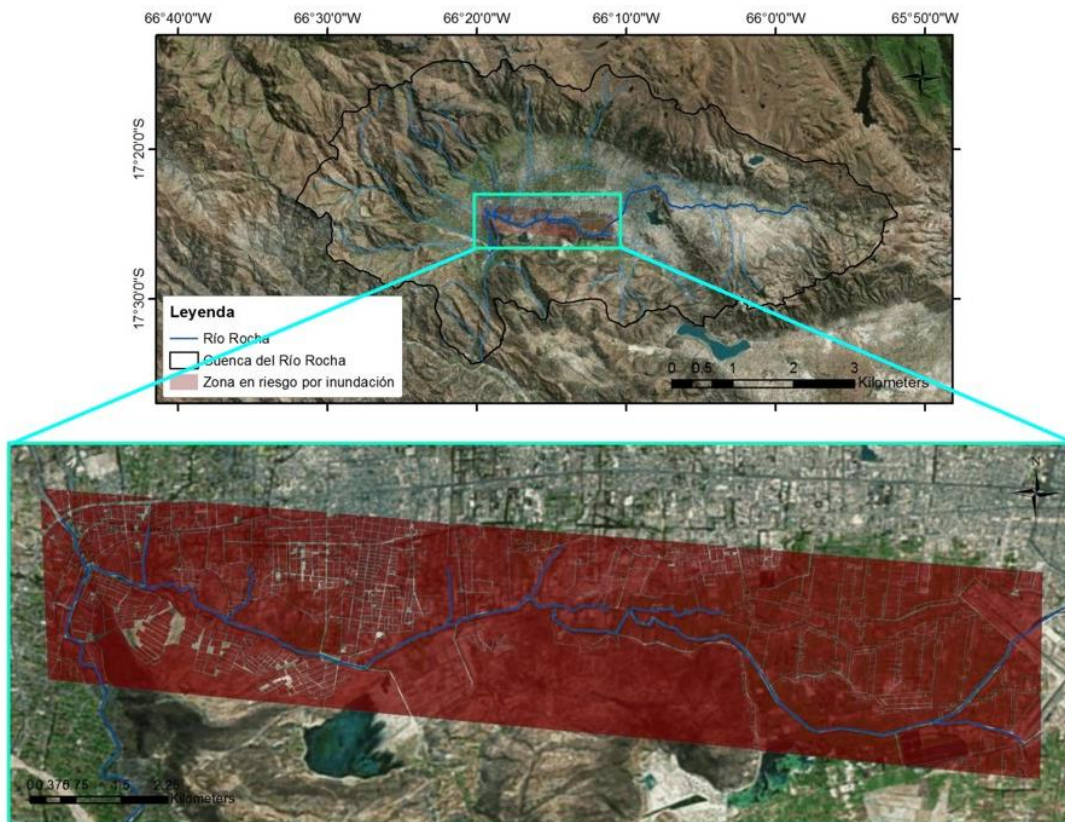




**Figura 1. Ubicación geográfica de la cuenca del Río Rocha**

**Fuente:** Capas shape de cuencas y subcuencas obtenidas del Centro Digital de Recursos Naturales de Bolivia (2014)

Esta cuenca, cuya altitud supera los 2,600 m.s.n.m., tiene precipitaciones de 1,200 mm en las cabeceras y 540 mm en los valles, donde predomina la agricultura de pequeña escala, vinculada al uso de agua para riego que en terrenos pendientes con poca cobertura vegetal incrementan las tasas erosivas y el flujo de sedimentos a través del río. La Figura 2 presenta la ubicación geográfica de la zona expuesta en la cuenca del Río Rocha, la cual es la zona a evaluar en el presente estudio. Dicha zona abarca parte de los municipios de Cochabamba, Colcapirhua, Quillacollo, Vinto y Sipe Sipe.

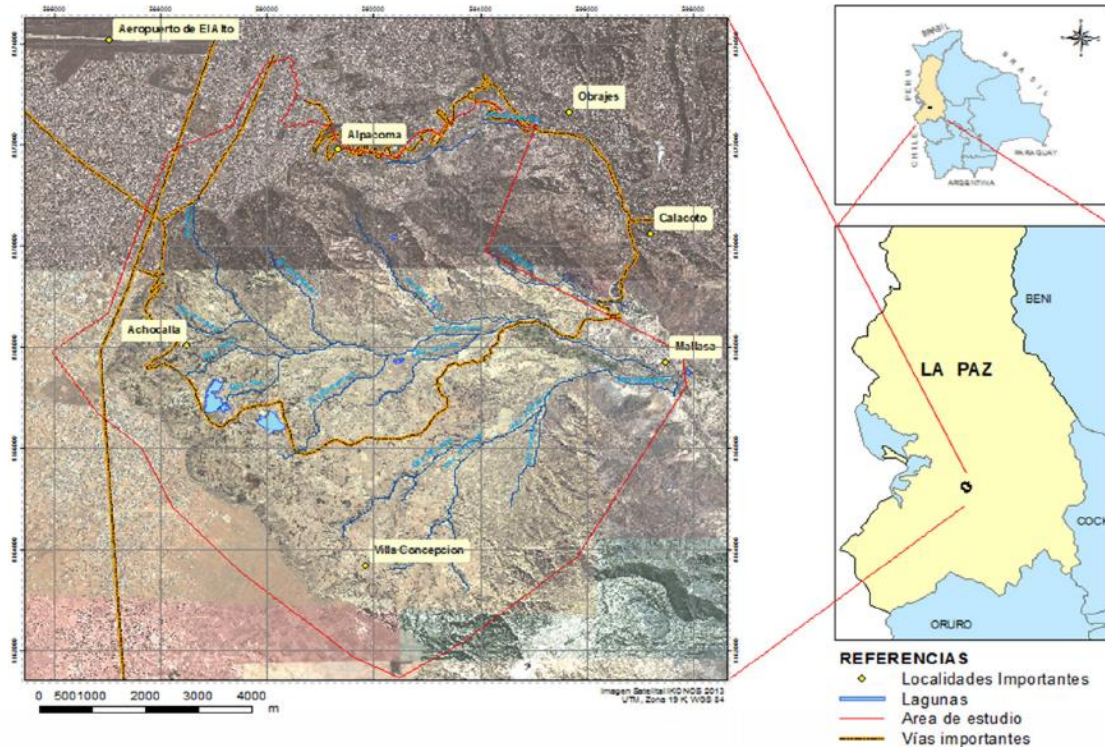


**Figura 2. Ubicación geográfica de la zona expuesta en la cuenca del Río Rocha**  
**Fuente: (BID - ITEC, 2017)**

#### **1.4.2 Cuenca Alpacoma**

El área de estudio comprende el suroeste de la ciudad de la Paz, abarcando las cuencas del río Alpacoma, río Achocalla al sur y la cuenca del río Pasajahuira al norte, con una extensión aproximada de 82 km<sup>2</sup>. En el área de estudio se han identificado 31 zonas afectadas directamente por deslizamiento, 6 en el municipio de El Alto y 25 en el municipio de Achocalla. La población total potencialmente afectada por los fenómenos de deslizamientos es de aproximadamente 32,632 personas, de las cuales 15,707 son hombres y 17,035 mujeres. Entre los sistemas productivos que se destacan en el municipio de Achocalla se encuentran la agricultura, la ganadería, la industria ladrillera, el comercio y el turismo. En el municipio de El Alto se destacan el comercio y las industrias ladrillera y de colchones.





**Figura 3. Ubicación de la cuenca Alpacoma**  
Fuente: (MPD , 2014)

Esta cuenca, cuya altitud promedio es de 3,700 m.s.n.m. (con altitudes que van de los 3,203 a los 4,078 m.s.n.m.), tiene una precipitación máxima diaria de 59,9 mm y una precipitación promedio anual de 572 mm; la cual se concentra entre los meses de octubre a abril, periodo en el que ocurre el 90% de la precipitación anual. El clima de la zona es frío, registrándose temperaturas inferiores a los 0°C durante 10 meses del año. La humedad relativa promedio es de 4.1 mm/día, típica de zonas secas con valores elevados de radiación solar.

Las cuencas estudiadas (Alpacoma, Achocalla y Pasajahuira) son cuencas semiurbanas, intermedias entre la hoyada de la ciudad de La Paz y el Alto, con una litología inestable y pendientes pronunciadas a nivel de laderas con serranías y pendientes más moderadas en la parte baja. Por la ubicación altitudinal son consideradas como altillanuras. Gran parte del área de estudio está sujeta a la pérdida de suelos, con sólo un 6,81% caracterizada como un área sin procesos erosivos. La erosión hídrica es el principal fenómeno de modelado de la geomorfología, ésta se produce principalmente durante la época de lluvias por las precipitaciones pluviales y el escurrimiento superficial resultante. La naturaleza litológica de gran parte de la capa de terreno superior de las cuencas (torrentes de barro) y las pendientes naturales de fuertes a moderadas condicionan los fenómenos de remoción en masa cuando se alcanza un cierto grado de saturación (MPD , 2014).

## **2 IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS**

### **2.1 PUNTOS CRÍTICOS POR INUNDACIÓN**

De acuerdo a los estudios previos de riesgo de inundación en la zona de estudio, se han identificado zonas críticas inundables en los márgenes del río Rocha, además de diversos factores limitantes como la capacidad inadecuada de las secciones transversales del río, falta de mantenimiento y remoción de cobertura vegetal natural del lecho del río, procesos importantes de sedimentación y arrastre de sólidos que genera acumulación de material en el lecho, ubicación de la población en los márgenes de seguridad del río, entre otros. A partir de la revisión de dichos estudios previos, además de visitas de campo realizadas como parte de este proyecto, se identificaron los puntos críticos por inundación, así como los tipos de obra que se pudiesen adelantar en estos puntos críticos.

Los principales métodos de intervención identificados para la zona consisten en la conformación de secciones transversales adecuadas que permitan contener y transitar las crecientes en temporadas de lluvias, además de sistemas complementarios de regulación que sean operados de acuerdo a la necesidad, como lo son las lagunas de regulación de crecientes, y el uso de compuertas para controlar el flujo de remanso hacia las torrenteras cuando el nivel del río se encuentre por encima de la misma. Aun cuando la mitigación del riesgo de inundaciones debe ser atendida mediante una solución integral, pues las soluciones particulares únicamente trasladan la creciente hacia otro punto en el cauce, se recopilan los factores y condiciones tenidas en cuenta para la formulación de las obras de mitigación planteadas en este estudio.

#### **2.1.1 Estudios previos de amenaza y riesgo de inundación**

Con el propósito de identificar las principales zonas inundables y aquellas de mayor potencialidad de daños en relación con impactos en la población, cultivos y zonas productivas se realizó un análisis simplificado de susceptibilidad a las inundaciones a nivel país haciendo uso del sistema de información geográfica ArcGIS. De forma complementaria, se analizaron los eventos históricos con información suficiente con el fin de tener una validación general de los resultados. La Figura 4 y la

Tabla 1 presentan los resultados del análisis simplificado de inundaciones para el río Rocha y la información relevante de las zonas susceptibles, respectivamente (BID - ITEC, 2015; BID - ITEC, 2017).



**Figura 4. Susceptibilidad a las inundaciones para la cuenca del río Rocha**  
**Fuente: (BID - ITEC, 2017)**

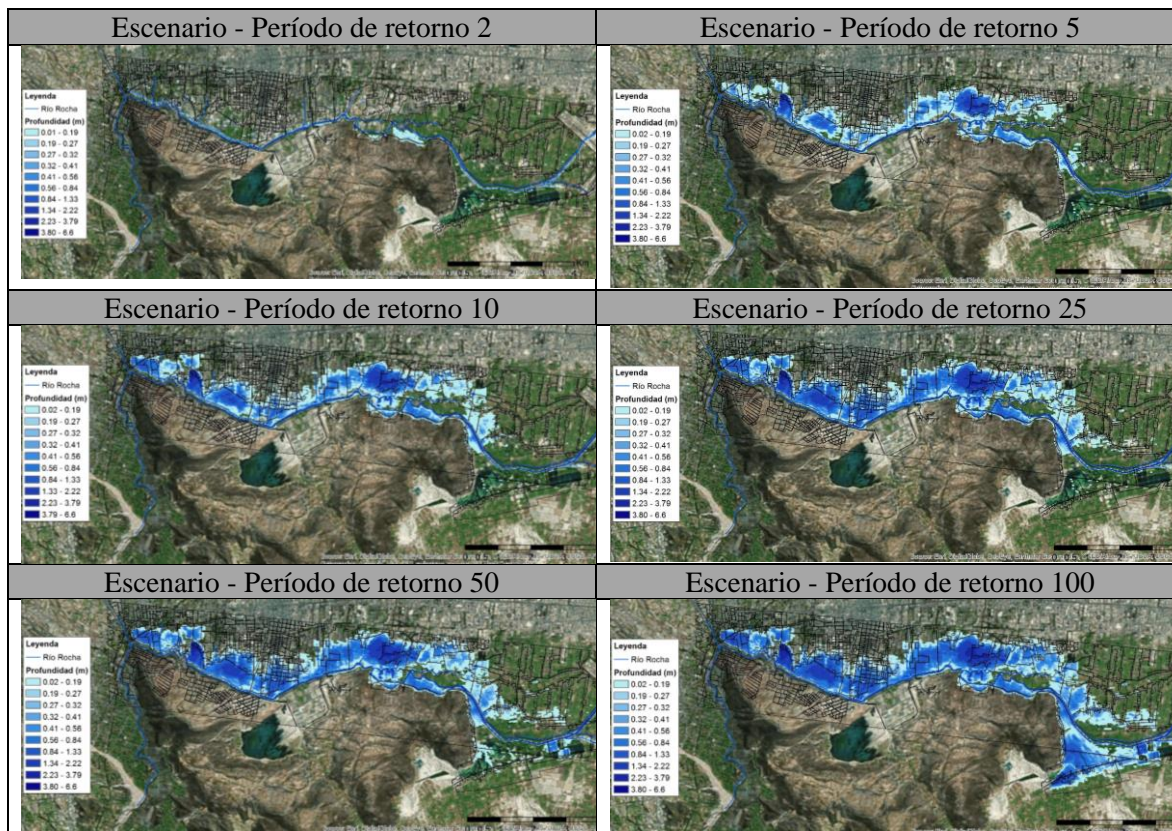
**Tabla 1. Datos relevantes de las zonas susceptibles en la cuenca del río Rocha**  
**Fuente: (BID - ITEC, 2017)**

Cuenca	Área de la zona susceptible cercana al cauce (km <sup>2</sup> )	Municipios y zonas susceptibles	Departamento	Habitantes
Rio Rocha	75	Cochabamba, Colcapirhua, Quillacollo, Vinto, Sipe Sipe y Cliza	Cochabamba	70,620

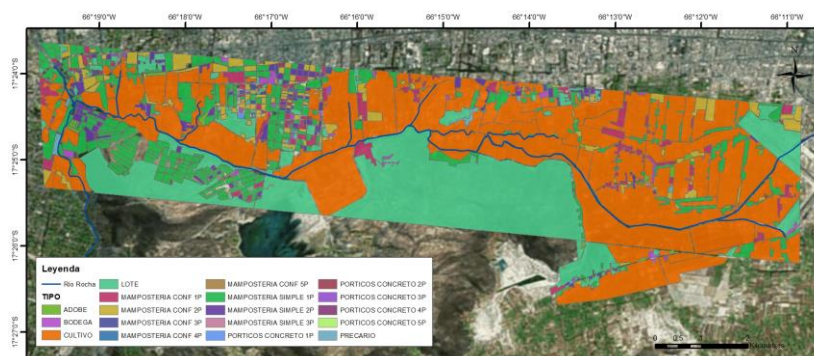
Con base en la información de amenaza de lluvias, sumado a la información de los modelos hidrológicos e hidráulicos calibrados, se generó la información de amenaza por inundación en los tramos críticos de análisis. Adicionalmente, con el software *CAPRA-GIS V2.0* se obtuvieron los mapas de amenaza probabilistas de inundación en los cuales se presenta la distribución geográfica de las profundidades de inundación para varios periodos de retorno de análisis. En la Figura 5 se presentan los mapas de amenaza por inundación probabilista para la cuenca del río Rocha.

En la Figura 6 se presenta la distribución espacial de los diferentes tipos constructivos que fueron encontrados en el área levantada de la cuenca del río Rocha. La Tabla 2 resume la información contenida en el archivo de exposición conformado.





**Figura 5. Manchas de inundación para diferentes periodos de retorno**  
Fuente: (BID - ITEC, 2017)



**Figura 6. Levantamiento de edificaciones expuestas en la cuenca del río Rocha**  
Fuente: (BID - ITEC, 2017)

**Tabla 2. Resumen de la información contenida en los archivos de exposición**  
Fuente: (BID - ITEC, 2017)

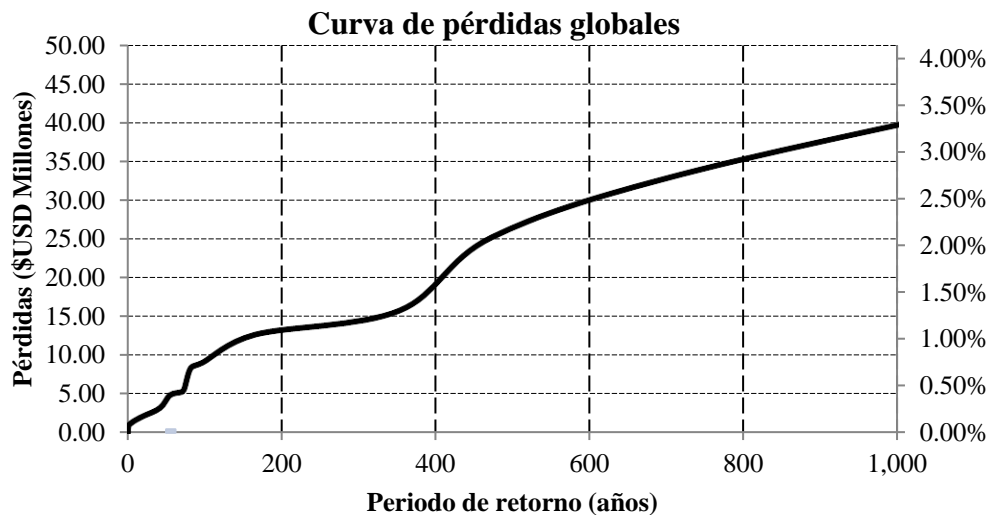
Cuenca	Área zona expuesta (km <sup>2</sup> )	Área cultivada (km <sup>2</sup> )	Área construida en planta (km <sup>2</sup> )	Longitud a lo largo del río (km)	No. habitantes en la zona	No. edificaciones en la zona
Rocha	49	25	2.23	55	58,473	13,635

Los resultados de riesgo se presentan para una duración de tormentas de un día y se limitan hasta periodos de retorno de 100 años, considerando la calidad y confiabilidad de la información disponible. La Tabla 3 y la Figura 7 presentan los resultados generales del análisis de riesgo para la cuenca del río Rocha.

**Tabla 3. Resultados generales de riesgo por inundación**

*Fuente: (BID - ITEC, 2017)*

Resultados		
Valor Expuesto en la zona de análisis	\$USD	1,207,205,849
Pérdida anual esperada	\$USD	1,118,447
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
Años	\$USD	% de valor expuesto en la zona de análisis
2	917,036	0.08
5	1,181,021	0.10
10	1,511,388	0.13
25	2,279,950	0.19
50	4,075,000	0.34
100	9,104,115	0.75



**Figura 7. Curva de pérdida máxima probable vs. periodo de retorno**

*Fuente: (BID - ITEC, 2017)*

La Tabla 4 resume los resultados del escenario crítico de la cuenca. Adicionalmente, la Figura 8 muestra el mapa de riesgo de inundación para el escenario crítico de análisis para la cuenca del río Rocha. En total se generaron 600 escenarios para el análisis.

**Tabla 4. Resumen de resultados del escenario crítico para la cuenca del río Rocha**  
*Fuente: (BID - ITEC, 2017)*

Cuenca	PAE* (millones US\$)	PML* TR=100 años (millones US\$)	Estadísticas escenario crítico						
			No. total de construcciones afectadas	No. total de construcciones destruidas	No. total de personas afectadas	No. de pérdidas humanas	Hectáreas de cultivos afectadas	Flujo económico o por cultivos (millones US\$)	Pérdida económica máxima esperada (millones US\$)
Rio Rocha	1.3	17	28,391	19,403	8,807	2	963	0.3	65

\*PAE: Pérdida anual esperada

\*PML: Pérdida máxima probable

\*\*Valores estimados con número limitado de escenarios



**Figura 8. Mapa de riesgo de inundaciones para el escenario crítico de análisis para la cuenca del río Rocha**  
*Fuente: (BID - ITEC, 2017)*

## 2.1.2 Visitas de campo

A continuación se presenta una corta descripción de las visitas de campo realizadas a la zona de estudio. Estas visitas tuvieron como fin entender y documentar la problemática en las zonas inundables del río, las condiciones actuales del cauce y los predios circundantes, además de ser realizadas en compañía de funcionarios de los municipios, obteniendo de ellos directamente una descripción detallada de los retos y planes de desarrollo que se tienen para el río Rocha.

En general, se evidencia una problemática ambiental importante alrededor del uso del agua del río Rocha para diversas actividades agrícolas y ganaderas. La alta contaminación de las aguas del río Rocha, debida a las descargas de aguas residuales domésticas e industriales a lo largo de su recorrido por los municipios, no es un impedimento para que los habitantes de los predios vecinos del río tomen



sus aguas para riego o como fuente de agua para su ganado. La gran mayoría de estas captaciones de agua del río se realizan de manera informal, sin ninguna regulación o vigilancia por parte de autoridades ambientales. Lo anterior tiene una consecuencia directa en el desarrollo del presente proyecto, pues implica que cualquier medida integral de mitigación de riesgo de inundación implementada en el río Rocha tendrá que considerar este componente ambiental como parte de la solución integral. Sin embargo, el tratamiento de las aguas contaminadas del río Rocha y la solución de la problemática ambiental no hacen parte del alcance del presente estudio y, aunque son definitivamente un problema de mayor importancia y cuidado, deberá ser tratado por una intervención y estudio posterior.

Por otro lado, la problemática social en los predios colindantes con el río está definida por dos situaciones. Primero, la mayoría de predios en las cercanías del río son pequeños latifundios, parcelaciones pequeñas, cuyo uso es principalmente agrícola o ganadero, y en general son la única fuente de ingresos de los habitantes o dueños de estos predios. Debido a este sistema de parcelación descontrolado y sin vigilancia por parte de las autoridades correspondientes, muchos predios ya habitados y productivos se encuentran dentro de las franjas o márgenes de seguridad del río, e incluso consideran de su propiedad el terreno hasta el eje del cauce del río. Lo anterior implica que una intervención que requiera la ampliación del cauce del río, o la ampliación en la base de sus diques laterales, necesariamente estaría ocupando parte de los predios vecinos. Más aún, esta ocupación podría significar, dado el tamaño de los terrenos actualmente, una ocupación de una porción significativa del predio, incluso hasta la mitad del mismo. Incluso, se verían afectadas zonas de cultivos actuales, reduciendo la productividad del predio y el ingreso familiar derivado de ésta. La comunidad no ha tomado este tipo de intervenciones de buena manera en las ocasiones que han ocurrido en el pasado, y en ciertos casos se ha tenido que compensar económicamente a los dueños de estos terrenos, aun cuando se encuentran dentro del área delimitada por los márgenes de seguridad del río.

Una segunda situación que define la problemática social es el sistema económico del uso de la tierra en las zonas alrededor del río Rocha, el cual se relaciona con la problemática ambiental. La actividad productiva primaria de la zona es la agricultura, y como se mencionó anteriormente, la captación de aguas del río para riego es una práctica común. A lo largo del cauce, se evidencia la existencia de estructuras de captación y descarga de aguas desde y hacia el río para los sistemas de riego, e incluso algunas de estas estructuras son manejadas por grupos o comunidades grandes, no únicamente individuos. Lo anterior implica que la aceptación por parte de la comunidad de las obras de intervención para control de inundaciones en el río Rocha depende de la existencia o prevalencia de este tipo de obras de captación en los diques. Sin embargo, la seguridad y funcionamiento apropiado de las opciones de mitigación del riesgo de inundación dependen en gran medida de evitar posibles puntos de escape de las aguas en eventos de crecientes, lo cual se contradice con la existencia de puntos de captación como los existentes.

La solución integral de control de inundaciones que se planteaba a priori consideraba la conformación de una sección transversal uniforme del río con capacidad hidráulica adecuada de acuerdo a las obras

adelantadas por el Servicio Departamental de Cuencas (SDC) en los municipios de Colcapirhua y Vinto, complementada con el uso y operación de lagunas de regulación de crecientes, en las actuales lagunas de Zofraco y Cotapachi, así como compuertas de regulación en las torrenteras que descargan sus aguas al río, para controlar el agua de remanso cuando el nivel del río Rocha ascendiese. Sin embargo, el planteamiento de esta solución integral generaba implícitamente la continuación de la problemática ambiental y social alrededor del río. Específicamente, la gran mayoría de sectores donde se planteaba la realización del acondicionamiento hidráulico y ampliación del cauce del río, implicaban la ocupación de terrenos pequeños colindantes. Además, la conformación de diques laterales robustos y con seguridad apropiada, generaba la interrupción de los sistemas de captación de aguas del río para riego. Por otro lado, la laguna Zofraco en el municipio de Cochabamba se encontraba totalmente seca y por ende ocupada en su totalidad por predios agrícolas, los cuales no serían voluntariamente desalojados para la conformación de una laguna de regulación.

#### **2.1.2.1 Cochabamba**

En el municipio de Cochabamba se realizaron visitas de campo en la zona periurbana, desde la planta de tratamiento de aguas residuales de Albarrancho, hasta el puente Kenamari, visitando también los predios de la laguna Zofraco. En esta zona se encontró que el cauce tiene una sección relativamente grande comparada con otros tramos del río en otros municipios, donde se evidencia la presencia de cobertura vegetal, diques laterales conformados naturalmente, sin cuidado ni mantenimiento por parte de las autoridades locales. Sin embargo, los diques son afectados por la extracción de material de aporte de manera informal e incontrolada, generando afectaciones en la estabilidad de los mismos. Se cuenta con un camino paralelo al río en relativo buen estado, que permite el tránsito para inspección y mantenimiento del mismo. Los predios circundantes al río son generalmente de uso agrícola, y en algunos casos de explotación ganadera. Se captan las aguas del río directamente para riego y abastecimiento del ganado, sin ningún tratamiento. Las aguas residuales del riego son regresadas al río, de la misma manera.

En la laguna Zofraco, se evidencia la ocupación casi total por parte de habitantes y regantes en los predios de la zona, con cultivos productivos dada las condiciones de fertilidad de la tierra. Sin embargo, se aclara por parte del municipio que, en época de lluvias, estos terrenos se inundan completamente, por lo cual la productividad de los mismos es solamente parcial durante el año.

En la zona urbana del municipio de Cochabamba, aguas arriba del aeropuerto, se evidencia una sección en piedra de ancho importante (alrededor de 40 m), pero donde el cauce del río ha sido limitado a una pequeña corriente, debido a la presencia de cobertura vegetal importante, plantación de árboles (incluso algunos de estos son especies protegidas por la ley), ubicación de elementos intrusivos en el cauce como vallas publicitarias, todos los cuales impiden la utilización de la capacidad hidráulica total de la sección en temporada de lluvias. Además, se visitó la laguna Alalay como posible sistema regulador de crecientes. Sin embargo, el acceso a la laguna Alalay es controlado por el municipio de Sacaba mediante una compuerta cerrada. Actualmente la laguna Alalay funciona como espejo de agua en la zona urbana, sin actividad recreacional ni aprovechamiento.





*Figura 9. Predios alrededor del río Rocha en la zona periurbana de Cochabamba*



*Figura 10. Condición actual del cauce del río en zona periurbana de Cochabamba*



*Figura 11. Condición actual del cauce del río Rocha y la laguna Alalay en la zona urbana de Cochabamba*

#### **2.1.2.2 Colcapirhua**

El municipio de Colcapirhua cuenta con obras de acondicionamiento hidráulico que se adelantan actualmente en todo el tramo en jurisdicción del municipio. Estas obras comprenden la conformación de sección amplias con diques conformados adecuadamente. Además, actualmente se está terminando el último tramo de intervención que consiste en remover una curva de pico de loro para facilitar el tránsito del agua por el río.

Las obras adelantadas por el Servicio Departamental de Cuencas (SDC) tienen la capacidad hidráulica adecuada para transitar la creciente en temporada de lluvias, pero aún se encuentran algunos puntos débiles en las obras realizadas. Particularmente, la socavación puede convertirse en un fenómeno importante en las curvas pronunciadas, donde la velocidad del flujo, aumentada por el incremento en capacidad hidráulica del río, puede generar remoción del material de conformación de los diques, reduciendo su seguridad. Por otro lado, la confluencia de algunas torrenteras y canales importantes no se encuentran protegidas, ni los diques han sido recalzados en estas zonas, por lo cual se presentaría una condición en que la creciente sería contenida por los diques del río, pero al entrar en la torrentera, se desbordaría en las mismas áreas de inundación, por encima de los diques pequeños de la torrentera.





*Figura 12. Condición actual del cauce del río en zona periurbana de Colcapirhua*



*Figura 13. Zona de confluencia con torrentera en Colcapirhua*



*Figura 14. Zona de pico de loro donde se adelanta intervención en Colcapirhua*

### **2.1.2.3 Quillacollo**

En la zona periurbana del municipio de Quillacollo se visitaron e identificaron diferentes zonas o puntos críticos con posibles intervenciones asociadas. Un primer tramo con condiciones deficientes del cauce, donde el ancho de la sección es pequeño, además de la presencia importante de cobertura vegetal y ausencia de mantenimiento. Esta sección termina en una estructura de represamiento del río para captación del agua para riego. El segundo tramo inicia aguas abajo de esta estructura de retención, con una sección más amplia, diques relativamente conformados, con un mantenimiento que el municipio realiza periódicamente. Además, se visitó una obra de encauzamiento de una torrentera con un canal en sección rectangular de concreto armado. Por último, la zona de la laguna Cotapachi que actualmente se piensa destinar como reserva ambiental y fines recreacionales, que cuenta con un canal de salida hacia el río en concreto armado.

Debido a las limitaciones asociadas a la problemática ambiental y social expuesta anteriormente sobre la captación de aguas para riego, se plantean obras complementarias menores como una remoción de



la cobertura vegetal en el primer tramo, y particularmente el uso de la laguna Cotapachi como sistema de regulación de crecientes, pues cuenta con una capacidad de almacenamiento importante debido a su extensión. Finalmente, se evidencia la necesidad de proteger el remanso de las aguas del río Rocha hacia las torrenteras en las confluencias, pues los diques en las torrenteras no se encuentran bien conformados hacia aguas arriba de las mismas.



*Figura 15. Primer tramo del río Rocha en Quillacollo*



*Figura 16. Estructura de retención y captación de agua para riego en Quillacollo*



*Figura 17. Segundo tramo del río Rocha en Quillacollo*



*Figura 18. Canalización de torrentera en concreto armado en Quillacollo*



*Figura 19. Confluencia de torrentera con el río en Quillacollo*





*Figura 20. Condición actual de laguna Cotapachi en Quillacollo*



*Figura 21. Canal de salida de laguna en concreto armado y compuerta de descarga al río en Quillacollo*

#### **2.1.2.4 Vinto**

La visita en el municipio de Vinto permitió identificar las obras adelantadas por el SDC de acondicionamiento hidráulico del río, las cuales se encuentran terminadas en casi toda la extensión del cauce dentro de la jurisdicción municipal. Se visitó además el sector del pico de loro en zona cercana al área urbana, donde se interrumpe este acondicionamiento debido a la presencia de una curva pronunciada. En general se observa un buen estado del cauce del río en la zona reconfigurada, con diques más altos que lo considerado en Colcapirhua, y se resalta la presencia de un reforzamiento de una curva en gavión para proteger la estructura del dique del efecto de socavación.



*Figura 22. Condición actual del cauce del río Rocha en Vinto*



*Figura 23. Protección de curvas con gavión en Vinto*



*Figura 24. Condición actual de sector del pico de loro en Vinto*



### 2.1.2.5 Sipe Sipe

La visita en la zona periurbana del municipio de Sipe Sipe permitió identificar tramos del río donde se encuentra gran cantidad de obstáculos y cobertura vegetal en el cauce. Además, se reconoció que existen especie de árboles protegidas por la ley dentro del cauce, lo cual impide su remoción. En general se observa una condición actual pobre y sin mantenimiento adecuado, donde la captación informal de agua para usos domésticos y agrícolas es común, dificultando la problemática social y ambiental alrededor del río. Por otra parte, en el tramo aguas abajo, se encontró una condición de cauce diferente, marcada por una banca considerablemente ancha, pero donde el río no tiene un camino definido.

En cuanto a las posibilidades de intervención, sería posible hacer una remoción de material y cobertura vegetal del lecho del río en casi todo el tramo, pero dada la cercanía con los predios colindantes y las condiciones de uso del agua del río, no sería posible realizar una intervención más allá de los diques actuales.



*Figura 25. Condición actual del primer tramo del río Rocha en Sipe Sipe*



*Figura 26. Condición actual del segundo tramo del río Rocha en Sipe Sipe*

## **2.2 PUNTOS CRÍTICOS POR DESLIZAMIENTOS**

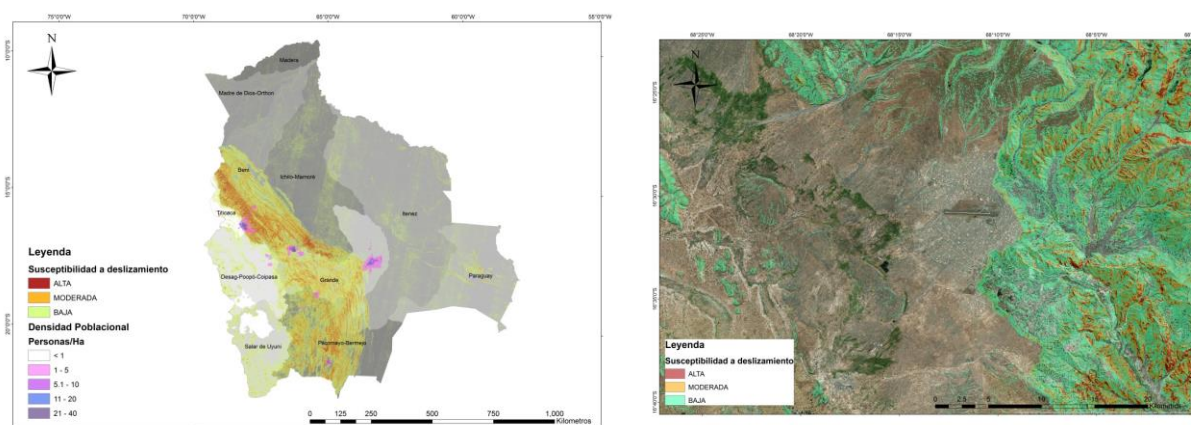
Los concurrentes eventos de deslizamiento en la cuenca de Alpacoma han hecho de la misma una zona crítica durante las épocas de lluvia. Las micro cuencas en estudio (Alpacoma, Achocalla y Pasajahuira) están caracterizadas por la presencia permanente y recurrente de fenómenos múltiples como erosión superficial hídrica, remoción de masas por deslizamientos gravitacionales, procesos de reptación por la resistencia baja de los depósitos superficiales al cizallamiento y los altos niveles de la napa freática. A partir de los registros de eventos históricos, la experiencia cotidiana de la población y el análisis preliminar de aspectos característicos de la región, se identificaron los fenómenos recurrentes de remoción en masa del terreno y los grandes caudales de agua causantes de la socavación y erosión de los cursos naturales de agua, como las dos problemáticas principales del área de estudio.

Las posibilidades de intervención de la zona se fundamentan en tres componentes básicos: hidráulico, conservación de suelos y gestión de suelos. El componente hidráulico se enfoca en la regulación del caudal producto de la precipitación, por lo que se plantean obras de regularización del cauce natural a través de diques transversales de gaviones, canalización con muros laterales flexibles de gaviones, sistemas de drenaje subterráneo conformados por galerías filtrante y drenes horizontales, y sistemas de drenaje de aguas pluviales formados por zanjas y cunetas revestidas con geotextil. Plantaciones arbustivas y arbóreas de porte mediano consolidarían la estabilización de las laderas y áreas removidas o alteradas en los alrededores de cada obra. Por otra parte, el componente de conservación de suelos promueve las medidas de estabilización de laderas y taludes a partir de la reconfiguración de su geometría, construcción de muros de tierra armada e instalación de pernos de anclaje pasivo. Por último, el componente de gestión de suelos consiste en la forestación de los márgenes de las áreas intervenidas con arbustos, en lo posible nativos, fundamentalmente en zonas desprotegidas y con presencia de procesos erosivos intensos (MPD , 2014).

## 2.2.1 Estudios previos de susceptibilidad por deslizamientos

Un análisis simplificado de susceptibilidad a los deslizamientos a nivel país se realizó con el fin de identificar las principales zonas con alta potencialidad de daños en relación a impactos en la población, en zonas productivas y en el sector vial y de transporte. De forma complementaria se realizó un análisis de los eventos históricos para los cuales existía información suficiente con el fin de tener una validación general de los resultados. La información de zonas inestables resultado de la interpretación de imágenes también fue utilizada para efectos de validación.

El análisis de indicadores de riesgo por deslizamiento se realizó para la exposición de la población y para una condición de susceptibilidad con nivel freático del terreno (basado en el régimen pluviométrico del país) y sin sismo. Esto debido a que los análisis para las condiciones sísmicas pueden guiar a situaciones altamente catastróficas y extraordinarias que serían objeto de análisis complementarios. La Figura 27 presenta los resultados de susceptibilidad a deslizamientos para la condición analizada tanto a nivel país como para la zona crítica en los alrededores de la Paz.

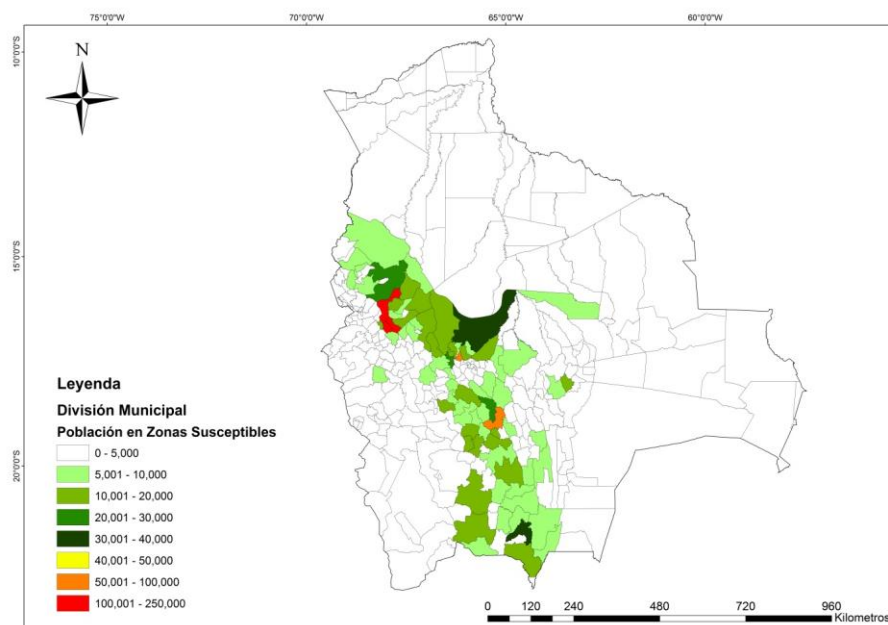


**Figura 27. Resultados típicos de análisis de susceptibilidad a los deslizamientos: a) nivel país y b ) La Paz.**

**Fuente: (BID - ITEC, 2015)**

La Figura 28 presenta la población en zonas susceptibles a deslizamientos a nivel municipal y la Tabla 5 presenta las estadísticas de los indicadores de riesgo para los 15 municipios con mayor número de personas en zonas susceptibles a deslizamiento para los resultados de la condición del análisis.





**Figura 28. Población en zonas susceptibles por deslizamientos por municipios**  
**Fuente: (BID - ITEC, 2015)**

**Tabla 5. Indicadores de riesgo por deslizamientos por municipio**  
**Fuente: (BID - ITEC, 2015)**

Departamento	Municipio	Población			Area (km <sup>2</sup> )		
		Susceptible	Total	Porcentaje	Susceptible	Total	Porcentaje
La Paz	La Paz	236,593	526,015	44.98%	1,222	1,983	61.63%
La Paz	Mecapaca	120,293	224,635	53.55%	283	504	56.16%
La Paz	Palca	102,227	173,609	58.88%	460	731	62.91%
Chuquisaca	Sucre	57,790	145,917	39.60%	836	1,781	46.94%
Cochabamba	Cochabamba	51,027	499,438	10.22%	43	284	15.11%
Cochabamba	Villa Tunari	36,284	122,038	29.73%	3,594	11,168	32.18%
Tarija	Tarija	31,836	155,473	20.48%	779	2,052	37.98%
La Paz	Guanay	26,708	52,789	50.59%	3,600	6,690	53.81%
Cochabamba	Sipe Sipe	23,447	94,730	24.75%	177	502	35.28%
Chuquisaca	Poroma	23,042	43,158	53.39%	766	1,393	54.98%
Santa Cruz	El Torno	19,313	136,495	14.15%	217	962	22.60%
La Paz	Achocalla	19,006	190,869	9.96%	26	226	11.39%
Potosí	Potosí	17,824	68,577	25.99%	345	1,252	27.56%
La Paz	Coroico	17,612	23,777	74.07%	785	1,052	74.61%
La Paz	Caranavi	17,145	44,489	38.54%	954	2,367	40.31%

Con base en los resultados observados se obtiene que los municipios con mayor número de personas en zonas susceptibles corresponden a La Paz y a Mecapaca, lo cual presenta buena correlación con el historial de eventos de deslizamientos (BID, 2015).

El estudio “Gestión Integral de la Cuenca Alpacoma” realizado por UMSS-Antea Group para el Ministerio de Planificación y Desarrollo, publicado en el 2014, permitió la identificación y evaluación de 31 sitios críticos localizados en la cuenca Alpacoma. Posteriormente, y mediante la implementación de un método multicriterio, se llegó a un ordenamiento de los sitios críticos para así priorizar la ejecución de obras de mitigación y la asignación de los recursos financieros. La Tabla 6 presenta los resultados de la priorización de los sitios críticos.

**Tabla 6. Priorización de sitios críticos ante amenaza de deslizamientos**  
Fuente: (MPD , 2014)

Escalafón	Sitio Crítico	Escalafón	Sitio Crítico
1	Senkata - Alonso	17	Río Turini
2	Villa Exaltación Alpacoma	18	Amachuma
3	Tejada Alpacoma	19	Los Pinos
4	Japari – Pucarani	20	Kespillamayú
5	31 de Octubre	21	Río Uchuri
6	Río Alpacoma	22	Koani
7	Arco Iris	23	Putiri
8	Titiri	24	Los Alamos
9	Molino Andino	25	29 de Septiembre
10	Magdalena de Cayo	26	Salviani
11	Inicio río Pasajahuira	27	Botadero Municipal La Paz
12	Final río Pasajahuira	28	Cementerios Los Andes
13	Candelaria Turini	29	Cerámica Roja
14	Marquirivi	30	Sasari
15	Río Marcamaya	31	Tomatanga
16	Cañuma		

### 2.2.2 Visitas de campo

A continuación se resumen las observaciones realizadas durante la visita de campo de puntos seleccionados en la cuenca Alpacoma (Villa Exaltación, Tejada Alpacoma, Titiri), los cuales fueron preseleccionados como posibles puntos críticos para la ejecución de obras de muestra de control de deslizamientos.

### 2.2.3 Villa Exaltación y Tejada Alpacoma

Ambos proyectos son muy próximos; el Proyecto de Villa Exaltación se encuentra a 200 m en dirección sur este del proyecto de Tejada Alpacoma. Este último se ubica próximo a la calle Diego de Ocana y Av. Panorámica. Para llegar a la zona inestable de Villa Exaltación se continua la Av. Panorámica hacia el este y hacia el sur.



*Figura 29. Ubicación de las áreas Villa Exaltación y Tejada Alpacoma*

Ambas zonas de desajuste comienzan en la parte sur-este del municipio del Alto, con las cabeceras de los deslizamientos próximos a la Av. Panorámica, que divide a la ciudad del Alto con el municipio de Achocalla. El área de afectación aproximada para la zona de Villa Exaltación es alrededor de 4000 m<sup>2</sup> y en Tejada Alpacoma alrededor de los 3000 m<sup>2</sup>. Es importante mencionar que tras estudios realizados por la empresa Maldonado Perforaciones (2011), en el año 2012 bajo dirección de la Dirección de Riesgos de la Ciudad de La Paz DEGIR, se realizaron algunos trabajos de movilización de tierras con la colocación de sub-drenes horizontales, trabajos que en su mayor parte han colapsado a la fecha.

El mecanismo que ocasiona los desajustes en las zonas inestables pertenecientes a Villa Exaltación y Tejada Alpacoma, corresponden a un mecanismo bastante típico y ocurrente en las laderas de la ciudad de La Paz. Se tiene el estrato profundo del cenozoico como es la formación La Paz QLp, un estrato que tiene como matriz a arcillas de consistencia media a rígida con gravas, limos y arenas. En la parte superior la deposición de un material cuaternario como la Formación Milluni Qmi compuesta por gravas medianas a gruesas en una matriz de limo arcilloso. Sumando a esta litología, la típica topografía escarpada y la presencia de bastante agua subterránea que lubricara el plano de contacto entre las dos formaciones mencionadas; aunque en ocasiones la presencia de agua en el plano de contacto se ve asociada a una significativa infiltración de agua por precipitaciones; son entre otros, los factores que ocasionan deslizamientos compuestos en dichas laderas.

Debido al desecho de escombros en ambos sectores, se tienen hoy en día acopios en cabecera y la formación de abanicos coluviales significativos en las zonas de estudio.

En la zona del proyecto de Villa Exaltación, por ejemplo, el municipio del Alto puso una cerca metálica paralela a la avenida Panorámica para evitar el vertido de desechos. Sin embargo, en el flanco izquierdo de la zona a deslizar, existe un gran acopio de escombros, material que posiblemente ha ocasionado un movimiento de masa pendiente debajo de la zona y es muy probable que se tenga un escarpe más avanzado hacia el lado oeste (hacia la avenida).



*Figura 30. Flanco izquierdo del proyecto Villa Exaltación*



*Figura 31. Vista calzada de adoquines (Av. Panorámica), en cabecera de ladera del proyecto Villa Exaltación*

Es importante considerar en el proyecto de Villa Exaltación el paso de un ducto de gas de alta presión, que quedaría muy próximo del primer nivel de corte de talud inclinado con anclajes pasivos. De igual manera, el trayecto de galerías filtrantes quedara muy próximo a la línea de gas de alta presión.



*Figura 32. Vista panorámica hacia lado norte de la cabecera de Villa Exaltación*



En la zona de desajuste de Tejada Alpacoma, la Dirección de Riesgos DEGIR, en el año 2012, ejecutó un trabajo de movimiento de tierras, creando un sistema de banquetas para aligerar la zona de deslizamiento y a la vez incrementar las propiedades resistentes del suelo a través de la compactación; a este trabajo, se sumó la colocación de algunos drenes sub-horizontales con tubería PVC tanto en dirección transversal al flujo y longitudinal. Sin embargo, a la fecha, estas banquetas han colapsado en su mayoría al igual que los sistemas de drenaje que carecían de un sistema de protección mediante barbacanas.

*Sistema de banquetas colapsadas*



**Figura 33. Zona inestable en Tejada Alpacoma**

Ultimo tramo canal trapezoidal proveniente de Villa Exaltación

Banquetas Colapsadas después del 2012

Sondeos a 30-35m por Maldonado Perforaciones 2011



**Figura 34. Vista en planta de obras con movimiento de tierra en Tejada Alpacoma**



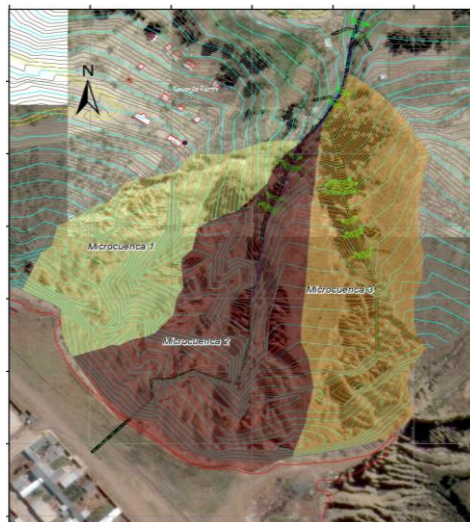
## 2.2.4 Titiri

El proyecto abarca un área aproximada de noventa y cinco mil metros cuadrados. Situado en el contacto Sur-oeste entre el Municipio de Achocalla y la ciudad del Alto. La población del sector es bastante reducida; sin embargo, el proyecto tiene gran importancia debido a los significativos caudales de material sólido que son arrastrados desde la cabecera de la torrentera hacia la carretera Alto-Achocalla-Mallasa. Se ha registrado en época de lluvias la obstrucción de dicha vía debido a que el flujo de material sólido irrumpe en la carretera incluso llegando a depositarse en el extremo sur-oeste de la laguna Jacha K'hota.



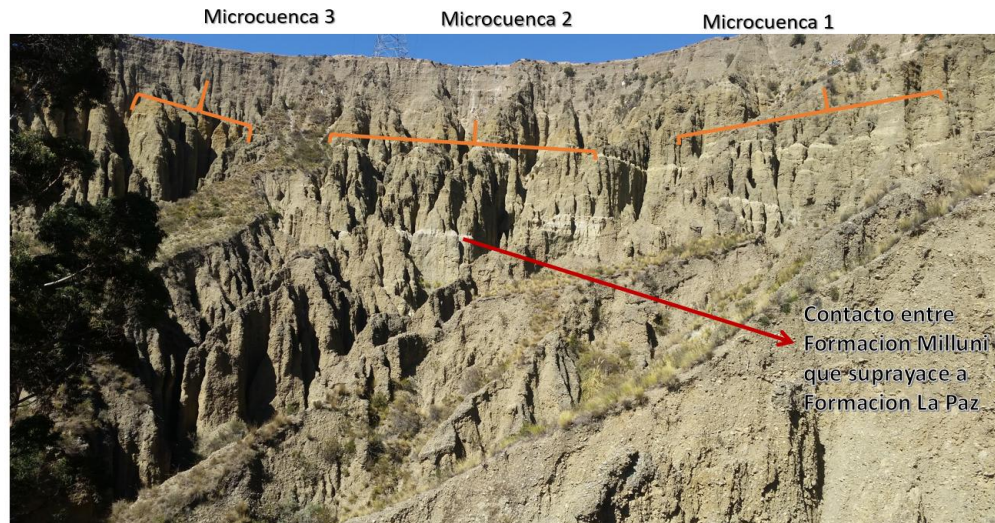
*Figura 35. Ubicación de la torrentera Titiri*

Se tienen tres microcuencas de aporte al cauce principal de la torrentera Titiri. Según el proyecto de referencia la longitud máxima de drenaje en la sub-cuenca es de aproximadamente 937 metros. Con una elevación que fluctúa entre 3967 m.s.n.m. (en El Alto) y 3737 m.s.n.m. (a nivel de la Laguna Jacha K'hota).



*Figura 36. Microcuencas de aporte a la torrentera Titiri*

Desde el alto (cabeceras de las microcuencas) hasta las respectivas confluencias de las microcuencas 1, 2 y 3, se aprecia la formación Milluni (Qmi). De igual forma en subyaciendo los farallones conformados por gravas y arena de F. Milluni, se aprecia el contacto con la Formación La Paz. Existe un alto grado de erosión en las partes altas y medias de las tres microcuencas. Sin embargo, el proyecto de referencia solo plantea la ejecución de diques transversales para control de flujos sólidos en microcuencas 2 y 3.



*Figura 37. Vista cabecera de microcuencas en zona de la torrentera Titiri*

La vegetación en la parte media de las cabeceras está compuesta por árboles, arbustos altioplánicos; sin embargo, es evidente que la erosión provoca una exposición de raíces de la vegetación, la cual llega a ceder y es arrastrada con los cauces.

Por lo general en el margen izquierdo de la torrentera se tiene la presencia de material deslizado (Qdz1) compuesto por arenas, gravas y arcillas removidas. En mayormente en este material donde se tiene mayor asentamiento urbano. Sin embargo, la cantidad de viviendas es escasa y la mayoría guarda distancias mayores a 20 metros al lecho del río principal.

En vista de los problemas de interrupción de tráfico en la carretera Alto-Achocalla-Mallasa, debido a flujos de material sólido provenientes de la torrentera Titiri, el municipio de Achocalla decidió ejecutar parcialmente dos estructuras que forman parte de los diques DT5 y DT4 propuestos en el proyecto de referencia (MPD, 2014). Dichas obras fueron construidas en el año 2014, estas lograron paliar parcialmente el problema de la obstrucción de la carretera por flujos de material sólido, problema que generalmente se presenta en época de lluvias (noviembre – febrero). Sin embargo, a la fecha no se ha brindado una solución integral al problema, no se han realizado trabajos de dragado del material retenido en dichos diques, razón por la cual el estado de estos no es óptimo, han sufrido asentamientos y deformaciones en los empotramientos laterales.





*Figura 38. Vista aguas arriba de primera estructura de diques de gaviones en torrentera Titiri*

Aproximadamente 130 m aguas abajo del sitio donde se pretende emplazar la fosa de sedimentación, se cuenta actualmente con una zona de acumulación de material granular que actualmente está siendo explotada con maquinaria del municipio de Achocalla. Aparentemente el material granular rodado, parece ser apto para el empleo como material de construcción. Se podría plantear a la comunidad un proyecto complementario de aprovechamiento y explotación de áridos en el área de la fosa de sedimentación, tras llevar a cabo algunos estudios de laboratorio con dichos materiales (granulometría, degaste de los Ángeles, durabilidad a la sequedad, humedad, etc.). El material granular es de aspecto redondeado, de color grisáceo blanquecino a grisáceo azulado; el tamaño máximo de partículas esta alrededor de 2 pulgadas.



*Figura 39. Sedimentación de áridos en zona actual de explotación en Titiri*



*Figura 40. Vista del espesor de material granular depositado en la zona actual de sedimentación en Titiri*

## **3 OBRAS DE MITIGACIÓN DE INUNDACIONES**

### **3.1 TIPOS DE INTERVENCIONES PLANTEADAS**

Las tipologías de obra planteadas en el presente capítulo son consecuentes con las condiciones encontradas en las visitas de campo, además de estar basadas en soluciones evaluadas en estudios previos. Sin embargo, la selección definitiva de obras de muestra tiene en cuenta no solo las condiciones de riesgo de inundación evidenciadas en el río Rocha, sino también las condiciones y lineamientos establecidos por el Banco y el Gobierno Nacional para este proyecto de obras de muestra.

Aun cuando se considera que la solución definitiva debería ser planteada como una obra de control integral de la cuenca, dadas las limitaciones del proyecto actual y las condiciones establecidas, las obras tienen como propósito fundamental la reducción del riesgo de inundación y deslizamiento. A pesar de que cada una de ellas por si solas generan una reducción del riesgo en la zona en que se implementan, éstas en conjunto no garantizan la reducción integral del riesgo de inundación y deslizamiento en la zona urbana de la ciudad. Lo anterior significa que luego de implementadas estas obras, se podrán generar eventos de inundación o deslizamientos en algunos sectores para lluvias con periodos de retorno menores al periodo de diseño considerado. Para una adecuada reducción integral del riesgo, los municipios deberán completar las obras de muestra que se incluyen en el presente proyecto.

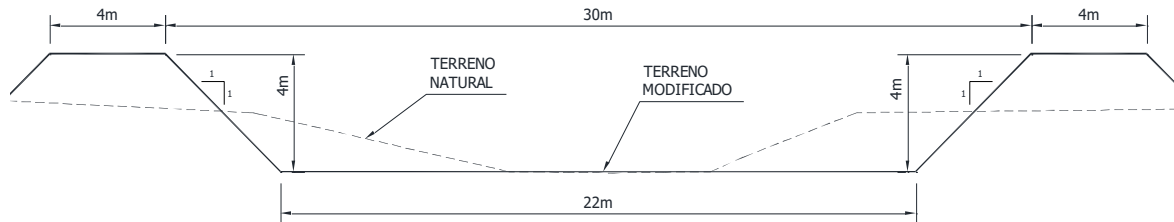
La selección y diseño de las obras a implementar tienen las limitaciones y criterios establecidos en el numeral 1.3.

#### **3.1.1 Acondicionamiento hidráulico**

La intervención de acondicionamiento hidráulico comprende la excavación con maquinaria del terreno natural para conformar una sección con un ancho de 22 metros en su base, y la conformación de diques de 4 m de altura con pendiente 1V:1H. Se construye un camino en ripio en la cresta de los diques para el tránsito y fácil acceso para el mantenimiento del río. La remoción de la cobertura vegetal del lecho del río y los taludes de los diques permite una reducción en la rugosidad, aumentando la velocidad del flujo. Este tipo de intervención ya ha sido adelantada en los municipios de Colcapirhua y Vinto, y se considera la condición ideal para el control de inundaciones en todo el tramo del río, debido a la capacidad hidráulica adecuada.



La Figura 41 muestra un esquema general de la sección transversal del río después de la intervención. La Figura 42 muestra una fotografía de la zona intervenida actualmente en el municipio de Vinto, indicando el estado final de la obra.



**Figura 41. Sección transversal del río después de acondicionamiento hidráulico**

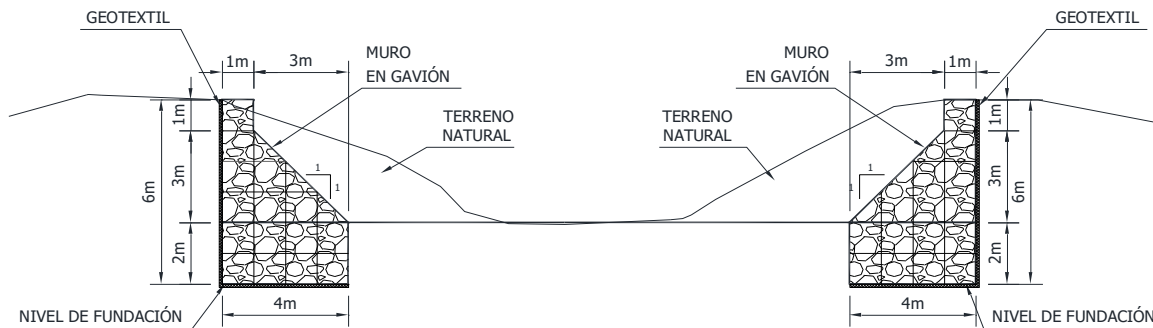


**Figura 42. Acondicionamiento hidráulico en el municipio de Vinto**

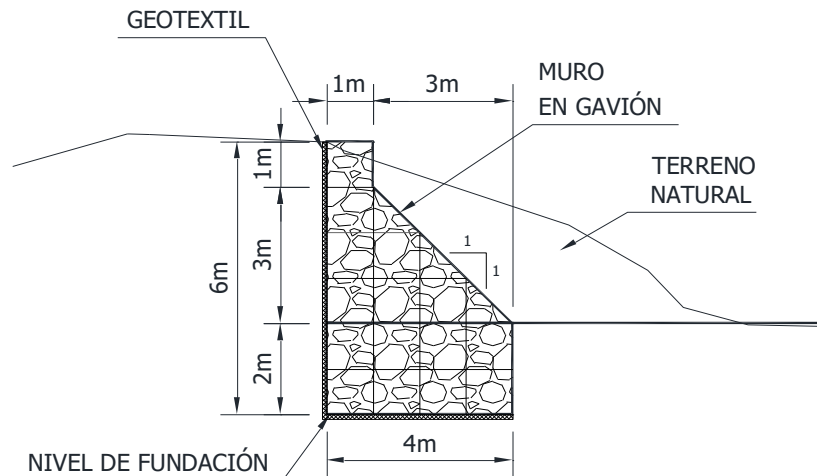
### **3.1.2 Gaviones de reconfiguración**

Este tipo de intervención comprende la conformación de diques en gavión desde la cresta del dique hacia el eje del río. Únicamente se interviene la cara interna del dique, sin afectación de los diques existentes y las áreas circundantes. Se realiza una conformación de una sección más amplia en el lecho, y taludes adecuados para los diques reduciendo su rugosidad. Las áreas circundantes, desde la cresta del dique hacia los dos bordes del río, permanecen inalteradas.

La Figura 43 muestra un esquema general de la sección transversal del río después de la intervención, mientras la Figura 44 indica las dimensiones del dique en gavión para una sección típica.



**Figura 43. Sección transversal del río después de reconformación con diques en gavión**

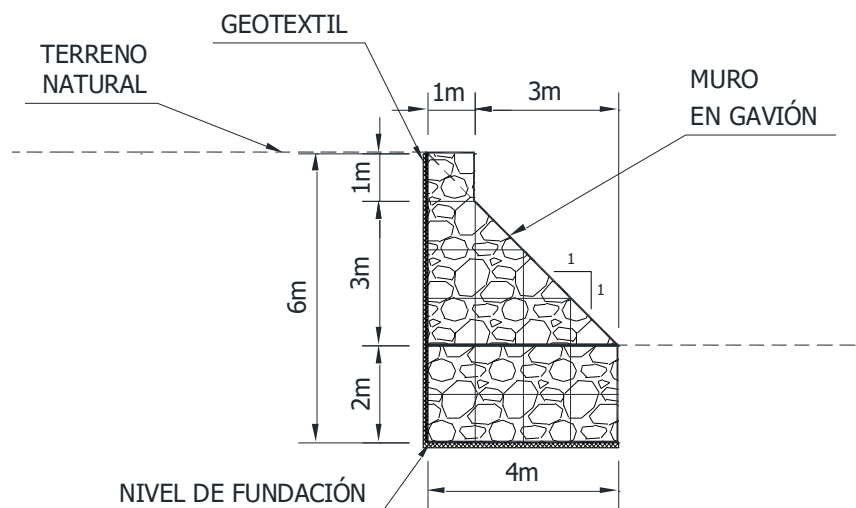


**Figura 44. Esquema general del dique lateral del río conformado con gavión**

### 3.1.3 Protección de diques en curvas

La intervención comprende la conformación de una protección de los diques construidos como parte del acondicionamiento hidráulico existente, mediante una pantalla en gavión, y cimentada por debajo del lecho del río para asegurar el control de la socavación en la base del talud interno del dique. Únicamente se interviene la cara interna del dique, sin afectación de los diques existentes y las áreas circundantes. Se tiene como precedente la protección de curvas en Vinto, donde se ha realizado de manera satisfactoria.

La Figura 45 muestra un esquema general de la curva protegida con dique en gavión en una sección típica, mientras la Figura 46 muestra una fotografía de la intervención de protección de curvas realizada en Vinto.



*Figura 45. Esquema general del dique de protección en curvas del río conformado con gavión*



*Figura 46. Protección de diques en curvas en el municipio de Vinto*

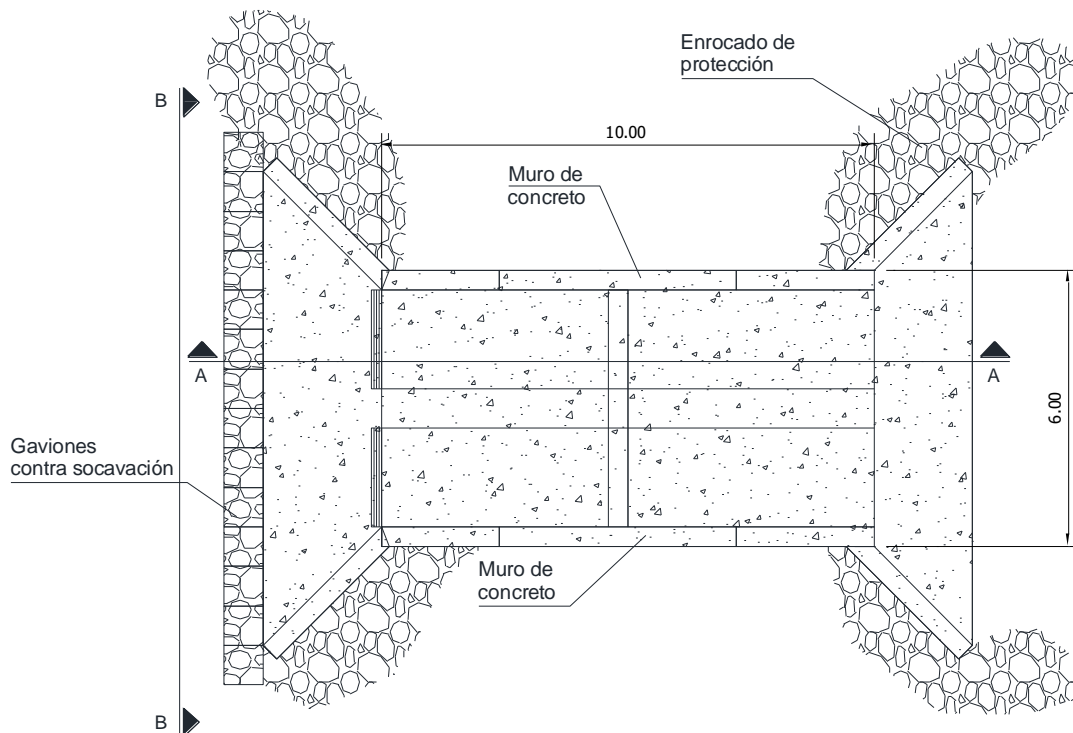
### 3.1.4 Compuertas de regulación

El objetivo principal de esta intervención es controlar el flujo de remanso hacia aguas arriba de la torrentera cuando el nivel del río sea superior al nivel de agua en la torrentera. Para esto se propone

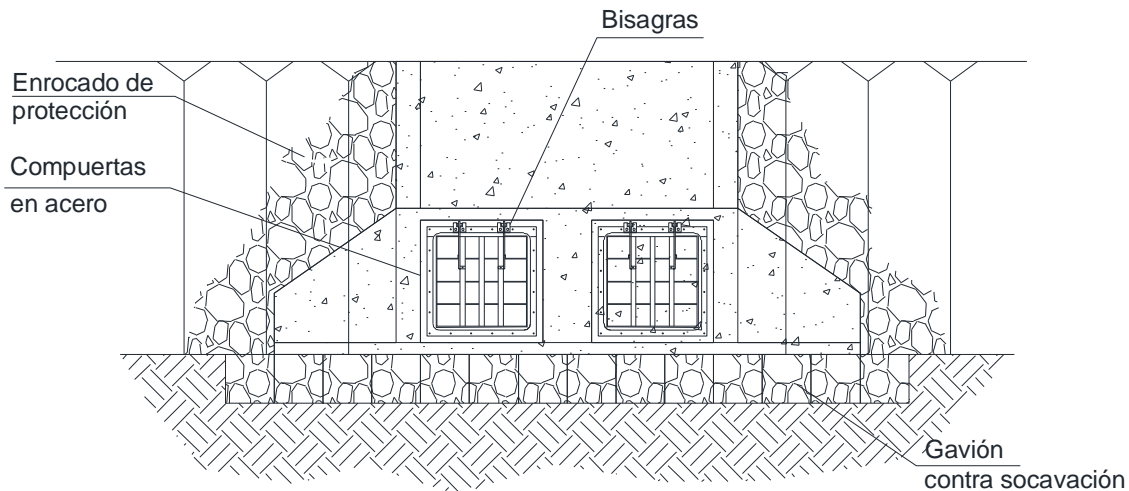
una obra que incluye los siguientes componentes: a) realce de diques en la zona del río y de la torrentera hasta el punto seleccionado para localización de la compuerta; b) construcción e instalación de una compuerta en la torrentera que impida el flujo inverso desde el río hacia la torrentera, pero que garantice el flujo libre en cualquier otro momento desde la torrentera hacia el río. La compuerta será de operación semi-automática; c) construcción de un desarenador aguas arriba de la compuerta que permita reducir el aporte de sedimentos a la zona de la compuerta.

La intervención consiste en un sistema en paralelo de compuertas tipo basculante (Flap gate), las cuales permiten el flujo sólo en una dirección, como una válvula antirretorno. Las compuertas pueden ser ajustadas para abrirse a determinado nivel de agua, diseñando las bisagras superiores para el empuje deseado. Adicionalmente, se proveerá un sistema de cierre y levantamiento alternativo consistente en un marco de acero ajustable y de operación manual.

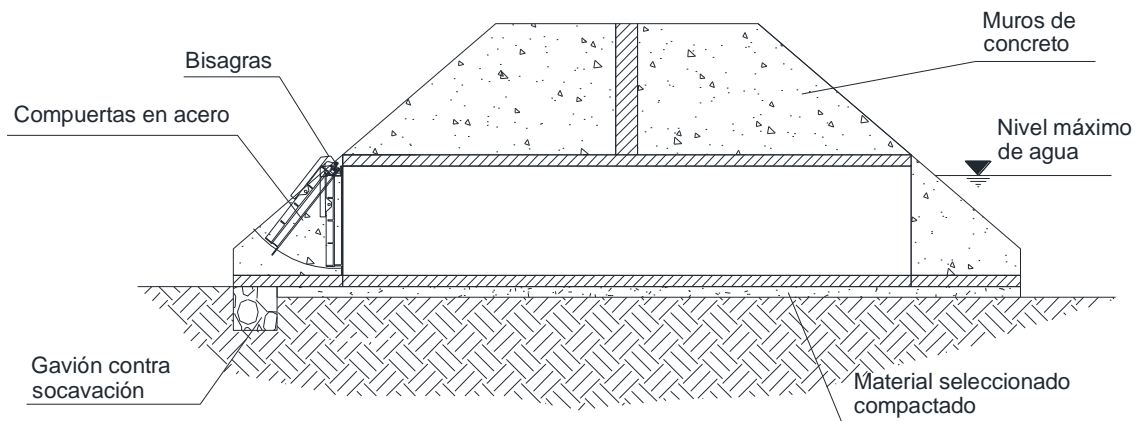
La Figura 48, Figura 47 y Figura 49 muestran esquemas de las compuertas de regulación planteadas en las confluencias de las torrenteras con el río Rocha.



**Figura 47. Vista en planta de esquema de compuertas de regulación en torrenteras**



**Figura 48. Vista frontal de esquema de compuertas de regulación en torrenteras**



**Figura 49. Vista lateral de esquema de compuertas de regulación en torrenteras**

### 3.1.5 Conformación de laguna de regulación

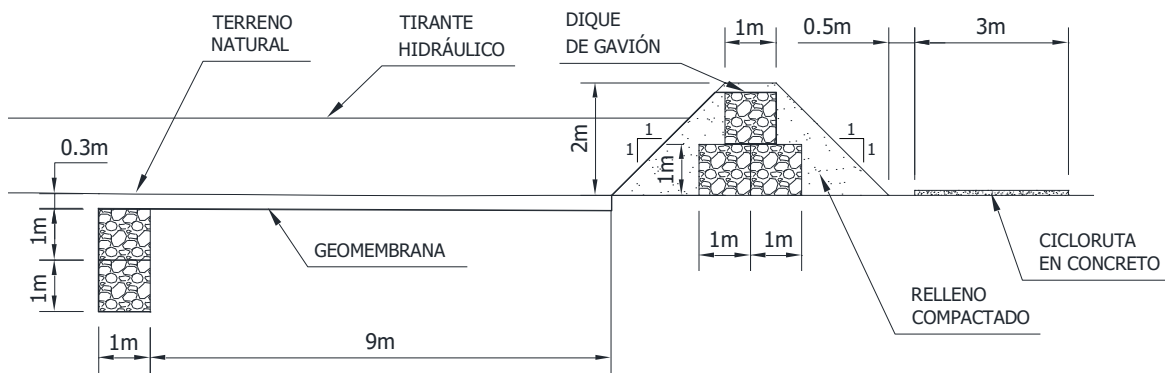
El objetivo principal de esta intervención es proveer un componente regulador de crecidas al sistema del río Rocha, mediante la adecuación de los diques perimetrales de la laguna existente, que permita almacenar temporalmente el volumen adicional de aguas durante la época de lluvias, y ser descargado de nuevo al río una vez la crecida haya transitado.

La intervención comprende el levantamiento del dique perimetral actual de la laguna mediante la conformación de nuevos diques en gavión de dos metros de altura, protegidos con una capa impermeabilizante para evitar filtración, y revestidos con el material actual de los diques. Además,

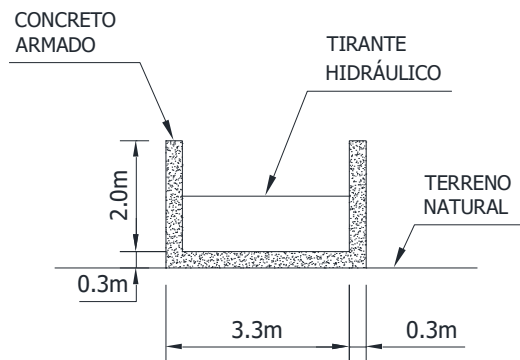


se plantea la construcción de una ciclorruta circundante en el borde externo del dique perimetral, y la reforestación para generación de zonas de recreación alrededor de la laguna. Además, se plantea la construcción de un canal en hormigón armado de sección cuadrada abierta desde un punto aguas arriba en el río Rocha que permita la conducción de aguas de crecientes hacia la laguna, y sea controlada su entrada mediante una compuerta mecánica en el dique del río.

La Figura 50 muestra un esquema del corte transversal de la obra de intervención para conformación del dique perimetral de la laguna, junto con la ciclorruta, y la Figura 51 muestra la sección transversal del canal de conducción.



*Figura 50. Esquema de obras de conformación de dique perimetral en laguna de regulación*



*Figura 51. Esquema de sección transversal de canal de conducción a laguna de regulación*

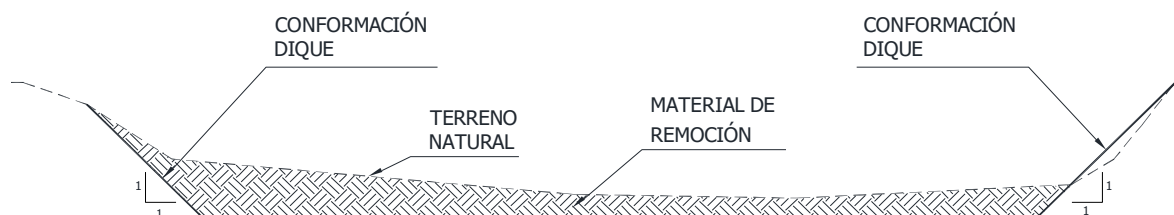
### 3.1.6 Recuperación del cauce

El objetivo principal de esta intervención es restaurar la capacidad hidráulica de la sección transversal mediante la remoción de obstáculos, cobertura vegetal, conformación manual de diques y remoción

de material superficial para la adecuación del lecho del río. Esto permitirá contar una capacidad adecuada para mitigar la inundación en estas zonas.

La intervención comprende la remoción manual de obstáculos en el cauce natural del río (basuras, sedimentos acumulados, vegetación) y una limpieza general. Además, se busca remover la cobertura vegetal para aumentar la capacidad hidráulica de la sección mediante la reducción de la rugosidad del cauce. Se realizará una intervención superficial en la cara interna de los diques para conformarlos con una pendiente y rugosidad adecuada, y la remoción de sedimentos y material colmatado en el lecho del río. Se contará con el apoyo de maquinaria pequeña tipo "Bob-Cat" para cada cuadrilla de intervención para efectos de remoción y cargue de material a volquetas de transporte.

La Figura 52 presenta un esquema de la intervención planteada, remoción de material del lecho, y conformación manual del dique lateral.



*Figura 52. Esquema de intervención de recuperación del cauce*

## 3.2 DISEÑOS PRELIMINARES DE OBRAS

### 3.2.1 Cochabamba

Dadas las condiciones en el municipio de Cochabamba, se plantean las siguientes obras:

1. Recuperación del cauce en zona urbana: la zona de intervención de recuperación del cauce comprende el tramo del río Rocha en la zona urbana del municipio de Cochabamba, desde el puente Plaza de las Banderas hasta la entrada al puente cajón en la zona del aeropuerto, para un total de aproximadamente 8.2 km de intervención.
2. Recuperación del cauce en zona periurbana: la zona de intervención de recuperación del cauce comprende el tramo del río Rocha en la zona periurbana del municipio, desde la confluencia del río Tamborada hasta una abscisa 50 metros aguas arriba del puente Kenamari, para un total de aproximadamente 3.6 km de intervención.

3. Gaviones de reconformación: la zona de intervención de reconformación con gaviones comprende los últimos 400 metros del río Rocha aguas arriba del puente Kenamari, en la zona periurbana del municipio.
4. Compuerta de regulación en confluencia del río Tamborada: la zona de intervención para la construcción de la compuerta está ubicada en la confluencia del río Tamborada con el río Rocha, en la zona cercana a la planta de tratamiento de Albarrancho.

La Figura 53 muestra la localización de las obras planteadas para el municipio de Cochabamba.



*Figura 53. Localización de obras planteadas en Cochabamba*

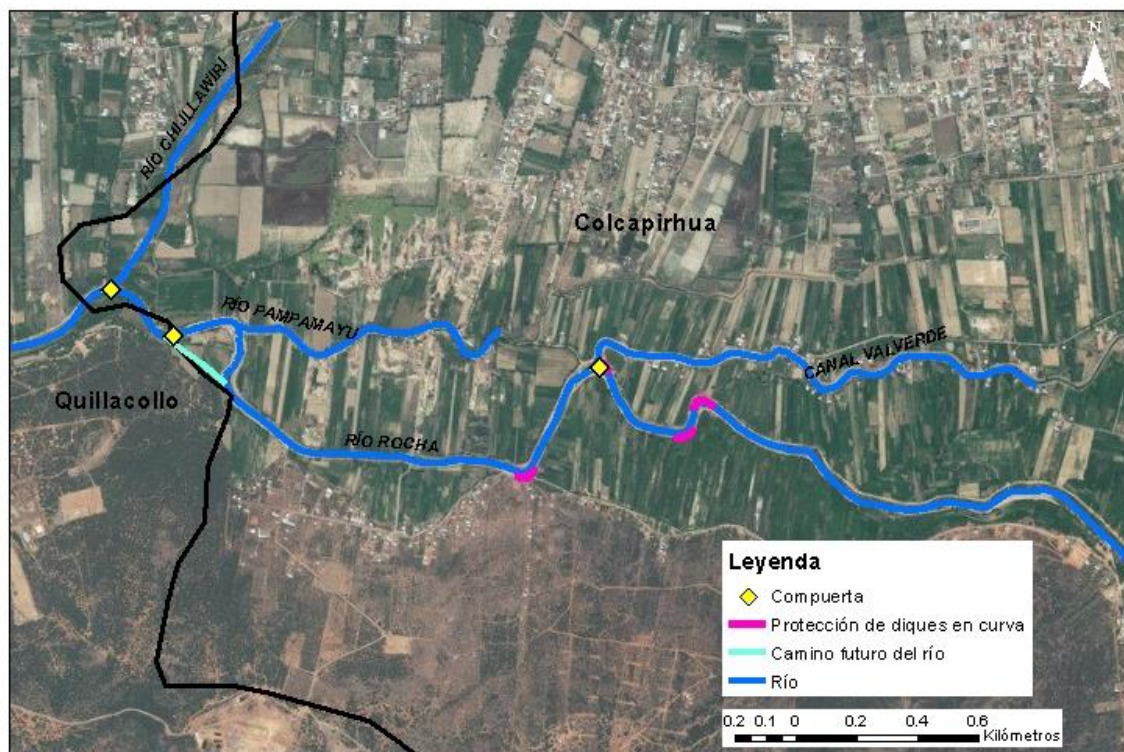
### 3.2.2 Colcapirhua

Dadas las condiciones en el municipio de Colcapirhua, se plantean las siguientes obras:

1. Protección de diques en curvas: la zona de intervención para la construcción de las protecciones en gavión comprende cuatro curvas pronunciadas del cauce del río, en las cercanías de la confluencia del canal Valverde.

2. Compuerta de regulación en confluencia del canal Valverde: la zona de intervención para la construcción de la compuerta está ubicada en la confluencia del canal Valverde con el río Rocha, en la zona sur del municipio.
3. Compuerta de regulación en confluencia del río Pampamayu: la zona de intervención para la construcción de la compuerta está ubicada en la confluencia del río Pampamayu con el río Rocha, considerando la existencia para el momento de la obra terminada de eliminación del pico de loro cercana al límite municipal con Quillacollo.
4. Compuerta de regulación en confluencia del río Chijllawiri: la zona de intervención para la construcción de la compuerta está ubicada en la confluencia del río Chijllawiri con el río Rocha, cercana al límite municipal con Quillacollo.

La Figura 54 muestra la localización de las obras planteadas para el municipio de Colcapirhua.



*Figura 54. Localización de obras planteadas en Colcapirhua*

### 3.2.3 Quillacollo

Dadas las condiciones en el municipio de Quillacollo, se plantean las siguientes obras:



1. Gaviones de reconformación: la zona de intervención de reconformación con gaviones comprende el tramo entre el límite municipal con Colcapirhua y el puente de la presa de riego en el Distrito Militar.
2. Recuperación del cauce: la zona de intervención de recuperación del cauce comprende el tramo del río Rocha en la zona periurbana del municipio de Quillacollo, desde el puente de la presa de riego en el Distrito Militar hasta el límite municipal con Vinto, para un total de aproximadamente 5.7 km de intervención.
3. Compuerta de regulación en confluencia del río Huayculi: la zona de intervención para la construcción de la compuerta está ubicada en la confluencia del río Huayculi con el río Rocha, en la zona sur del municipio.
4. Compuerta de regulación en confluencia del río Tacata: la zona de intervención para la construcción de la compuerta está ubicada en la confluencia del río Tacata con el río Rocha, en la zona suroriental del municipio, cercano al límite municipal con Vinto.
5. Conformación laguna Cotapachi: la zona de intervención comprende el perímetro actual de la laguna Cotapachi existente en la zona sur del municipio, en los predios colindantes con el cerro de Cota (aproximadamente 4.8 km). Adicionalmente, se pretende intervenir un camino circundante a todo el perímetro de la laguna para la construcción de una ciclorruta y reforestación con fines recreativos.
6. Canal de entrada a laguna Cotapachi: la zona de intervención comprende un tramo paralelo al canal de conducción de salida existente en la laguna Cotapachi, colindante con el cerro de Cota (aproximadamente 700 m), y un tramo de 700 m adicionales hacia aguas arriba de la desembocadura de este canal de salida sobre el río Rocha.

La Figura 55 muestra la localización de las obras planteadas para el municipio de Quillacollo.



*Figura 55. Localización de obras planteadas en Quillacollo*

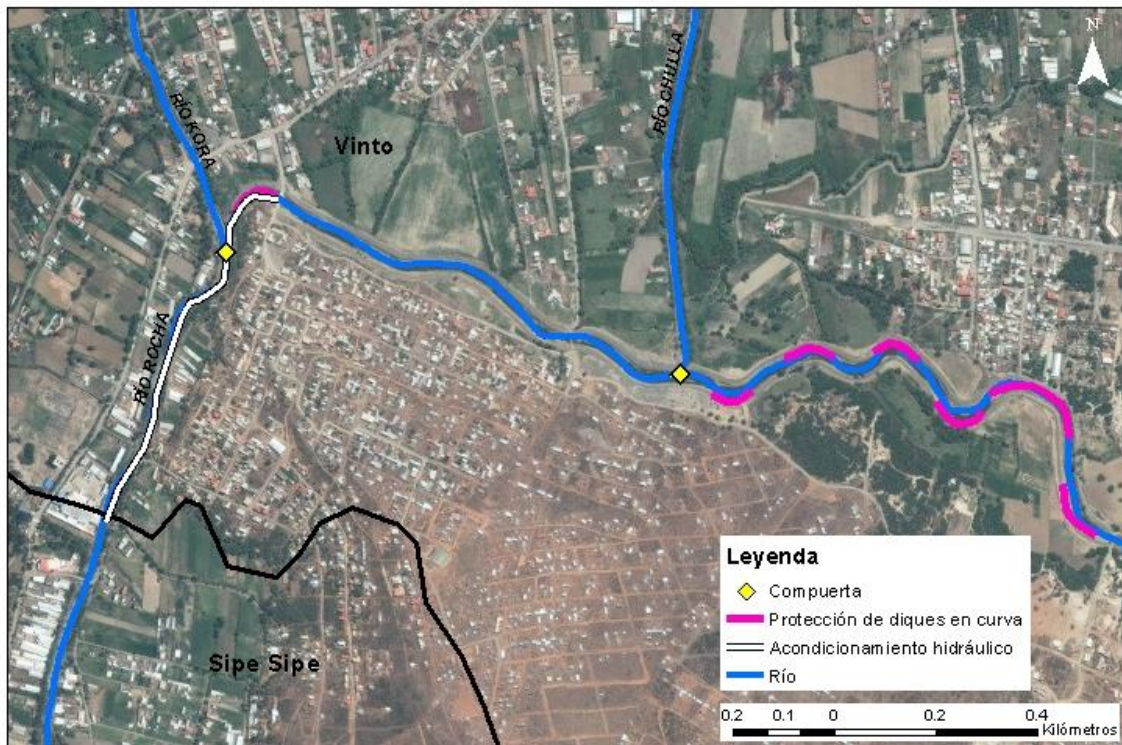
### 3.2.4 Vinto

Dadas las condiciones en el municipio de Vinto, se plantean las siguientes obras:

1. Protección de diques en curvas: la zona de intervención para la construcción de las protecciones en gavión comprende siete curvas pronunciadas del cauce del río, aguas arriba de la confluencia del río Chulla.
2. Acondicionamiento hidráulico: la zona de intervención de acondicionamiento hidráulico comprende el tramo entre el puente del sector del pico de loro y el límite municipal con Sipe Sipe (aproximadamente 800 m), dando continuidad a las obras adelantadas en el municipio de Vinto hasta este punto.
3. Compuerta de regulación en confluencia del río Chulla: la zona de intervención para la construcción de la compuerta está ubicada en la confluencia del río Chulla con el río Rocha, en la zona sur del municipio.

4. Compuerta de regulación en confluencia del río Kora: la zona de intervención para la construcción de la compuerta está ubicada en la confluencia del río Kora con el río Rocha, en la zona sur del municipio, aguas abajo del sector del pico de loro.

La Figura 56 muestra la localización de las obras planteadas para el municipio de Vinto.



*Figura 56. Localización de obras planteadas en Vinto*

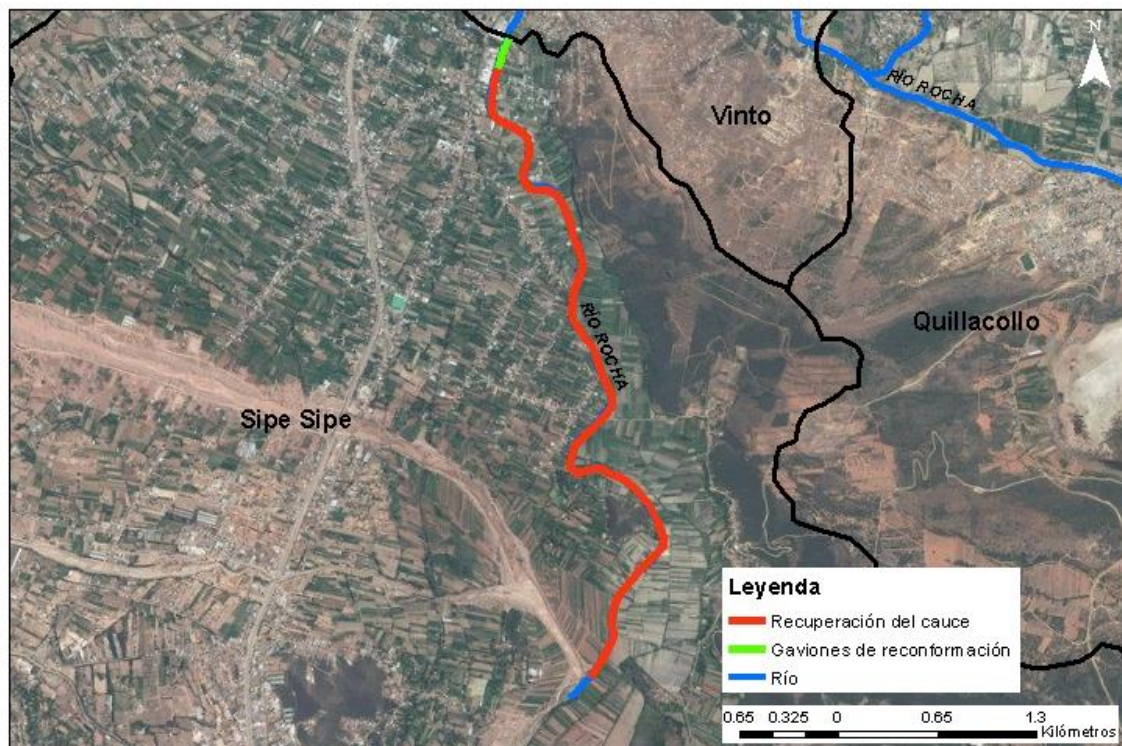
### 3.2.5 Sipe Sipe

Dadas las condiciones en el municipio de Sipe Sipe, se plantean las siguientes obras:

1. Gaviones de reconformación: la zona de intervención de reconformación con gaviones comprende un tramo de 400 metros a partir del límite municipal con Vinto.
2. Recuperación del cauce: la zona de intervención de recuperación del cauce comprende el tramo del río Rocha en la zona periurbana del municipio de Sipe Sipe, desde la finalización del tramo de reconformación con gavión (400 metros aguas abajo del límite municipal con Vinto) hasta la confluencia con el río Viloma, para un total de aproximadamente 5.2 km de intervención.



La Figura 57 muestra la localización de las obras planteadas para el municipio de Sipe Sipe.



*Figura 57. Localización de obras planteadas en Sipe Sipe*

### 3.3 PRESUPUESTO PRELIMINAR DE OBRAS Y REQUERIMIENTO DE MANO DE OBRA

Para la elaboración de los presupuestos preliminares de las obras se ha realizado una investigación de precios unitarios en la zona que son los que se utilizan en las estimaciones que se presentan. En la Tabla 7 se presentan los ítems principales que se utilizan para la elaboración de presupuestos y los valores unitarios correspondientes. Por otro lado, en la Tabla 8 se presentan los porcentajes que se han estimado en estos valores unitarios con respecto a la mano de obra, la maquinaria y los materiales.



*Tabla 7. Costos unitarios de referencia para actividades de obras*

Capítulo	Actividad	Unidad	Costo Unitario Directo [USD]
Preliminares	Campamento	Ud.	550
	Replanteo y control topográfico	ml	1.4
Excavación	Excavación manual	m <sup>3</sup>	8
	Excavación mecánica	m <sup>3</sup>	4
	Excavación manual con Bob-cat	m <sup>3</sup>	6
Rellenos	Relleno y compactado material de préstamo	m <sup>3</sup>	13
Gavión	Conformación gavión	m <sup>3</sup>	33
	Geotextil	m <sup>2</sup>	3
	Geomembrana	m <sup>2</sup>	6
Concretos	Concreto armado	m <sup>3</sup>	400
Terminados	Conformación de plataforma con ripio	Ud.	11
Compuertas	Suministro e instalación de compuerta	m <sup>3</sup>	10000

*Tabla 8. Distribución porcentual de mano de obra, maquinaria y materiales para actividades de obras*

Actividad	Distribución de porcentajes			
	Mano de Obra	Maquinaria	Materiales	Total
Campamento	40%	0%	60%	100%
Replanteo y control topográfico	100%	0%	0%	100%
Excavación manual	70%	20%	10%	100%
Excavación mecánica	30%	60%	10%	100%
Excavación manual con Bob-cat	60%	35%	5%	100%
Relleno y compactado material de préstamo	25%	35%	40%	100%
Conformación gavión	37%	4%	59%	100%
Geotextil	40%	5%	55%	100%
Geomembrana	40%	5%	55%	100%
Concreto armado	35%	15%	50%	100%
Conformación de plataforma con ripio	60%	10%	30%	100%
Suministro e instalación de compuerta	60%	10%	30%	100%

Con base en estos valores unitarios se han calculado valores unitarios para los diferentes tipos de medidas de intervención de acuerdo con lo descrito en el numeral 3.1. La Tabla 9 resumen los valores unitarios resultantes.

*Tabla 9. Costos unitarios de tipos de obras de mitigación de inundaciones*

Obra	Unidad	Costo Unitario Directo [USD]
Acondicionamiento hidráulico	ml - metro lineal de intervención	\$ 287
Protección de curvas - Gavión de 4 metros	ml – metro lineal de intervención	\$ 661
Gaviones de reconfiguración	ml – metro lineal de intervención	\$ 860
Recuperación del cauce	ml – metro lineal de intervención	\$ 253
Conformación laguna	ml – metro lineal de dique	\$ 514
Canal de conducción	ml – metro lineal de canal	\$ 913
Compuerta	Unidad	\$ 83,211
Campamento*	Unidad	\$ 550

\*Nota: El número de campamentos para cada obra estará definido por el número de cuadrillas y longitud de cada obra.

Finalmente, con base en estos valores unitarios de las diferentes medidas de intervención se presentan tablas de resumen de los presupuestos de las obras en cada municipio. (Tabla 10 a Tabla 14).

*Tabla 10. Presupuesto preliminar de obras de mitigación en Cochabamba*

Tipo de obra	Unidad	Cantidad	Valor Unitario [USD]	Valor Total [USD]
Recuperación del cauce	ml	7,800	\$ 253	\$ 1,974,113
Gaviones de reconfiguración	ml	380	\$ 860	\$ 326,617
Compuerta	Ud.	1	\$ 83,211	\$ 83,210.54
Campamento	Ud.	3	\$ 550	\$ 1,650.00
Costo Total Directo				\$ 2,385,590
Administración, utilidad e imprevistos (30%)				\$ 715,677
<b>Costo Total</b>				<b>\$ 3,101,268</b>

**Tabla 11. Presupuesto preliminar de obras de mitigación en Colcapirhua**

Tipo de obra	Unidad	Cantidad	Valor Unitario [USD]	Valor Total [USD]
Protección de curvas – Gavión de 4 metros	ml	80	\$ 661	\$ 52,858
Compuerta	Ud.	3	\$ 83,211	\$ 249,631.63
Campamento	Ud.	2	\$ 550	\$ 1,100.00
Costo Total Directo				\$ 303,589
Administración, utilidad e imprevistos (30%)				\$ 91,077
<b>Costo Total</b>				<b>\$ 394,666</b>

**Tabla 12. Presupuesto preliminar de obras de mitigación en Quillacollo**

Tipo de obra	Unidad	Cantidad	Valor Unitario [USD]	Valor Total [USD]
Recuperación del cauce	ml	4,270	\$ 253	\$ 1,080,700
Gaviones de reconfiguración	ml	1,400	\$ 860	\$ 1,203,324
Configuración laguna	ml	4,180	\$ 514	\$ 2,147,953
Canal de conducción	ml	860	\$ 913	\$ 785,481
Compuerta	Ud.	2	\$ 83,211	\$ 166,421.09
Campamento	Ud.	3	\$ 550	\$ 1,650.00
Costo Total Directo				\$ 5,385,530
Administración, utilidad e imprevistos (30%)				\$ 1,615,659
<b>Costo Total</b>				<b>\$ 7,001,189</b>

**Tabla 13. Presupuesto preliminar de obras de mitigación en Vinto**

Tipo de obra	Unidad	Cantidad	Valor Unitario [USD]	Valor Total [USD]
Acondicionamiento hidráulico	ml	800	\$ 287	\$ 229,204
Protección de curvas – Gavión de 4 metros	ml	120	\$ 661	\$ 79,287
Compuerta	Ud.	2	\$ 83,211	\$ 166,421.09
Campamento	Ud.	2	\$ 550	\$ 1,100.00
Costo Total Directo				\$ 246,808
Administración, utilidad e imprevistos (30%)				\$ 74,042
<b>Costo Total</b>				<b>\$ 320,850</b>

*Tabla 14. Presupuesto preliminar de obras de mitigación en Sipe Sipe*

Tipo de obra	Unidad	Cantidad	Valor Unitario [USD]	Valor Total [USD]
Recuperación del cauce	ml	4,970	\$ 253	\$ 1,257,865
Gaviones de reconformación	ml	200	\$ 860	\$ 171,903
Campamento	Ud.	2	\$ 550	\$ 1,100.00
Costo Total Directo				\$ 1,430,868
Administración, utilidad e imprevistos (30%)				\$ 429,260
<b>Costo Total</b>				<b>\$ 1,860,128</b>

Finalmente se presenta una tabla de resumen general con el presupuesto para todo el proyecto.

*Tabla 15. Presupuesto general de obras de mitigación de inundaciones*

Municipio	Costo Total [USD]
Cochabamba	\$ 3,101,268
Colcapirhua	\$ 394,666
Quillacollo	\$ 7,001,189
Vinto	\$ 320,850
Sipe Sipe	\$ 1,860,128
<b>Total</b>	<b>\$ 12,678,101</b>



## **4 OBRAS DE MITIGACIÓN DE DESLIZAMIENTOS**

### **4.1 TIPOS DE INTERVENCIONES PLANTEADAS**

Siguiendo criterios técnicos, restricciones de presupuesto y la representatividad de las obras a ejecutar, los sitios críticos de Villa Exaltación y Titiri, ubicados en los puestos 2 y 8 del ranking de priorización de sitios críticos, fueron elegidos como las zonas de intervención.

El escarpe principal de Villa Exaltación Alpacoma presenta procesos de reptación al pie del escarpe con terrenos deslizados y con presencia de agua subterránea. Las obras de mitigación propuestas tienen como finalidad la estabilización de los taludes en la ladera paralela a la Av. Panamericana mediante la estabilización de la formación Milluni y el control del nivel freático a partir de sistemas de drenaje en el contacto de la formación Milluni y la formación La Paz. La medida de estabilización elegida es “Reconformación Geométrica más Anclajes Pasivos”, según lo recomendado en el estudio “Gestión Integral de la Cuenca Alpacoma” (MPD , 2014). Por su parte, el proyecto Titiri involucra las zonas urbanas colindantes a la planicie de la ciudad de El Alto y el municipio de Achocalla, donde se observa la formación de escarpes verticales y un mal manejo de aguas pluviales. Así pues, las obras de mitigación planteadas tienen como objetivo la regularización de la torrentera Titiri y el control de la erosión superficial de la zona. Se plantean diques transversales para la regulación y canalización del lecho del cauce principal, y obras de bioingeniería relacionadas con el establecimiento de cobertura vegetal para el manejo de la erosión superficial.

#### **4.1.1 Reconformación geométrica con anclajes pasivos**

La reconformación del talud consiste en la reducción de su altura con excavaciones en la parte superior de la cresta del talud mediante bermas. El talud reconformado se protege con hormigón lanzado y anclajes pasivos. Los anclajes o clavos se diseñan en estado pasivo y se activan cuando hay movimientos, siendo su principal acción evitar grietas de tensión en la cresta del talud.

En la reconformación del talud se realiza una excavación en la cresta considerando alturas de excavación menores a los 1.50 m, esto con el fin de evitar problemas de estabilidad. A medida que la excavación del talud avanza se instalan los anclajes y el hormigón lanzado. La excavación e instalación de los anclajes se realiza por tramos horizontales, debido a que existe la posibilidad de desprendimiento del talud. En la Tabla 16 se muestran las alturas de corte y pendientes adoptadas.

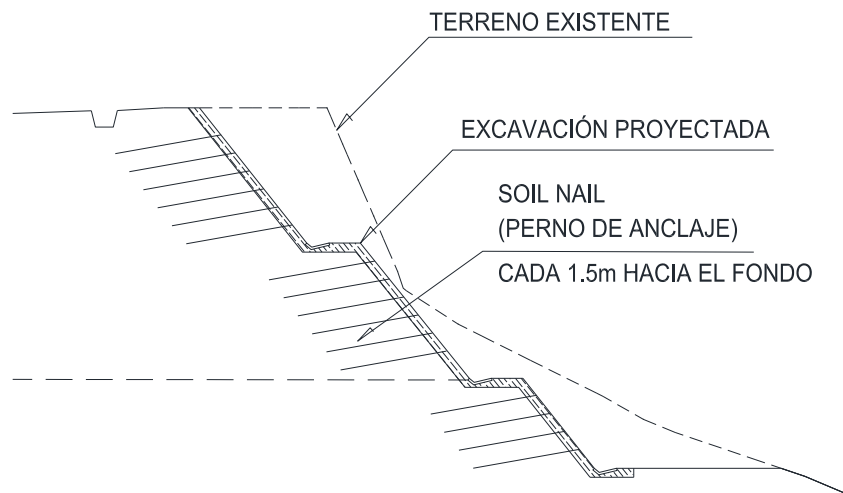
**Tabla 16. Criterios sugeridos en taludes de corte**

Fuente: Departamento de carreteras del Japón

Formación	Material	Propiedades	Altura del corte	Pendiente sugerida	Pendiente adoptada
Milluni	Mezcla de arenas con grava	Densa	Menor de 10 a 15 m	1V:0.8H 1V:1.2H	1V:0.8H
La Paz	Suelos cohesivos		Menor de 0 a 10 m	1V:0.8H 1V:1.2H	1V:0.8H

Cada anclaje se construye haciendo una perforación con una inclinación de aproximadamente 10 grados. Una vez realizada la perforación se introduce el acero de refuerzo, el cual debe estar provisto de espaciadores para generar una buena adherencia entre el acero y el hormigón. El hormigón proyectado es colocado una vez terminada la instalación del anclaje pasivo.

Las varillas de los anclajes en la unión anclaje-pantalla deben estar provistas de un gancho, para desarrollar la suficiente adherencia y longitud de desarrollo dentro del talud. Los anclajes se calculan y diseñan por cortante y por fricción.

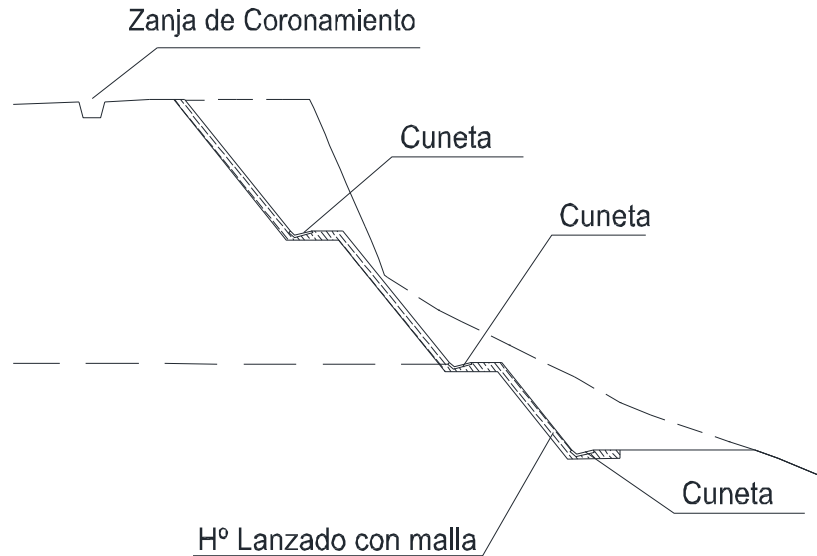

**Figura 58. Anclajes pasivos y reconformación geométrica**

#### 4.1.2 Control de drenaje pluvial

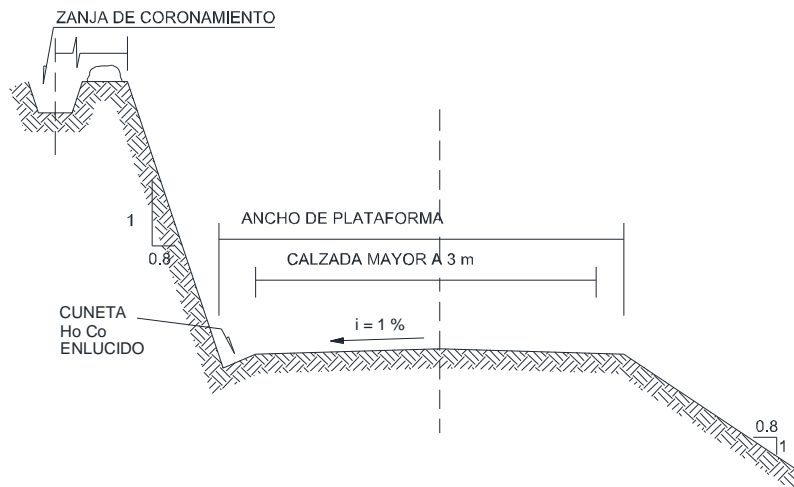
El drenaje superficial de la obra para la captación de aguas pluviales consiste en cunetas revestidas, canales, tuberías, una zanja de coronación y una banquina. La intensidad de precipitación pluvial considerada para el diseño fue de 46.1 mm/hr y se usó un tiempo de concentración de 10 minutos en un periodo de retorno de 25 años para la modelación del talud.

Una vez terminadas las excavaciones para la conformación de las cunetas, zanja de coronamiento y bajante, se procede a la construcción de las cunetas revestidas. Las cunetas revestidas deberán construirse a base de hormigón simple (resistencia mínima de 17.5 MPa de compresión a los 28 días)

y tener juntas de dilatación a intervalos constantes. El relleno de las juntas deberá tomar la forma de la sección transversal de la cuneta y deberán construirse de manera tal que formen un ángulo recto con la línea central de la misma. Para la construcción de la zanja de coronamiento, bajante y bordillo de protección se deben emplear moldes los suficientemente rígidos para obtener las dimensiones requeridas dentro de los límites admisibles. Las zanjas de coronamiento son revestidas con hormigón simple.



**Figura 59. Esquema de drenajes superficiales**

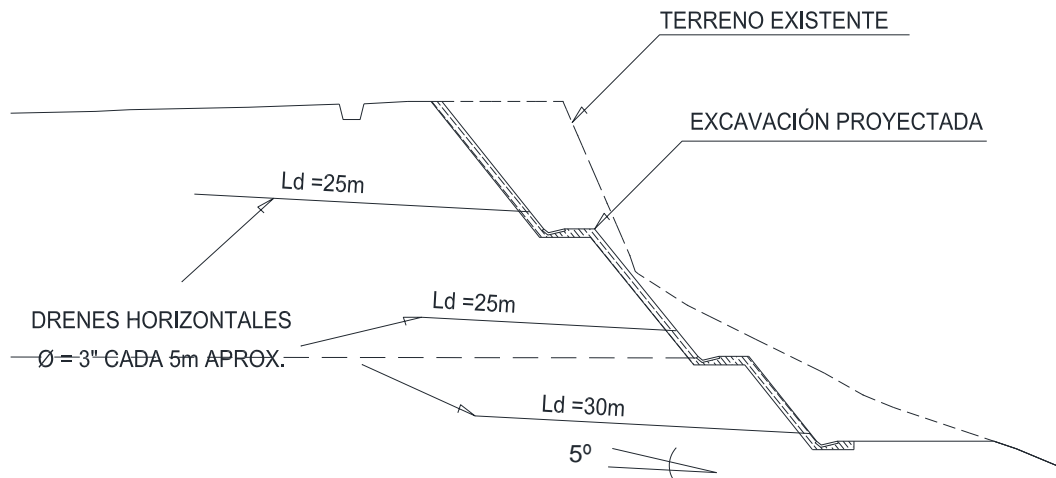


**Figura 60. Esquema de detalle cuneta y zanja de coronamiento**

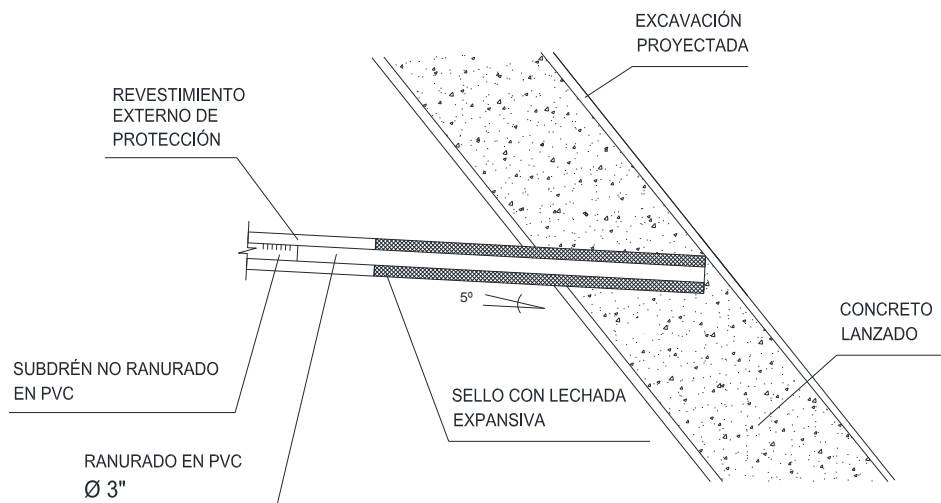
### 4.1.3 Drenaje subterráneo

Los drenes horizontales constituyen un sistema de subdrenaje que tiene como objetivo abatir el nivel freático y la presión de poros. Este sistema se compone de tuberías perforadas que se colocan a través de la masa de suelo mediante una penetración subhorizontal, o ligeramente inclinada, profunda. Su principal ventaja radica en la rapidez de su instalación y el aumento en el factor de seguridad del talud en un corto tiempo.

Los drenes deberán ser de 50 cm en tubería PVC de 2", recubiertos con geotextil NT, distribuidos en la cara del talud, que permitirán la salida del agua en la parte posterior del recubrimiento.

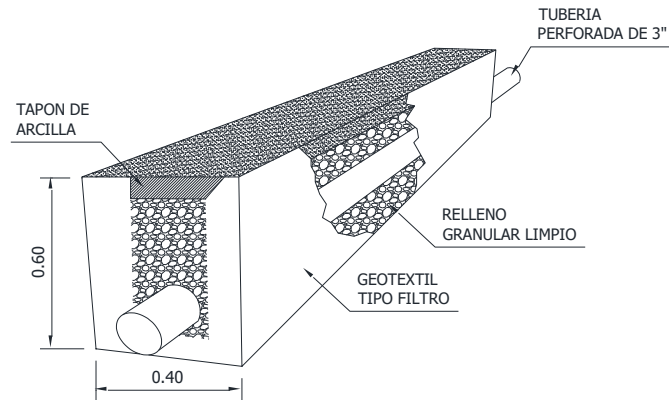


**Figura 61. Esquema de drenaje subterráneo**



**Figura 62. Esquema de detalle de salida de drenaje en cara de talud**

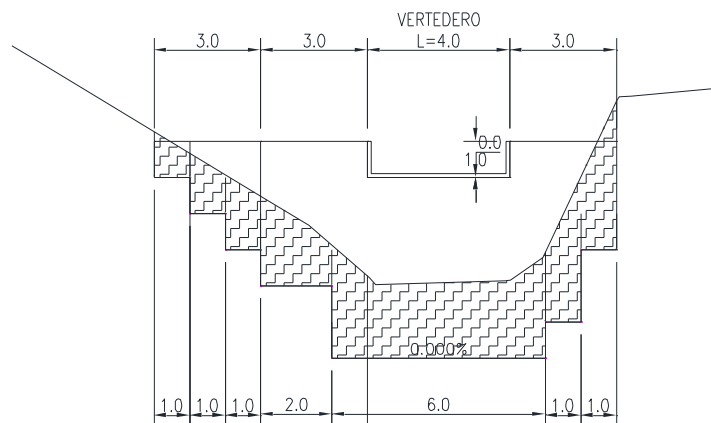




**Figura 63. Esquema de detalle de filtro tipo francés**

#### 4.1.4 Control de erosión con diques en gavión

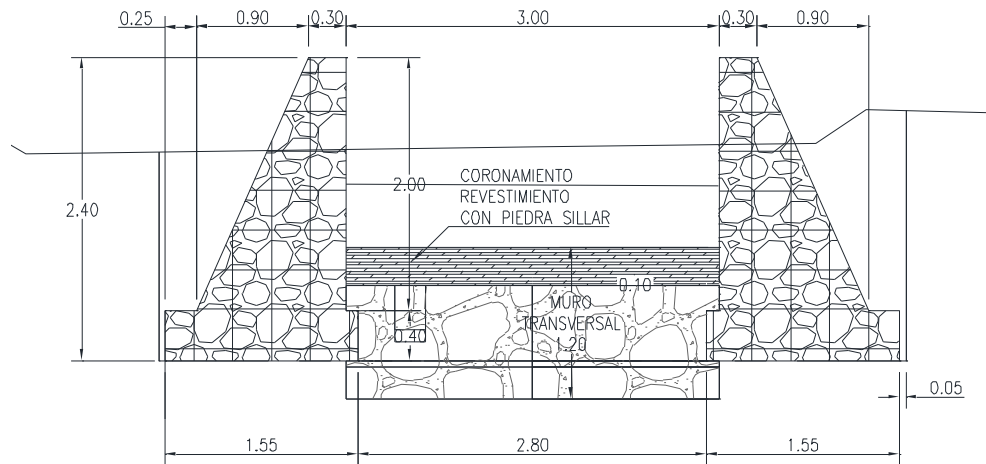
La construcción de las obras comprende la ejecución, por etapas, de las actividades de excavación, provisión y armado de gaviones. La primera actividad comprende la excavación manual del sector donde serán emplazadas las obras civiles. De manera previa, se debe tener cuidado con el control y manejo de las aguas superficiales y subterráneas en los cauces naturales o quebradas, así como la protección de las obras ante crecidas, que pueden ocurrir durante la etapa de construcción. El armado de gaviones comprende el acopio de piedra, preparación de las mallas, relleno y entorchado de las mallas, en concordancia con las especificaciones técnicas y de acuerdo a los lineamientos y dimensiones indicadas en los planos. Para el armado de gaviones, se debe verificar la disposición, niveles y alineamiento de la fundación y se procederá al armado, colocado y relleno de las piezas, previa uniformización del plano de fundación en conformidad con lo establecido en los planos.



**Figura 64. Esquema de control de cauce con diques en gavión**

#### 4.1.5 Control de erosión con canalización abierta

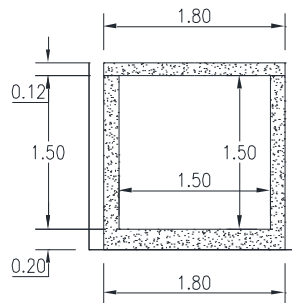
En la parte baja se plantea un sistema de canalización abierto y escalonado con muros transversales en su lecho de cauce para proteger de procesos de socavación de los muros del canal.



**Figura 65. Esquema de control de cauce con canalización en concreto ciclópeo o gavión**

#### 4.1.6 Control de erosión con canalización cerrada

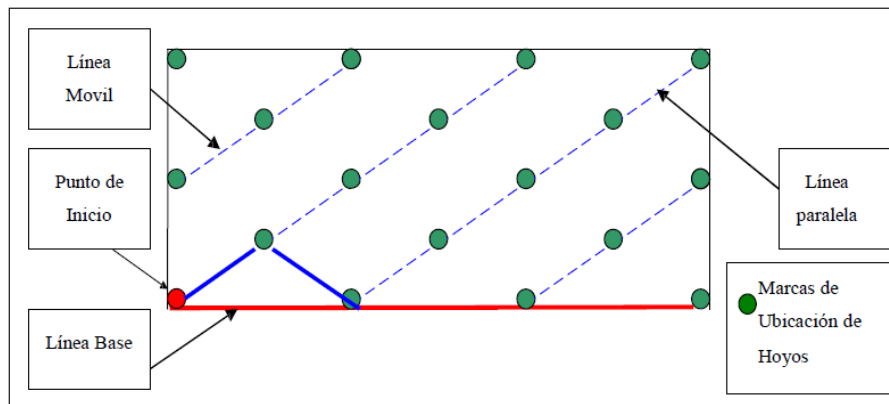
En el último tramo de la parte baja en que atraviesa una vía y descarga en el lago, se plantea un canal cerrado de hormigón armado bajo el nivel de la vía con sección amplia para evitar obstrucciones y ayudar en procesos de limpieza y mantenimiento.



**Figura 66. Esquema de control de cauce con canalización cerrada en concreto armado**

#### 4.1.7 Obras de bioingeniería

Las zonas a ser implementadas, mediante una plantación de estabilización y protección están ubicadas en diferentes áreas de las cuencas, las misma presentan áreas con procesos erosivos, así mismo se realizará la plantación en zonas con escasa regeneración natural de la vegetación nativa, con el propósito de controlar a corto y mediano plazo los procesos de erosión. Las obras de bioingeniería que se proponen son plantación de hoyos en terrazas, tepeado con césped silvestre, cercos de protección con alambre de púa y actividades de refallo.



*Figura 67. Esquema de reforestación con sistema tresbolillo*

## 4.2 DISEÑOS PRELIMINARES DE OBRAS

### 4.2.1 Villa Exaltación

Dadas las condiciones en la zona de Villa Exaltación, se plantean las siguientes obras:

1. Reconfiguración geométrica con anclajes pasivos: la zona donde se construirá la obra de estabilización del talud se encuentra en el límite entre la zona Villa Exaltación en el sureste del municipio de El Alto, y la parte superior de la cuenca del río Alpacoma. Esta zona abarca una superficie aproximada de 3155 m<sup>2</sup>.
2. Control de drenaje pluvial: la zona donde se construirá la obra de drenaje sobre la intervención de estabilización del talud se encuentra en el límite entre la zona Villa Exaltación en el sureste del municipio de El Alto, y la parte superior de la cuenca del río Alpacoma. Esta zona abarca una superficie aproximada de 3155 m<sup>2</sup>.
3. Control de drenaje subterráneo: la zona donde se construirá la obra de drenaje sobre la intervención de estabilización del talud se encuentra en el límite entre la zona Villa Exaltación

en el sureste del municipio de El Alto, y la parte superior de la cuenca del río Alpacoma. Esta zona abarca una superficie aproximada de 3155 m<sup>2</sup>.

La Figura 68 muestra la localización de las obras planteadas para la zona de Villa Exaltación.



**Figura 68. Localización de obras planteadas en Villa Exaltación**

La Tabla 17 muestra las cantidades estimadas para las obras de reconformación con anclajes pasivos, drenajes superficiales y drenajes subterráneos en Villa Exaltación. Estas cantidades fueron tomadas del estudio de referencia (MPD , 2014).



*Tabla 17. Cantidades de obra de Villa Exaltación  
Fuente: (MPD , 2014)*

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UND.	CANTIDAD
<b>1. GENERALES</b>			
1	INSTALACION DE FAENAS	GLB	1.00
2	PROVISION Y COLOCADO DE LETRERO DE OBRA	PZA	2.00
3	REPLANTEO Y TRAZADO	GLB	1.00
4	LIMPIEZA DEL AREA DE TRABAJO	GLB	1.00
<b>SUBTOTAL GENERALES</b>			
<b>2. CONFORMACION DE TALUD</b>			
5	EXCAVACIÓN CON EQUIPO (TRANSPORTE HASTA 500)	M3	38,904.58
6	PERNOS DE ANCLAJE (GRADO 60, D=25MM)	ML	9,283.00
7	MALLA DE 15 X 15 - 6MM	M2	7,533.20
8	HORMIGON LANZADO	M3	753.32
9	TRANSPORTE MATERIAL EXCEDENTE	M3K	447,402.70
<b>SUBTOTAL CONFORMACION DE TALUD</b>			
<b>3. DRENAJE</b>			
10	EXCAVACIÓN CON EQUIPO (TRANSPORTE HASTA 500)	M3	179.00
11	EXCAVACIÓN DE 0 A 2.00 M S/AGOTAMIENTO TERRENO SEMIDURO	M3	256.20
12	CUNETA DE BANQUINA RESVESTIDA	ML	780.00
13	ZANJA DE CORONAMIENTO REVESTIDO E=4CM	M2	260.00
14	BAJANTE PARA DRENES DE HOCO	ML	25.00
15	BORDILLO DE PROTECCION DE HORMIGON CICLOPEO	ML	260.00
16	PROV Y COLOC DE BARBACANAS DE PVC	ML	700.00
17	DRENES HORIZONTALES 3"	ML	2160
18	PROVISION Y COLOCADO DE GEOTEXTIL COMO FILTRO	M2	1,543.40
19	PROVISION Y COLOCADO DE TUBERIA SDR 10" PERFORAD	ML	364.00
20	RELLENO MATERIAL DE DRENAJE FILTRO FRANCÉS	M3	196.56
21	TRANSPORTE MATERIAL EXCEDENTE	M3K	17,690.80
<b>SUBTOTAL DRENAJE</b>			
<b>4. CANALIZACION</b>			
22	CANAL DE HORMIGON CICLOPEO	ML	126.00
<b>SUBTOTAL CANALIZACION</b>			
<b>5. INSTRUMENTACION</b>			
23	INSTALACION INCLINOMETRO INCLUYE Y SOFTWARE	PZA	2.00
24	SUMINISTRO E INSTALACION DE PIEZOMETRO DE OBSERVACION	PZA	3.00
25	HITOS DE REFERENCIA	PZA	6.00

#### 4.2.2 Titiri

Dadas las condiciones en la zona de Titiri, se plantean las siguientes obras:

1. Control de erosión en cauce de torrentera Titiri: la zona donde se construirá las obras de canalización y control de cauces de la torrentera Titiri se encuentra al noroeste del municipio de Achocalla, colindando con la parte sureste de la ciudad de El Alto. La cuenca Titiri abarca una superficie aproximada de 80 Ha.
2. Reforestación: la zona donde se implementarán las obras de bioingeniería de la cuenca Titiri se encuentra al noroeste del municipio de Achocalla, colindando con la parte sureste de la ciudad de El Alto. La cuenca Titiri abarca una superficie aproximada de 80 Ha.

La Figura 69 muestra la localización de las obras planteadas para la zona de Titiri.



*Figura 69. Localización de obras planteadas en Titiri*

La Tabla 18 muestra las cantidades estimadas para las obras de control de erosión del cauce en Titiri, y la Tabla 19 indica las cantidades de la intervención de reforestación. Estas cantidades fueron tomadas del estudio de referencia (MPD , 2014).

**Tabla 18. Cantidades de obra de control de erosión del cauce en Titiri**  
**Fuente: (MPD , 2014)**

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UND.	CANTIDAD
<b>1. GENERALES</b>			
1	INSTALACION DE FAENAS	GLB	1.00
2	PROVISION Y COLOCADO DE LETRERO DE OBRA	PZA	1.00
3	REPLANTEO Y TRAZADO	GLB	1.00
4	LIMPIEZA DEL AREA DE TRABAJO	GLB	1.00
<b>SUBTOTAL GENERALES</b>			
<b>2. CANALIZACION TORRENTERA TITIRI</b>			
5	EXCAVACION DE 0 A 2.00 M S/AGOTAMIENTO	M3	1,885.71
6	EXCAVACIÓN CON EQUIPO (TRANSPORTE HASTA 500)	M3	4,385.30
7	HORMIGON H25 (INCLUYE ENCOFRADO)	M3	148.19
8	ACERO DE REFUERZO	KG	13,633.30
9	PROV. Y ARMADO DE GAVION 2X1X1 M	M3	2,296.00
10	REVESTIMIENTO DE GAVION HORMIGON SIMPLE E = 10CM	M3	18.39
11	HORMIGON CICLOPEO 40 % PIEDRA DESPL	M3	739.25
12	RELLENO COMPACTADO MATERIAL COMUN	M3	652.93
13	PROV Y COLOC DE SILLARES (30 X 30 X 40)	M2	36.00
14	TRANSPORTE MATERIAL EXCEDENTE	M3K	38,371.83

**Tabla 19. Cantidades de obra de reforestación en Titiri**  
**Fuente: (MPD , 2014)**

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UND.	CANTIDAD
<b>1. GENERALES</b>			
1	INSTALACION DE FAENAS	GLB	1.00
2	PROVISION Y COLOCADO DE LETRERO DE OBRA	PZA	1.00
3	REPLANTEO Y TRAZADO	GLB	1.00
4	LIMPIEZA DEL AREA DE TRABAJO	GLB	1.00
<b>SUBTOTAL GENERALES</b>			
<b>2. BIOINGENIERIA TORRENTERA RIO ALPACOMA</b>			
5	PLANTACION EN HOYOS DE TERRAZAS	PZA	7,025.00
6	TEPEADO CON CESPED SILVESTRE	M2	44,600.00
7	CERCO DE PROTECCION C/ALAMBRE DE PUA	ML	2,322.31
8	REFALLO	PZA	2,107.00

### 4.3 PRESUPUESTO PRELIMINAR DE OBRAS

La Tabla 20 muestra el presupuesto preliminar estimado para las obras de reconfiguración con anclajes pasivos, drenajes superficiales y drenajes subterráneos en Villa Exaltación. Estos valores fueron tomadas del estudio de referencia (MPD , 2014).

*Tabla 20. Presupuesto preliminar de obras de Villa Exaltación*  
*Fuente: (MPD , 2014)*

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UND.	CANTIDAD	UNITARIO	PARCIAL	TOTAL
<b>1. GENERALES</b>						
1	INSTALACION DE FAENAS	GLB	1.00	3,408.09	3,408.09	
2	PROVISION Y COLOCADO DE LETRERO DE OBRA	PZA	2.00	458.85	917.70	
3	REPLANTEO Y TRAZADO	GLB	1.00	1,528.29	1,528.29	
4	LIMPIEZA DEL AREA DE TRABAJO	GLB	1.00	776.91	776.91	
<b>SUBTOTAL GENERALES</b>						<b>6,630.99</b>
<b>2. CONFORMACION DE TALUD</b>						
5	EXCAVACIÓN CON EQUIPO (TRANSPORTE HASTA 500)	M3	38,904.58	4.62	179,739.16	
6	PERNOS DE ANCLAJE (GRADO 60, D=25MM)	ML	9,283.00	35.46	329,175.18	
7	MALLA DE 15 X 15 - 6MM	M2	7,533.20	10.80	81,358.56	
8	HORMIGON LANZADO	M3	753.32	471.38	355,099.98	
9	TRANSPORTE MATERIAL EXCEDENTE	M3K	447,402.70	0.59	263,967.59	
<b>SUBTOTAL CONFORMACION DE TALUD</b>						<b>1,209,340.47</b>
<b>3. DRENAJE</b>						
10	EXCAVACIÓN CON EQUIPO (TRANSPORTE HASTA 500)	M3	179.00	4.62	826.98	
11	EXCAVACION DE 0 A 2.00 M S/TERRENO SEMIDURO	M3	256.20	6.64	1,701.17	
12	CUNETAS DE BANQUINA RESVESTIDA	ML	780.00	33.66	26,254.80	
13	ZANJA DE CORONAMIENTO REVESTIDO E=4CM	M2	260.00	23.36	6,073.60	
14	BAJANTE PARA DRENES DE HOCO	ML	25.00	67.16	1,679.00	
15	BORDILLO DE PROTECCION DE HORMIGON CICLOPEO	ML	260.00	55.84	14,518.40	
16	PROV Y COLOC DE BARBACANAS DE PVC	ML	700.00	6.64	4,648.00	
17	DRENES HORIZONTALES 3"	ML	2,160.00	18.35	39,636.353	
18	PROVISION Y COLOCADO DE GEOTEXTIL COMO FILTRO	M2	1,543.40	4.16	6,420.54	
19	PROVISION Y COLOCADO DE TUBERIA SDR 10"	ML	364.00	33.93	12,350.52	
20	PERFORAD	M3	196.56	28.56	5,613.75	
21	RELLENO MATERIAL DE DRENAJE	M3K	17,690.80	0.59	10,437.57	
<b>SUBTOTAL DRENAJE</b>						<b>130,160.68</b>
<b>4. CANALIZACION</b>						
22	CANAL DE HORMIGON CICLOPEO	ML	126.00	66.01	8,317.26	
<b>SUBTOTAL CANALIZACION</b>						<b>8,317.26</b>
<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO</b>						<b>\$1,354,449. 40</b>

La Tabla 21 muestra las cantidades estimadas para las obras de control de erosión del cauce en Titiri, y la

Tabla 22 indica las cantidades de la intervención de reforestación. Estas cantidades fueron tomadas del estudio de referencia (MPD , 2014).



**Tabla 21. Presupuesto preliminar de obra de control de erosión del cauce en Titiri**
*Fuente: (MPD , 2014)*

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UND.	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO PARCIAL	COSTO TOTAL
<b>1. GENERALES</b>						
1	INSTALACION DE FAENAS	GLB	1.00	3,408.72	3,408.72	
2	PROVISION Y COLOCADO DE LETRERO DE OBRA	PZA	1.00	458.85	458.85	
3	REPLANTEO Y TRAZADO	GLB	1.00	1,529.00	1,529.00	
4	LIMPIEZA DEL AREA DE TRABAJO	GLB	1.00	776.91	776.91	
<b>SUBTOTAL GENERALES</b>						<b>6,173.48</b>
<b>2. CANALIZACION TORRENTERA TITIRI</b>						
5	EXCAVACION DE 0 A 2.00 M S/AGOTAMIENTO	M3	1,885.71	6.64	12,521.11	
6	EXCAVACIÓN CON EQUIPO (TRANSPORTE HASTA 500)	M3	4,385.30	4.62	20,260.09	
7	HORMIGON H25 (INCLUYE ENCOFRADO)	M3	148.19	407.99	60,460.04	
8	ACERO DE REFUERZO	KG	13,633.30	3.08	41,990.56	
9	PROV. Y ARMADO DE GAVION 2X1X1 M	M3	2,296.00	66.52	152,729.92	
10	REVESTIMIENTO DE GAVION HORMIGON	M3	18.39	350.06	6,437.60	
11	HORMIGON CICLOPEO 40 % PIEDRA DESPL	M3	739.25	92.89	68,668.93	
12	RELLENO COMPACTADO MATERIAL COMUN	M3	652.93	8.42	5,497.67	
13	PROV Y COLOC DE SILLARES (30 X 30 X 40)	M2	36.00	147.37	5,305.32	
14	TRANSPORTE MATERIAL EXCEDENTE	M3K	38,371.83	0.59	22,639.38	
<b>SUBTOTAL CANALIZACION TORRENTERA TITIRI</b>						<b>396,510.62</b>
<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO</b>						<b>402,684.10</b>

**Tabla 22. Presupuesto preliminar de obra de reforestación en Titiri**
*Fuente: (MPD , 2014)*

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UND.	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO PARCIAL	COSTO TOTAL
<b>1. GENERALES</b>						
1	INSTALACION DE FAENAS	GLB	1.00	3,408.72	3,408.72	
2	PROVISION Y COLOCADO DE LETRERO DE OBRA	PZA	1.00	458.85	458.85	
3	REPLANTEO Y TRAZADO	GLB	1.00	1,528.93	1,528.93	
4	LIMPIEZA DEL AREA DE TRABAJO	GLB	1.00	776.91	776.91	
<b>SUBTOTAL GENERALES</b>						<b>6,173.41</b>
<b>2. BIOINGENIERIA TORRENTERA RIO ALPACOMA</b>						
5	PLANTACION EN HOYOS DE TERRAZAS	PZA	7,025.00	1.59	11,169.75	
6	TEPEADO CON CESPED SILVESTRE	M2	44,600.00	1.96	87,416.00	
7	CERCO DE PROTECCION C/ALAMBRE DE PUA	ML	2,322.31	15.10	35,066.88	
8	REFALLO	PZA	2,107.00	1.38	2,907.66	
<b>SUBTOTAL BIOINGENIERIA TORRENTERA RIO ALPACOMA</b>						<b>136,560.29</b>
<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO</b>						<b>142,733.70</b>

## 5 REFERENCIAS

- Sanhueza , J., & Poulain , M. (2007). *Mitigación del cambio climático por medio de actividades forestales en zonas áridas y semiáridas de Argentina, Bolivia, Chile y Perú: Rol del MDL*. Santiago.
- Administradora Boliviana de Carreteras. (2016). *PROYECTO CARRETERO: CORREDOR CONECTOR DE SANTA CRUZ SCRCCP-PLAN DE REASENTAMIENTO*. ABC.
- ASTER GDEM. (s.f.). *ASTER GDEM - NASA*. Recuperado el Noviembre de 2014, de <http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/>
- Banco Central de Bolivia. (2013). *Informe de Estabilidad Financiera*. La Paz.
- Banco Mundial. (2014). [www.bancomundial.org](http://www.bancomundial.org). Obtenido de <http://www.bancomundial.org/es/country/bolivia>
- Bautista C. R., La Fuente R.S. (2014). Desarrollo del modelo hidráulico y escenarios hidrológicos en el marco del plan director de la cuenca del río Rocha. Proyecto de Grado para optar el Diploma Académico de Licenciatura en Ingeniería Civil. Universidad Mayor de San Simón.
- BID - ITEC. (2015). *Perfil de riesgo de desastres para Bolivia ante inundaciones y deslizamientos en cuencas seleccionadas*. Bogotá.
- BID - ITEC. (2017). *Desarrollo de la metodología del análisis económico integrado de los planes de mitigación del riesgo de inundación a nivel sub nacional - caso de estudio en Bolivia*. Bogotá.
- Cámara Departamental de la Construcción de Cochabamba. (2014 - 2015). *PRECIOS UNITARIOS DE REFERENCIA PARA LA CONSTRUCCIÓN*. Cochabamba, Cochabamba, Bolivia: CADECO.
- CentralAmericaData. (s.f.). *Cental Amrica Data*. Recuperado el Noviembre de 2014, de <http://www.centralamericadata.com>
- Centro Digital de Recursos Naturales de Bolivia. (s.f.). Recuperado el Diciembre de 2014, de <http://cdrnbolivia.org/index.htm>
- CEPAL. (2003). *Manual para la evaluación del impacto socioeconómico y ambiental de los desastres*. . La Paz: s.e.
- Chipana, W. (2013). *La razón*. Recuperado el Noviembre de 2014, de [http://www.la-razon.com/index.php?url=/economia/Mitad-poblacion-boliviana-transicion-media\\_0\\_1930606961.html](http://www.la-razon.com/index.php?url=/economia/Mitad-poblacion-boliviana-transicion-media_0_1930606961.html)
- Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology* (Segunda ed.). S.I: International Editions: McGraw-Hill .
- Clark, C. (1945). Storage and the unit hydrograph: Transactions. American Society of Civil Engineers.
- CONAGUA. (2011). *Manual para el control de inundaciones*. Recuperado el Noviembre de 2014, de <http://cenca.imta.mx/pdf/manual-para-el-control-de-inundaciones.pdf>
- DesInventar. (2013). *DesInventar Disaster Information Management System, Version 9.15. Inventario de Desastres Salvador (1900-2012)*. Recuperado el Noviembre de 2014, de <http://online.desinventar.org/desinventar/#SLV-20120604210329>
- DesInventar Project. (2013). *DesInventar Bolivia*. Obtenido de [http://online.desinventar.org/desinventar/#BOL-1248983224-bolivia\\_inventario\\_historico\\_de\\_desastres](http://online.desinventar.org/desinventar/#BOL-1248983224-bolivia_inventario_historico_de_desastres)
- EM\_DAT. (2014). *Disaster, EM\_DAT: The OFDA/CRED International*. (U. C. Louvain, Editor) Obtenido de [www.emdat.be](http://www.emdat.be)

- ERN América Latina. (2009). *CAPRA: Central American Probabilistic Risk Assessment*. s.c.: WB Group, IADB, UN\_ISDR, CEPREDENAC.
- ERN América Latina. (2009b). *Metodología de Modelación Probabilista de Riesgos Naturales. Modelos de Evaluación de Amenazas Naturales y Selección. Tomo I*. s.c: CEPREDENAC, ISDR, IDB, GFDRR, WB.
- ERN Evaluación de Riesgos Naturales. (2011). *Tutorial ERN-Inundación*. México D.F.: ERN - Ingenieros Consultores S.C.
- ERN Latinoamerica. (s.f.). *ERN Aplicaciones CAPRA*. Recuperado el s.f. de 2014, de [http://www.ern-la.com/aplicaciones\\_capra/aplicaciones\\_capra.htm](http://www.ern-la.com/aplicaciones_capra/aplicaciones_capra.htm)
- Escudero, I. (2010). *WP3 - Residual Risk and Vulnerability Analysis*. Valencia, España: strategies of Urban Flood Risk Management.
- FAO. (29 de junio de 2007). *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación*. Obtenido de Informe Especial: Misión FAO/PMA de evaluación de cultivos y suministros de alimentos en Bolivia: <http://www.fao.org/docrep/010/ah867s/ah867s00.htm>
- FAO. (2012). *Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i2800s.pdf>
- FAO. (2004). *Watershed Management Case Study: Latin America. Review and assessment of the status of watershed management*. Recuperado el Noviembre de 2014, de <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/j3887e/j3887e00.pdf>
- Fondo Nacional de Inversión Productiva y Social. (2017). *Mejoramiento Canal de Riego Villa Esperanza (Pojo)*.
- G., A. R. (2010). *La problemática de contaminación del río Rocha en el tramo metropolitano de Cochabamba. Todo Sobre el Agua. Boletín No. 100*. . Recuperado el Noviembre de 2014, de [http://www.bivica.org/upload/boletin-agua\\_rio\\_rocha.pdf](http://www.bivica.org/upload/boletin-agua_rio_rocha.pdf)
- GeoBolivia. (s.f.). Recuperado el Noviembre de 2014, de <http://geo.gob.bo/>
- Gobernación Cochabamba. (s.f.). *Proyecto Gestión Integral del Río Rocha*. Recuperado el 2014 de Noviembre, de [http://cochabamba.gob.bo/public/docs/medioambiente/resumenes/resumen\\_rio\\_rocha.pdf](http://cochabamba.gob.bo/public/docs/medioambiente/resumenes/resumen_rio_rocha.pdf)
- Gobernación de Cochabamba. (s.f.). *Proyecto Gestión Integral del Río Rocha*. Recuperado el Noviembre de 2014, de [http://bicentenario.cochabamba.gob.bo/public/docs/medioambiente/proyectos/proy\\_rio\\_rocha.pdf](http://bicentenario.cochabamba.gob.bo/public/docs/medioambiente/proyectos/proy_rio_rocha.pdf)
- Gobierno Autónomo Departamental de Cochabamba; Servicio Departamental de Cuencas (SDC);. (2015). *Ampliación y acondicionamiento hidráulico del río rocha desde el puente Kenamari hasta la confluencia río Rocha – Chijllawiri*. Colcapirhua.
- Gobierno Provincia Cochabamba. (s.f.). *Construcción de la visión, políticas y lineamientos estratégicos de la cuenca del río Grande*. Recuperado el Noviembre de 2014, de [http://www.cuencasbolivia.org/files/vision\\_lineamientos\\_estrateg\\_pdcrg.pdf](http://www.cuencasbolivia.org/files/vision_lineamientos_estrateg_pdcrg.pdf)
- IFRCRCS. (2000). *Risk Reduction. Disaster Preparedness Training Programme*. s.c.: International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies.
- INE. (2012). *Instituto Nacional de Estadística*. Obtenido de Resultados Censo de Población y Vivienda: <http://datos.ine.gob.bo/binbol/RpWebEngine.exe/Portal?&BASE=CPV2012COM>
- Instituto geográfico Boliviano. (s.f.). *GeoBolivia* . Recuperado el Noviembre de 2014, de <http://geo.gob.bo/>
- Instituto Nacional de Estadísticas de Bolivia. (2002). *Censo del año 2001*. Recuperado el Noviembre de 2014, de <http://www.ine.gov.bo>
- INSUCONS. (14 de Diciembre de 2016). *Insucons*. Obtenido de Insucons: <http://www.insucons.com/>

- Mendoza, L. (2 de Febrero de 2013). *Las tierras productivas más caras están en Santa Cruz*. Recuperado el 21 de Enero de 2017, de eju!: <http://eju.tv/2013/02/las-tierras-productivas-ms-caras-estn-en-santa-cruz/>
- Michele, F., Aawa, G., Gero, M., Willis, F., Paul, B., Unibristol, N., & Ihe, B. T. (2011)). Critical review of non structural measures for water related risks. . *Kulturisk Project*, 31, 1-42.
- Ministerio de Obras Públicas, Servicios y Vivienda. (2015). *¿Cuáles son las modalidades y requisitos para obtener una vivienda social?* Obtenido de <http://www.oopp.gob.bo/index.php/faq>
- Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo. (2009). *Manejo Integrado de Cuencas en la Región Andina: Aportes del Programa MIC a la gestión y generación de conocimientos. Sistematización de la exoeriencia (2005-2008)*. Recuperado el Noviembre de 2014, de <http://www.redaac.net/programa-aacc/docs/sistematizacion-MIC.pdf>
- Mockus, V. (1957). *Use of storm and watershed characteristics in syntetic unit hidrograph analysis and application* . s.c.: U.S Soil Conservation Service.
- MPD . (2014). *Gestión integral de la cuenca Alpacoma*. La Paz: UMSS - Antea Group.
- Natural Resources Conservation Service. (2007). *Part 630* . s.c.: Hydrology National Engineering .
- OPS/OMS Bolivia. (2014). *Programa de Emergencias y Desastres de la OPS/OMS: Emergencias Bolivia 2014 por Inundaciones. Informe de Situación*. Recuperado el Noviembre de 2014, de [www.redhum.org/documento\\_download/14199](http://www.redhum.org/documento_download/14199)
- Organización de los Estados Americanos. (1977). *Cuenca del Plata - Estudios para su Planificación y Desarrollo*. Washington, D.C.
- Organización Panamericana de la Salud. (13 de 02 de 2014). *Informe de Situación 2 UNETE Bolivia*. Obtenido de [http://www.paho.org/disasters/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_details&gid=2168&Itemid=&lang=en](http://www.paho.org/disasters/index.php?option=com_docman&task=doc_details&gid=2168&Itemid=&lang=en)
- P&C. (julio de 2016). *PRESUPUESTO Y CONSTRUCCIÓN*, Guía de productos y servicios. La Paz, Bolivia.
- Pappenberger, F., & Matgen, P. (2006). Influence of uncertain boundary conditions and model structure on flood inundation predictions. . *Advances in Water Resources*, 29(10), 1430-1449.
- PreventionWeb. (2011). *Prevention Web*. Recuperado el Noviembre de 2014, de <http://www.preventionweb.net/english/countries/statistics/?cid=21>
- Recursos Hídricos. (s.f.). *Geografía de Bolivia*. Recuperado el Noviembre de 2014, de <http://www.bolivia.com/geografiadebolivia/cap13.htm>
- Salas, M. (2014). *OBRAS DE PROTECCIÓN CONTRA INUNDACIONES*. México D.F.: Centro Nacional de Prevención de Desatres - México.
- Saldarriaga, J. G. (2007). *Hidráulica de Tuberías: Abastecimiento de agua, redes, riegos*. Bogotá: 1era Edición. Alfaomega.
- SENAMHI. (18 de Septiembre de 2002). *Servicio Nacional de Hidrología y Meteorología. Unidad de pronósticos*. Recuperado el Noviembre de 2014, de <http://www.senamhi.gob.bo/meteorologia/nino.php>
- Texas A&M University (TAMU). (2014). *Centro Digital de Recursos Naturales de Bolivia. Información Geoespacial* . Recuperado el Noviembre de 2014 , de [http://essm.tamu.edu/bolivia/info\\_geoespacial\\_vector\\_es.htm](http://essm.tamu.edu/bolivia/info_geoespacial_vector_es.htm)
- The Democracy Center. (2015). *Cambio Climático*. Recuperado el Noviembre de 2014, de [http://cambioclimatico.democracyctr.org/?page\\_id=541](http://cambioclimatico.democracyctr.org/?page_id=541)
- UNICEF. (2014). *Las peores inundaciones en décadas en Bolivia desplazan a las familias y perturban las vidas de los niños*. Obtenido de [http://www.unicef.org/spanish/emergencias/bolivia\\_39044.html](http://www.unicef.org/spanish/emergencias/bolivia_39044.html)



- UNIDSR. (2011). *2011 Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction: Revealing Risk, Redefining Development*. United Nations: s.c.
- UNIDSR. (2013). *GAR13: Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction*. Geneva, Switzerland: ISDR, United Nations.
- USDA. (1986). *Urban hydrology for Small Watersheds*. s.c.: TR-55.
- USGS. (s.f.). *United States Geological Survey*. Recuperado el Diciembre de 2014, de <https://www.usgs.gov/>
- Villazón, M., & Willems, P. (2009). The importance of spill conceptualizations and head loss coefficients in a quasi two-dimensional approach for river inundation modelling. *Flood Risk Management: Research and Practice - Samuels et al. (eds)*. Taylor & Francis Group, London, 305-315.
- Worldpop. (s.f.). Recuperado el Noviembre de 2014, de <http://www.worldpop.org.uk/>