



PROYECTO PARA LA GESTION INTEGRAL  
PARA LA CONSERVACION ARQUEOLOGICA  
Y DESARROLLO TURISTICO DE COJITAMBO

**ESTUDIO DE ESCORRENTIA SUPERFICIAL Y SU INCIDENCIA EN  
LOS VESTIGIOS ARQUEOLOGICOS DE COJITAMBO Y SENDERO  
DE ACCESO.**

ARQ. FRANKLIN ESPINOZA PAIDA

ING. AMB. ADRIANA BRAVO PERALTA



**MAYO DEL 2021**

## TABLA DE CONTENIDO

### **ESTUDIO DE ESCORRENTIA SUPERFICIAL Y SU INCIDENCIA EN LOS VESTIGIOS ARQUEOLOGICOS DE COJITAMBO Y SENDERO DE ACCESO. \_\_ 4**

<b>1. INTRODUCCION</b>	<b>4</b>
1.1.1. ANTECEDENTES	4
1.1.2. JUSTIFICACION	8
1.1.3. UBICACIÓN HIDROGRÁFICA	9
1.1.4. UBICACIÓN GEOGRÁFICA	10
1.1.5. OBJETIVOS	11
1.1.6. METODOLOGIA	12
<b>2. MARCO TEORICO</b>	<b>13</b>
<b>2.1. HISTORIA DE LOS VESTIGIOS ARQUEOLOGICOS</b>	<b>13</b>
<b>2.2. ASPECTOS CONCEPTUALES DE LOS DESLIZAMIENTOS</b>	<b>15</b>
2.2.1. CAUSAS QUE AFECTAN LA ESTABILIDAD DEL TERRENO	16
2.2.2. DESLIZAMIENTOS	16
2.2.3. TIPOS DE DESLIZAMIENTO	17
<b>2.3. TECNICAS DE MITIGACION ANTE LOS DESLIZAMIENTOS</b>	<b>18</b>
2.3.1. DRENAJES	20
CUNETAS	21
ALCANTARILLAS DE ALIVIO DE CUNETAS	23
2.3.2. MANEJO NATURAL DE ESCORRENTIA	24
<b>2.4. ESCORRENTIA</b>	<b>29</b>
2.4.1. TIPOS DE ESCORRENTIA	29
2.4.2. CICLO DE LA ESCORRENTIA	30
2.4.3. FACTORES QUE CONDICIONAN LA ESCORRENTÍA	33
2.4.4. CAUDAL DE ESCORRENTIA	33
<b>2.5. DELIMITACION DE LA CUENCA</b>	<b>37</b>
2.5.1. CARACTERIZACION MORFOMETRICA DE LA CUENCA	38
<b>2.6. CONECTIVIDAD HIDROLOGICA DE CAMINOS</b>	<b>42</b>
<b>3.DISEÑO DE LA SUPERFICIE (FORMA) DEL CAMINO</b>	<b>52</b>
2.6.1. IMPORTANCIA DE LA PLANIFICACION Y LA CONSTRUCCION ADECUADA	60
2.6.2. ELEMENTO DE UN CAMINO ESTABLE	60
2.6.3. LAS TRES REGLAS MÁS IMPORTANTES PARA DESVIAR A LA ESCORRENTÍA DE LA SUPERFICIE	63
<b>3. DIAGNOSTICO</b>	<b>66</b>
3.1.1. PROBLEMÁTICA DEL SECTOR	66
3.1.2. INSPECCION VISUAL	66
3.1.3. CONSERVACION VIAL	68
3.1.4. CONDICIÓN DE DRENAJES	70
3.1.5. AREAS SELECCIONADAS	71
3.1.6. CARACTERIZACION DE INESTABILIDAD	75

<b>4. RESULTADOS</b>	<b>79</b>
4.1.1. DELIMITACION Y CODIFICACION DEL AREA DE ESTUDIO	79
4.1.2. MORFOLOGIA DE LA CUENCA	79
4.1.3. CARACTERIZACION MORFOMETRICA DE LA CUENCA	80
4.1.4. CALCULO DEL CAUDAL DE ESCORRENTIA SUPERFICIAL	84
4.1.5. UBICACIÓN DE OBRAS	90
<b>5. CONCLUSIONES</b>	<b>91</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>94</b>
<b>6. ANEXO</b>	¡Error! Marcador no definido.

# ESTUDIO DE ESCORRENTIA SUPERFICIAL Y SU INCIDENCIA EN LOS VESTIGIOS ARQUEOLOGICOS DE COJITAMBO Y SENDERO DE ACCESO.

## 1. INTRODUCCION

### 1.1.1. ANTECEDENTES

El presente trabajo consiste en el estudio de escorrentía superficial de una pequeña cuenca hidrológica situada en la parroquia de Cojitambo, concretamente en el cerro Cojitambo, en donde se emplazará el proyecto Turístico.



**Gráfico 1.** Área de estudio. Fuente: Google Earth. Autor: Equipo Consultor

El área de estudio corresponde a la zona alta del cerro Cojitambo, situado al oeste del poblado del mismo nombre. Esta área de análisis presenta un rango de altitud entre 2980 msnm a 3080 msnm. Las coordenadas del polígono que enmarca al área de estudio son:

FID	X	Y
0	7334622	9694867
1	734631	9694825
2	734671	9694844
3	734693	9694802
4	734724	9694781
5	734747	9694719
6	734740	9694704
7	734705	9694684
8	734737	9694638
9	734748	9694667
10	734786	9694694
11	734790	9694710
12	734790	9694741
13	734801	9694777
14	794796	9694808
15	734783	9694845
16	734732	9694917
17	734622	9694867

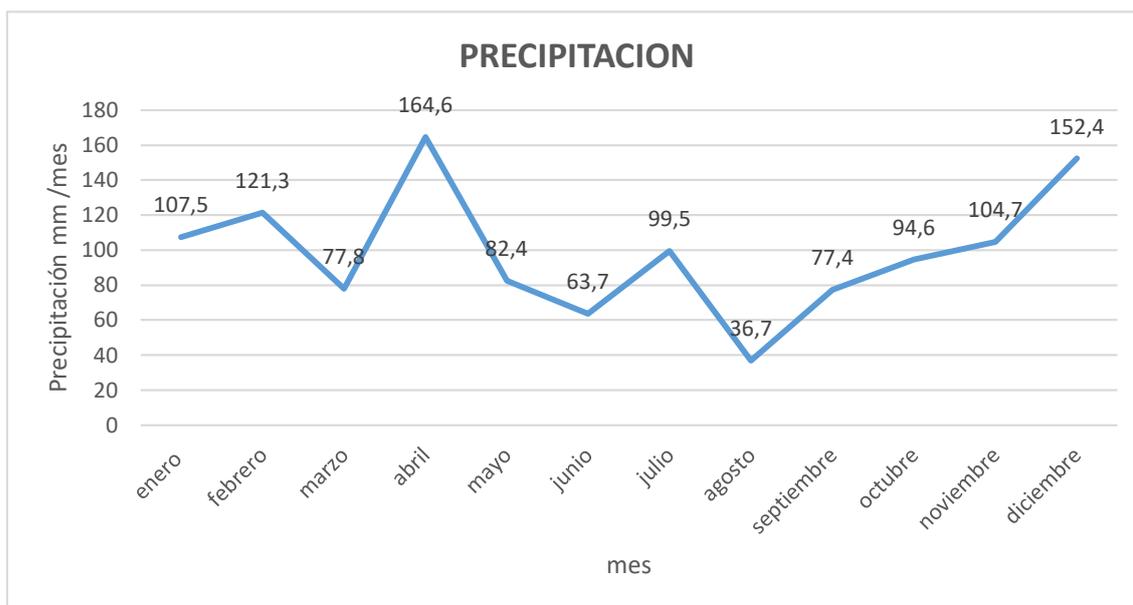
**Tabla 1.** Coordenadas de polígono.

Fuente: Equipo Consultor

Dado que la temperatura media anual del área es mayor a 12°C, el piso térmico templado frío.

El régimen de lluvias es estacional, pero con un comportamiento bimodal propio del sector, que genera dos períodos lluviosos alrededor de los dos picos anuales de precipitación, el primero entre los meses de marzo, abril y mayo, el segundo entre los meses de octubre, noviembre y diciembre.

Generalmente entre los meses de mayo hasta septiembre son tiempos de sequía, como se puede observar en el siguiente gráfico. (ver gráfico 2), según los datos adquiridos por el INMHI y con las estaciones más cercanas a la parroquia en la que determinan que las lluvias anuales fluctúan entre los 500mm y los 2000mm.



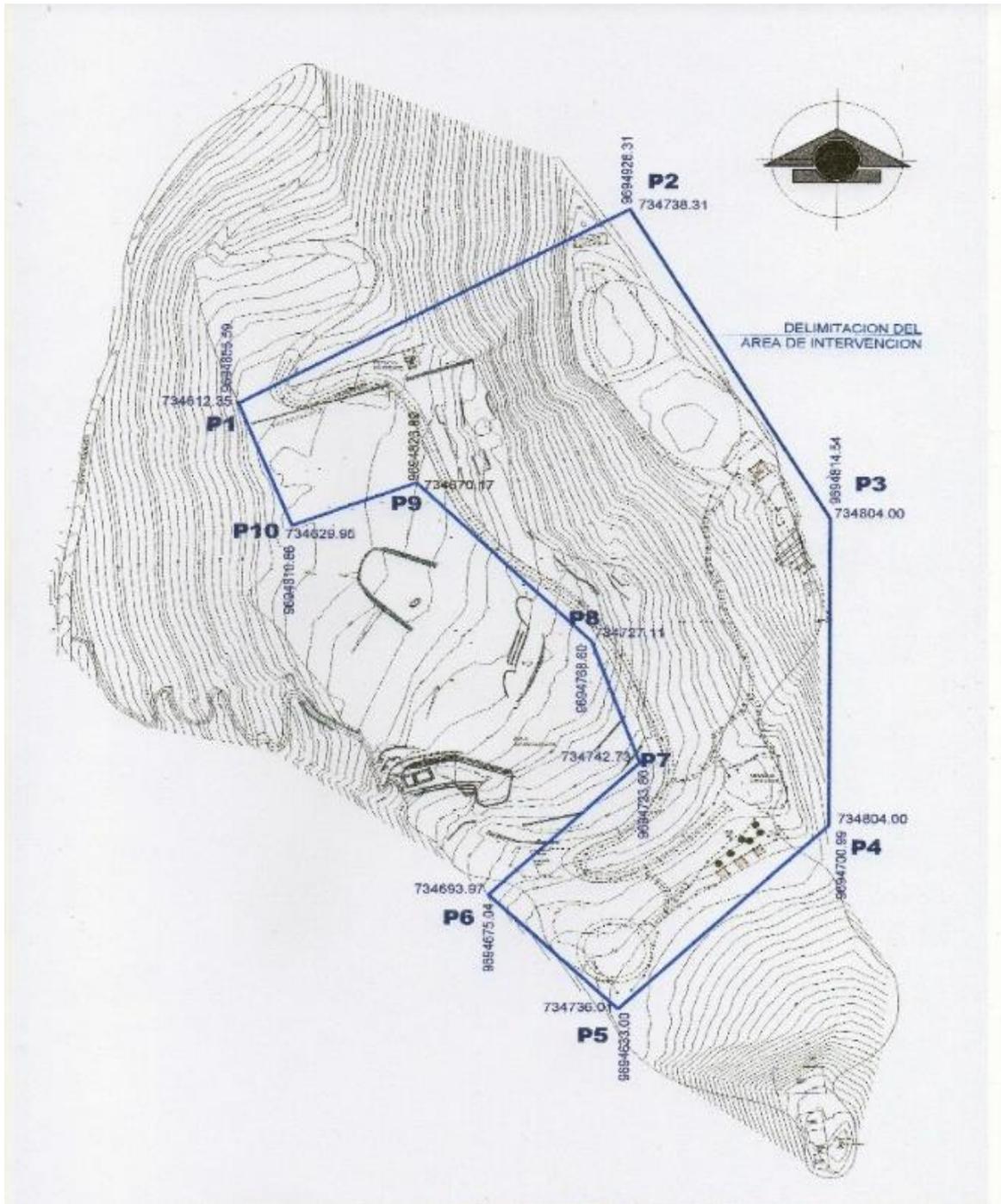
**Gráfico 2** Precipitaciones mm/mes de la parroquia Cojitambo. Fuente: INHAMI. Autor: Equipo Consultor

La vegetación se reduce a dos conjuntos, uno compuesto por arbustos y matorrales y otro formado por llano y matorrales que cubre gran parte del área; no existe un uso agrícola en estos terrenos.

La vertiente en estudio presenta un promedio de pendientes del 44%, con un mínimo de 3% y un máximo de 92% en el sentido este – oeste y un promedio de pendiente del 35%, con un mínimo de 13% y un máximo de 76%, en el sentido norte – sur, lo cual ocasionalmente produce eventuales procesos de caída/volcamiento de rocas (derrumbes).

Hidrológicamente esta vertiente no posee drenajes permanentes; las precipitaciones en el área generan un escurriendo longitudinal que en su avance se acomoda a las vías de acceso en las ondulaciones dadas por el afloramiento rocoso, existiendo entonces cauces o surcos de escurrimiento solamente en época invernal. El área de estudio tiene 6,40

hectáreas y corresponde a una poligonal de 1077,00 m de perímetro. (ver Gráfico 3)



**Gráfico 3** Plano arquitectónico del emplazamiento de equipamientos en el complejo arqueológico Cojitambo. Fuente: Equipo Consultor, Autor: Arq. Franklin Espinoza

### 1.1.2. JUSTIFICACION

El problema que da origen al siguiente estudio surge de la necesidad de conocer cuál es el impacto de aguas lluvias en el complejo arqueológico previo a la implementación de nuevos equipamientos, de tal manera que se pueda garantizar la conservación de los vestigios arqueológicos existentes en el cerro Cojitambo.

Las medidas a considerarse son la cobertura vegetal y el uso de suelo que se da en el complejo arqueológico, este indicador permitirá conocer los valores adecuados para el cálculo de la escorrentía superficial con el método racional.

La pérdida de conectividad hidrológica surge por la falta de mantenimiento y la erosión de caminos debido a que las cunetas pierden su función y afectan su conformación, sumado a los altos niveles de tránsito y ocupación, lo que origina la rápida generación de sedimentos finos sobre la superficie de rodadura haciendo que la escorrentía se transporte a lo largo de las cunetas provocando su pérdida. Por lo tanto, la buena planificación y mantenimiento adecuado de un camino, sumado a la formación de cunetas brinda soluciones seguras para controlar las precipitaciones y el evento de escorrentía que se produce en la zona de estudio.

A partir del cálculo del caudal superficial de escorrentía se busca la planificación de prácticas de construcción y reconstrucción progresiva que pueden evitar considerablemente los impactos relacionados con el manejo adecuado de aguas lluvias, de tal manera que se pretende dirigir la escorrentía fuera del camino o acceso principal, para evitar que flujos grandes y erosionantes se desarrollen en cunetas largas y no drenadas o superficies del camino, dando como resultado un camino o accesos de bajo mantenimiento, bajo impacto y mayor beneficio para conservar las estructuras del complejo.

### 1.1.3. UBICACIÓN HIDROGRÁFICA

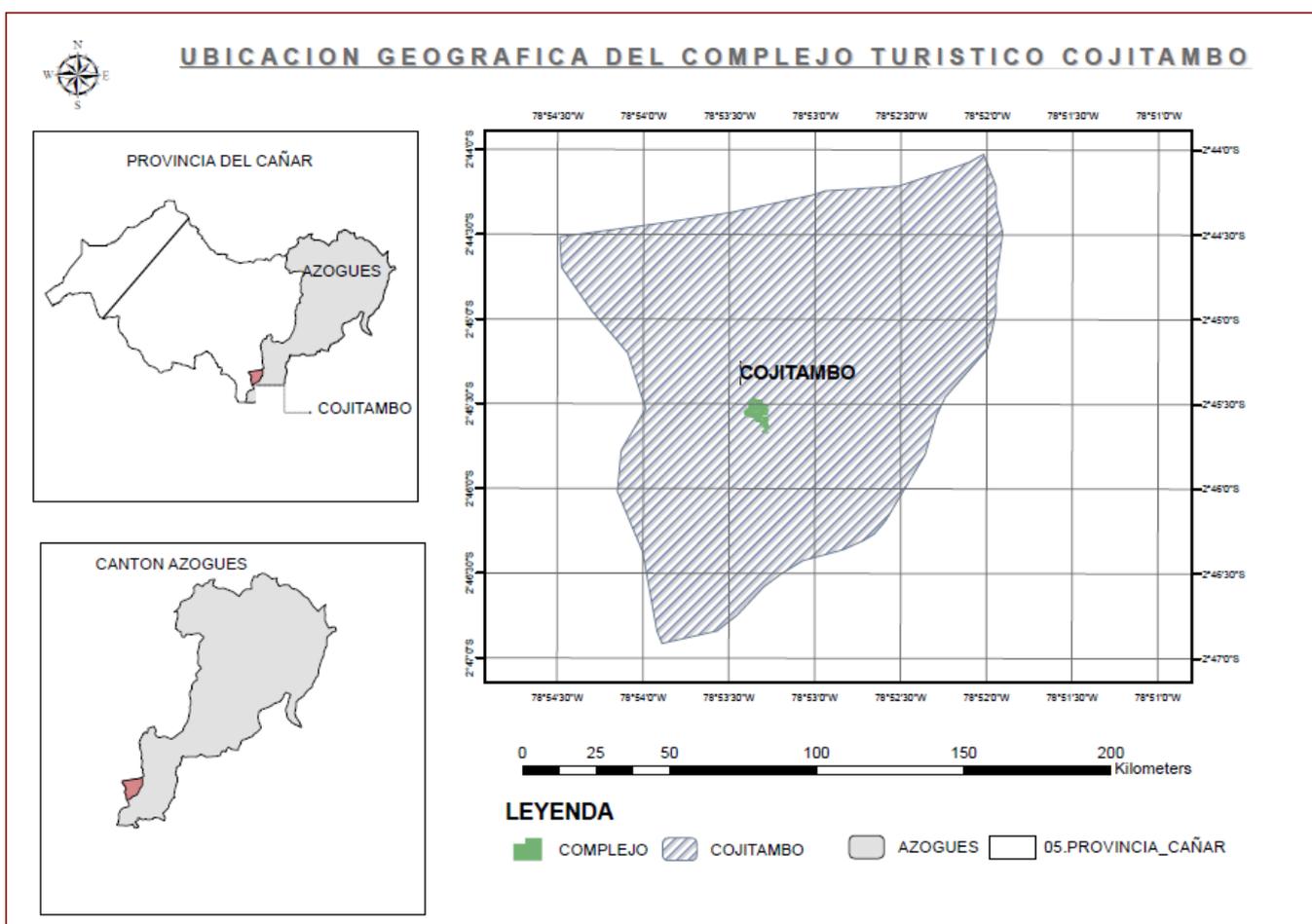
La parroquia Cojitambo, con relación a su ubicación hidrográfica pertenece a la **Microcuenca del Río Burgay Bajo**, la misma que está dentro de la Sub cuenca del río Burgay desembocando en la Cuenca principal del río Paute (Tabla 2)

**Tabla 2.** Codificación de la microcuenca del Río Burgay Bajo y el Complejo Arqueológico Cojitambo.

<b>. Nivel 1</b>		
<b>Código</b>	Vertiente	
4	Océano Atlántico	
<b>Nivel 2</b>		
<b>Código</b>	Sistema hidrográfico	
49	Río Amazonas	
<b>Nivel 3</b>		
<b>Código</b>	Cuenca hidrográfica	Área km
499	Cuenca del Río Paute	6442.2
<b>Nivel 4</b>		
<b>Código</b>	Subcuenca	Área km
4998	Subcuenca del Río Burgay	447.04
<b>Nivel 5</b>		
<b>Código</b>	Microcuenca	Área km
49982	Microcuenca del Río Burgay Bajo	<b>112.61</b>
<b>Código</b>	<b>Nivel 6</b>	Área km
499821	<b>Complejo Arqueológico Cojitambo</b>	0.6023 km

### 1.1.4. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El complejo arqueológico Cojitambo se encuentra ubicado en la parroquia rural de Cojitambo la misma que pertenece al Cantón Azogues, Provincia del Cañar.



**Gráfico 4** Ubicación Geográfica del Complejo Arqueológico Cojitambo. Fuente SNI. Instituto Geográfico Militar. Autor: Ing. Adriana Bravo

### 1.1.5. OBJETIVOS

#### **OBJETIVO GENERAL**

- Garantizar la estabilidad del complejo arqueológico por las precipitaciones y conducción de aguas lluvias con el fin de conservar y proteger los vestigios arqueológicos existentes.

#### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Determinar el caudal de escorrentía del complejo Arqueológico Cojitambo.
- Determinar las condiciones de escorrentía en el sendero del proyecto y su incidencia en los vestigios.
- Establecer propuestas amigables con el ambiente complementadas con obras civiles que permitan proteger los vestigios arqueológicos existentes
- Definir las obras de drenaje, de protección de taludes y de recuperación vegetal.



**Foto 1** Vista sector sur del Complejo Cojitambo

### **1.1.6. METODOLOGIA**

A través de la recopilación, organización, análisis y síntesis de la información disponible proveniente de datos estadísticos y visitas de campo, se establecen las alternativas para la conformación y mantenimiento de la vía, caminerías y la protección natural de los taludes que se presentan en el sector.

Entre las principales actividades a realizar están:

- Verificar en campo los sitios de riesgo y los que presentan efectos por la escorrentía superficial.
- Analizar el levantamiento topográfico, ubicando todos los componentes de las obras existentes con verificación en el sitio.
- Definir las pendientes y longitudes de la vía o camino de acceso hacia la parte alta del cerro.
- Analizar el tratamiento del sendero, factible de aplicar en función de las características particulares del área del proyecto.
- Analizar los posibles trazados de las cunetas, canales y descargas para la captación, conducción y disposición de las aguas de escorrentía superficial.

Para complementar el análisis se contará con el uso de software especializados para la delimitación y caracterización morfométrica del área de estudio, además se aplicarán métodos de cálculo con el fin de conocer el caudal de escurrimiento que se produce el área de estudio.

## **2. MARCO TEORICO**

### **2.1. HISTORIA DE LOS VESTIGIOS ARQUEOLOGICOS**

Se ubican a 10 kilómetros hacia el oeste de la ciudad de Azogues, parroquia Cojitambo, provincia del Cañar, en la estribación occidental del cerro Cojitambo, y se halla a 3.076 m.s.n.m. Este cerro es conocido como el Mirador Cañari, por cuanto se puede apreciar un área de 30 kilómetros a la redonda. Las Ruinas se distribuyen en aproximadamente 45 ha.

Los trabajos de prospección arqueológica en Cojitambo iniciaron de acuerdo a la información proporcionada por Moradores del lugar, que conocían ciertas construcciones y cimientos de piedra, ubicadas en la cumbre amesetada, adaptándose a las características morfológicas del terreno y complementadas con evidencias de carácter militar y religioso, como el Camino del Inca.

En la investigación se encontraron objetos de cerámica decorados con incisiones de figuras artísticas y otras de cobre y piedra. El 15 de julio de 1984 se descubrió una edificación como un aposento de 6.50 m. largo, 4.43 m. de ancho y de 2 a 3.30 m. de altura. La construcción es de piedra, con una sola entrada y 7 hornacinas pequeñas (0.38 m. por 0.47 m. y 0.54 m. de fondo), similares a las que existen en la Chapanahuasi del cerro Guaguaizhumi de la provincia del Azuay.

Este tipo de edificación también existe en los cerros totémicos de: Guaguaizhumi, Abuga, Buerán, Zhalao, Molobog, Zhin, Ñaguarte, Cunguapiti, Pachamama y otros. Estos puntos denominados Chapanahuasi, servían para custodiar y vigilar la zona. Cojitambo fue habitado durante el Período del Desarrollo Regional (500 A.C- 500 D.C), Período de Integración (500 – 1460 D.C) y Período del Inca (1460 – 1532 D.C).

Las Ruinas de Cojitambo son de construcción sólida, que comprenden bloques canteados de roca andesita colocados unos sobre otros, formando hileras naturales, unidas con argamasa de tierra negra y relleno de mampostería. Debido a la extensión del sitio y complejidad de sus construcciones, se estratificó atendiendo su actual distribución espacial y algunos rasgos que diferencian los sectores entre sí.

El conjunto I, comprende una gran plaza con usnu (estrado ceremonial) central en forma de "U" con esquinas redondas abiertas hacia el este. Los muros que lo conforman son de 1.80 m. de alto por 1.53 m. de espesor,

en el interior existe un pozo de agua de forma circular revestido de piedra que mide 2.20 m. de alto por 1.80 m. de diámetro. El pozo tiene una pequeña escalinata de tres peldaños para descender y el usnu una entrada diagonal de 3.35 m. de ancho, que se comunica con el camino de acceso.

El conjunto II, localizado al este de la plaza, presenta una amplia terraza habitacional con muro de contención, y dos andenes con muros de contención en la parte baja. Está flanqueada por dos basamentos de vivienda de forma semi elíptica, de 10.50 m. de largo por 4.80 m. de ancho y 9.95 m. de largo por 3.15 m. de ancho, respectivamente.

El conjunto III, (682.5 m<sup>2</sup>) localizado al sureste de la plaza incluye una estructura rectangular de dos ambientes, 6 andenes con muros de contención, 5 basamentos de vivienda, 4 escalinatas y espacio delimitado por un muro curvo.

La estructura rectangular está constituida de pirca y mortero de barro, apoyada sobre una gran terraza construida artificialmente sobre la roca matriz del cerro. El recinto más extenso mide 6.30 m. de largo por 4.50 m. de ancho y las paredes 2.20 m. de alto por 0.84 m. de espesor. El segundo recinto más pequeño y menos conservado mide 3.35 m. de largo por 4.50 m. de ancho y las paredes de 0.64 m. de espesor. Presentan varias hileras de piedra en sus tres lados y un vano de puerta de 0.90 m. de ancho en la pared norte.

Se observan terraplenes consolidados con muros de piedra, estructuras habitacionales, colcas o depósitos, muros escalonados y un tramo del "Cápac Ñan". (Roura Ortega, 2010)

Al implementar equipamientos en el Complejo Arqueológico Cojitambo, primero se realiza un estudio de viabilidad y conocer las afecciones en las ruinas dadas por fenómenos geodinámicos naturales, que produjeron inestabilidad en los muros. Por lo tanto, en base a las observaciones del Instituto Nacional de Patrimonio Cultural INPC, interesado en la conservación y preservación de Sitios Arqueológicos del País, ha solicitado un estudio de escorrentía con el fin de garantizar la estabilidad y conservación de los vestigios arqueológicos con la implementación de medidas de mitigación y/o estabilización y evitar el colapso de las ruinas.

## 2.2. ASPECTOS CONCEPTUALES DE LOS DESLIZAMIENTOS

Los deslizamientos son provocados por varios factores entre los que están: factores litológicos, morfológicos, estructurales, climáticos y presencia de vegetación. En el estudio realizado nos enfocaremos a los **factores climáticos** para determinar si existe una afección por la presencia de escorrentía subterránea o superficial, con el fin de plantear una solución y garantizar la estabilidad de los vestigios existentes.

### Remoción de masa



#### Litológicos

- La composición de los materiales que constituyen la ladera



#### Morfológicos

- El principal parámetro morfológico es la pendiente, sobre la que actúa la gravedad.



#### Estructurales

- Fallas geológicas,
- Rumbo y buzamiento de la estratificación,
- Orientación y densidad de los planos de fracturamiento o de diaclasas,
- Rumbo y buzamiento de la foliación,
- Cambio brusco de la litología (suelo - roca).



#### Climáticos

- Agua, Lluvia Temperatura



#### Presencia de Vegetación

- La acción de las raíces estabiliza superficialmente las laderas.
- La falta de ésta facilita la saturación del terreno

**Gráfico 5** Factores de remoción de masa. Fuente (Roura Ortega, 2010)

Por los factores externos y acciones los deslizamientos son causado por:



### 2.2.1. CAUSAS QUE AFECTAN LA ESTABILIDAD DEL TERRENO

Las inestabilidades se dan por el desequilibrio de fuerzas, condicionadas a la acción simultánea de una serie de factores que influyen en la estabilidad de las laderas. Se los separa en dos grupos o causas fundamentales: los factores internos y externos.

**Los internos** reducen la resistencia de los materiales sin cambiar la tensión y se relacionan con la transformación de los materiales a través de los movimientos progresivos y procesos erosivos.

**Los externos** generan un incremento en la tensión o esfuerzos y cambios Geométricos en las laderas provocando erosión, socavación, excavaciones artificiales, cargas y descargas y las tensionales generadas por eventos naturales como sismos o vibraciones, además del régimen hidrológico como las lluvias

“La gravedad puede mover los materiales térreos (suelo, detritos y rocas) sólo cuando es capaz de vencer la resistencia del material, que le impide mover. Por lo tanto, cualquier factor que reduzca esta resistencia hasta el punto donde la gravedad pueda intervenir, contribuye al movimiento de masa. Dependiendo de la actuación de los factores, se clasifican en dos grupos” (Roura Ortega, 2010)

- a) Condicionantes (pasivos o internos);
- b) Desencadenantes (activos o externos).

### 2.2.2. DESLIZAMIENTOS

*Se denomina deslizamiento a la rotura y al desplazamiento del suelo situado debajo de un talud, estos eventos pueden ocasionarse de distintas maneras, es decir en forma rápida o lenta, generalmente se producen por excavaciones o socavones en el pie del talud, sin embargo, existen otros casos donde la falla se produce por la desintegración gradual de la estructura del suelo, aumento de las presiones intersticiales debido a **filtraciones de agua** (De Matteis, 2003)*

### 2.2.3. TIPOS DE DESLIZAMIENTO

Existen varios tipos de deslizamiento, según el movimiento entre ellos podemos encontrar:

**Tabla 3.** Tipos de deslizamientos.

<b>Tipo de desplazamiento</b>	<b>Concepto</b>	<b>Imagen</b>
<b>Caída de rocas</b>	<p>Bloques o masas desprendidas de los taludes verticales o con pendientes muy altas, que se mueven en caída libre, dando tumbos, o ruedan de ladera abajo.</p> <p>Generalmente sucede en muchas carreteras con problemas de diseño.</p>	
<b>Volcamiento de Rocas</b>	<p>Rotación de uno o más bloques de rocas muy fracturadas, generalmente suceden en zonas volcánicas</p>	
<b>Desplazamiento de Laterales</b>	<p>Movimiento de rotación lateral acompañado por fructuamiento. Se suelen dar en pendientes moderada y suelos de muy mala calidad.</p>	

<p><b>Deslizamiento Rotacional</b></p>	<p>Se da donde la superficie de ruptura del suelo de la ladera en curva y cóncava, la masa se inclina o se gira hacia atrás. En formato cuchara.</p>	
<p><b>Deslizamiento Translateral</b></p>	<p>Se da cuando la superficie de ruptura es más o menos plana o suavemente ondulada</p>	
<p><b>Flujos</b></p>	<p>Masa de lodo, rocas y troncos de árboles que se mueven como una corriente o fluido de ladera abajo a gran velocidad. Son muy peligrosos debido a que alcanzan una velocidad muy rápida.</p>	

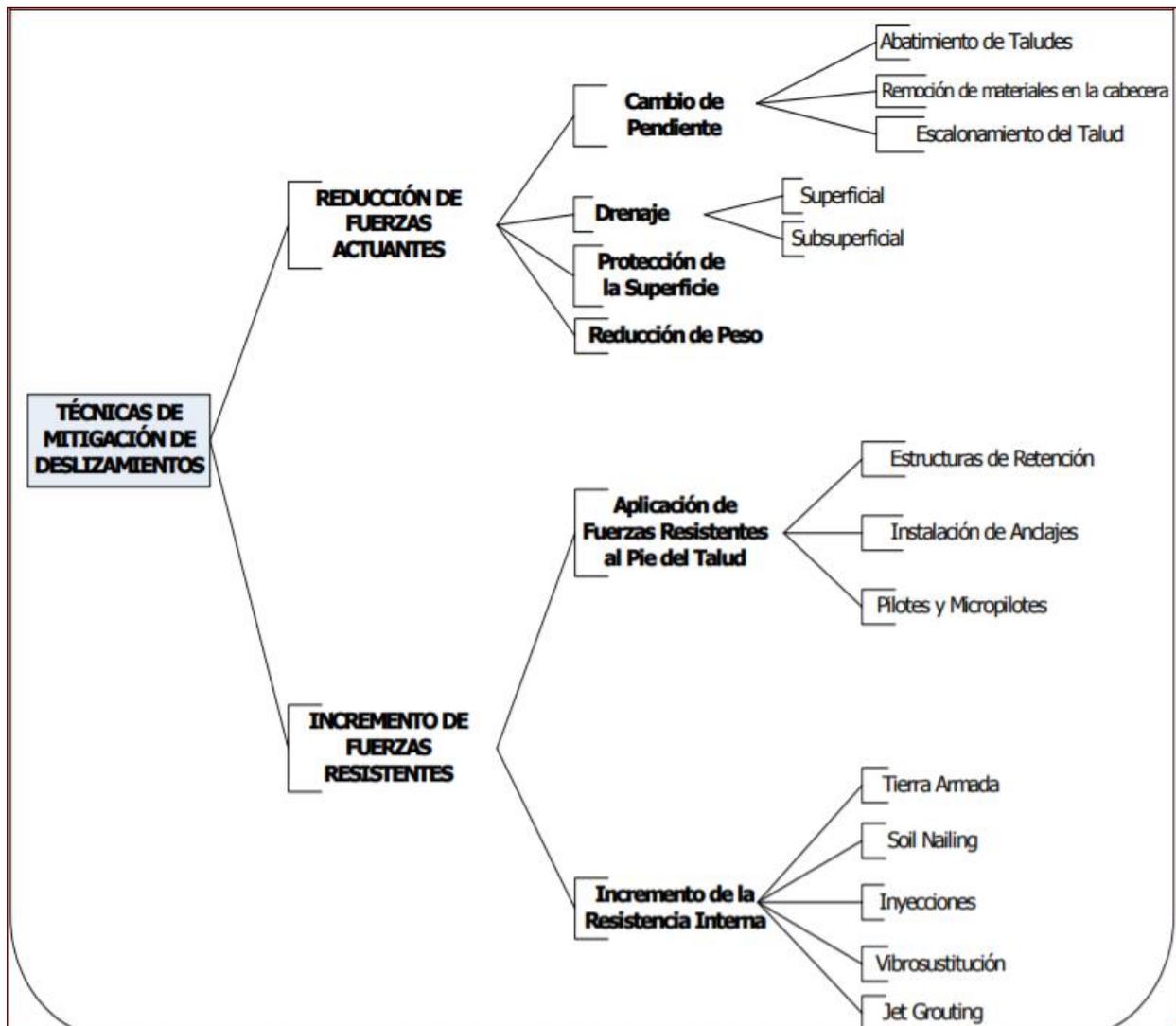
**Fuente:** (RECLAIMM) (Instituto Nacional de Defensa Civil INDECI, 2011)

En el área de intervención hemos presenciado el **deslizamiento tipo volcamiento** en la zona rocosa especialmente, en tanto que los Vestigios existentes se encuentran en una zona de revestimiento de talud lo que provoca ocasionalmente desplazamientos laterales.

### 2.3. TECNICAS DE MITIGACION ANTE LOS DESLIZAMIENTOS

Las técnicas de mitigación de deslizamientos en taludes se suelen agrupar de acuerdo a diferentes criterios, tales como: la función que

realizan y su método de ejecución, pero a la vez, una técnica podría desempeñar más de una sola función. Debido a esto se presenta a continuación una clasificación general de las **técnicas de acuerdo a la función que desempeñan sobre el material** a ser estabilizado, lo cual consideramos más apropiada. (Gráfico 6)



**Gráfico 6** Técnicas de Mitigación de Deslizamientos. Fuente: (Alberti Arroyo, Canales Bernal, & Sandoval).

Según las características de intervención en el Complejo turístico de Cojitambo y cumpliendo con los objetivos del estudio planteado se aplicaría al caso en estudio la técnica de **reducción de fuerzas actuantes** con un tipo de drenaje superficial y subterráneo y la protección de la superficie, a través de un mejoramiento de la capa de rodadura del camino y la conformación de cunetas laterales. Para ello se procede a la descripción de la técnica de drenajes y manejo natural de escorrentía.

### **2.3.1. DRENAJES**

Las principales estructuras que se proponen para el control del escurrimiento y la esorrentía en el área de estudio son las siguientes:

#### **a) Cunetas laterales de vía**

Al drenaje longitudinal de una vía, es necesario direccionarlo, para ello se propone la colocación de las cunetas naturales de camino de sección triangular que se acoplen a la estructura de la vía, y que sigan la pendiente de la rasante. En otros sitios y dependiendo de los requerimientos hidráulicos (bajas pendientes) se prevé colocar cunetas tipo trapecial (cunetones) para recolección de las aguas lluvias.

#### **b) Alcantarillas**

Para el cruce de las aguas recolectadas por las cunetas hacia otra margen de la vía o a sitios de descarga, de ser el caso, se colocarán alcantarillas con tubería PVC de diámetros entre 200 mm y 300 mm con obras de entrada y salida de enrocado de piedra.

#### **c) Obras de conexión**

Con el fin de dar continuidad al cauce de las aguas, se propone definir sistemas que permitan descargar las aguas recolectadas hacia lugares de drenaje naturales. Estas deberán ser consideradas de manera que no afecte mayormente el comportamiento hidráulico de la estructura a la cual se descargan las aguas.

#### **d) Cunetas de coronación**

En caso de que se definiera áreas con un mayor escurrimiento superficial en las laderas del área de estudio se podría plantear la colocación de cunetas de coronación, excavadas a mano. La pendiente longitudinal de estas cunetas debe estar entre 5 a 10% y se formara siguiendo las curvas de nivel hasta el sitio de descarga mas cercano.

- **LA PLANIFICACION DE CUNETAS**

## **CUNETAS**

Históricamente, muchos caminos se han construido “automáticamente” con peralte hacia adentro, con una cuneta interna. Durante décadas, ese fue el estándar de diseño por defecto, aunque las laderas fueran o no húmedas y se necesitara o no realmente una cuneta. Se debería evaluar la **humedad del suelo**, generalmente durante la temporada húmeda, para determinar qué porción del camino en realidad requiere una cuneta para el drenaje y para mantener una calzada firme y estable. Las secciones de camino secas se deben construir, o reconstruir, con peralte hacia afuera, sin cuneta.

Las cunetas bien construidas y mantenidas son importantes para la estabilidad de largo plazo de un camino con peralte hacia adentro o coronado. La sección transversal de la cuneta se debe diseñar para tolerar flujos pluviales esperados con la base de la cuneta al menos a 30 cm por debajo de la calzada a fin de evitar que el agua ingrese y sature el material de la superficie del camino y reduzca la fortaleza del mismo. Una cuneta relativamente profunda permite también un drenaje más rápido de la subrasante a la cuneta y ayuda a mantener una alta fuerza del suelo debajo de la calzada. Si el corte marginal y la cuneta están relativamente secas durante la mayor parte del año, la cuneta puede ser más superficial ya que la saturación de la calzada no debería ser un problema.

Hay dos **tipos de cunetas junto al camino**; aquellas **conectadas hidrológicamente** y que llevan escorrentía y sedimento a los arroyos, y las que no lo hacen. Las cunetas del camino que drenan directamente a entradas de alcantarillas de cruces de arroyos generalmente son la fuente más común e importante de conectividad hidrológica entre

caminos y arroyos. Durante eventos de escorrentía actúan bastante como un arroyo fugaz, y sirven como "cintas transportadoras", que transportan la escorrentía del camino y el sedimento fino a la red natural de canales de arroyos. Las cunetas conectadas se deben nivelar lo más infrecuentemente posible, y luego sembradas y revegetadas luego del alisamiento.

En contraste, las **cunetas que no están conectadas hidrológicamente** a arroyos, lagos o humedales se deben mantener para que sean lo más eficaces posible para drenar rápidamente la escorrentía lejos del camino y a áreas amortiguadoras cuesta abajo adyacentes. Los gradientes de las cunetas en caminos con peralte hacia adentro deben ser lo suficientemente empinadas como para prevenir la deposición excesiva de sedimento y permitir el drenaje rápido, pero no tan empinadas como para que den como resultado la erosión de la cuneta. El gradiente del camino generalmente dicta el gradiente de la cuneta. Los caminos con peralte hacia afuera no drenan hacia la cuneta, así que la acumulación de sedimento no es un problema.

En caminos empinados de más de 10% de pendiente, incluso pequeños volúmenes de flujo de cuneta pueden tener velocidades de flujo lo suficientemente elevadas como para provocar la erosión de la cuneta. En este caso, puede ser necesario **blindar la cuneta para evitar la erosión**, aunque blindar la cuneta la hará más difícil de mantener. Todo blindaje de canales o cunetas también debe respetar criterios de diseño específicos para ser eficaces. El blindaje de roca se debe formar en una forma de canal, con un fondo y paredes laterales para contener el volumen de flujo esperado.

Cuando se usan cunetas internas a lo largo de un camino, se deben instalar alcantarillas de alivio de cunetas para minimizar la concentración de escorrentía en la cuneta y dispersar la escorrentía a áreas cuesta abajo. Si la cuneta muestra signos de erosión, es probable que se

necesiten alcantarillas adicionales para interrumpir y dispersar el flujo de la cuneta. De igual manera, si las alcantarillas de alivio de la cuneta muestran abrasión extendida en o debajo de sus salidas, es una señal de que hay demasiado flujo que se descarga en el talud debajo del camino y que se necesitan una o más alcantarillas adicionales para drenar la cuneta y dispersar el flujo de la cuneta son provocar erosión cuesta abajo desde el camino.

### **ALCANTARILLAS DE ALIVIO DE CUNETAS**

Las cunetas conectadas hidrológicamente que drenan directamente en alcantarillas de cruces de cursos de agua deben tratarse y protegerse de perturbaciones y erosión, igual que un arroyo fugaz o un curso de agua. Las alcantarillas de alivio de cunetas se deben instalar suficientemente antes de cruces de cursos de agua para que el agua y el sedimento se puedan filtrar a través de un talud vegetado antes de llegar al arroyo. También se deben instalar a intervalos a lo largo del camino que estén lo suficientemente cerca para evitar la erosión importante de la cuneta y debajo de la desembocadura de la alcantarilla en la ladera nativa, y en lugares donde el agua y el sedimento recolectados no se descargan directamente sobre áreas inestables o en cursos de agua.

El rendimiento de la cuneta, la salida de drenaje de la cuneta, y el área receptora son los controladores más importantes para la colocación de las alcantarillas de alivio de cunetas y otras estructuras de drenaje del camino.

### **2.3.2. MANEJO NATURAL DE ESCORRENTIA**

La erosión del suelo es la mayor amenaza ambiental a la sostenibilidad y capacidad productiva agrícola y en este caso en particular a la conservación de los vestigios arqueológicos existentes en la zona.

La erosión del suelo se intensifica en terrenos con altas pendientes, pudiendo ser arrastrado hacia las partes más bajas. Material vegetal dejado sobre el terreno como cubierta reduce la erosión y la escorrentía al interceptar y disipar las gotas de la lluvia y la energía del viento.

- **EROSION Y PRODUCTIVIDAD DEL SUELO**

Tanto la erosión del suelo por agua o por el viento, afectan adversamente la calidad del suelo y la productividad al reducir la infiltración, la capacidad de retención de agua, los nutrientes, la materia orgánica, la fauna y flora del suelo y la profundidad del suelo

- **MANEJO DE ESCORRENTIA Y CONTROL DE EROSION**

La escorrentía ocurre cuando el suelo se satura después de un evento de lluvia. El exceso de agua que no se infiltra por el suelo corre libremente por la superficie de las estructuras, del terreno arrastrando todo tipo de contaminantes y ocasionando la erosión del terreno.

Un manejo adecuado de la escorrentía permite controlar el exceso del agua de lluvia que no se infiltra por el suelo, además de la erosión del suelo y la eventual sedimentación de los cuerpos de agua. Varias prácticas pueden ser establecidas para evitar que la escorrentía arrastre contaminantes, hacia los cuerpos de agua. Algunas de estas prácticas son:

- Zanjas de ladera o siembras al contorno (nivel)
- Barreras vegetativas
- Desagües protegidos con vegetación
- Franjas de amortiguamiento o fajas de vegetación

- Cultivos cobertores

### **Beneficios generales que se obtienen con el manejo de la escorrentía:**

- Reduce la erosión, el arrastre de contaminantes y sedimentos
- Evita la acumulación excesiva de agua en charcas o cualquier otra estructura
- La vegetación ayuda a infiltrar la escorrentía y provee alimento y albergue para la vida silvestre de la finca
- Mantiene las estructuras y los alrededores secos
- Permite desviar el exceso del agua de lluvia de los terrenos en cosechas, comederos, corrales y charcas de almacenamiento a un lugar protegido

### **A). Zanjas de ladera o siembras al contorno**

Las zanjas de ladera son canales pequeños que se construyen al contorno o nivel para acortar el largo de la pendiente y disponer de la escorrentía.

#### **Beneficios**

- Reducen la erosión y el transporte de sedimento a los cuerpos de agua
- Reducen la escorrentía y aumentan la infiltración de agua
- Facilitan la aplicación de fertilizantes y plaguicidas, el recogido de la cosecha y el establecimiento de otras prácticas agrícolas.



**Foto 2.** Zanjas de ladera

## B). Barreras vegetativas

Las barreras vegetativas son hileras de plantas al contorno, que interceptan y reducen la velocidad de la escorrentía, filtran los sedimentos y controlan la erosión en terrenos inclinados.

Las barreras vivas permiten disminuir la velocidad de escorrentía y retienen mayor humedad en los suelos, las barreras permiten la conservación y restauración de suelos y agua. Con un sistema de barreras vivas, se disminuyen los efectos nocivos causados por la escorrentía superficial y por tanto, se contribuye a conservar la productividad de los recursos naturales, una aplicación práctica de barreras vegetales podemos evidenciar en el proyecto de aguas termales de Guapan, que permiten controlar la escorrentía en el sector, por las condiciones físico-químicas particulares del sitio.



En los campos de aplicación, las barreras vivas son prácticas que se pueden establecer en todo el territorio racional, de acuerdo a la especie a utilizar. Generalmente se recomienda para pendientes hasta el 15%.

### Beneficios

- Conservan la capa fértil del predio cultivado
- Mejoran la fertilidad natural del suelo
- Reducen la cantidad de sedimento que llega a los cuerpos de agua
- Dispersan uniformemente la escorrentía y evitan la erosión



**Foto 3** Barreras vegetativas

### **C). Desagüe protegido**

El desagüe protegido es un canal natural o construido que tiene el tamaño adecuado para disponer de la escorrentía y la suficiente protección para resistir la fuerza erosiva de la escorrentía.

#### **Beneficios**

- Permiten disponer adecuadamente de la escorrentía
- Evitan la formación de ZANJAS
- Filtran parte de los contaminantes adheridos a los sedimentos



**Foto 4** Desagües protegidos naturales.

## D). Fajas de vegetación

Las fajas de vegetación son franjas y zonas de vegetación permanente establecidas para proteger de la contaminación los cuerpos de agua, las estructuras, los caminos y los predios.

### Beneficios:

- Reciclan los nutrientes y filtran los plaguicidas, patógenos y otros contaminantes
- Conservan el agua y controlan la erosión y la sedimentación
- Reducen la escorrentía y el problema de inundaciones
- Filtran los contaminantes del aire
- Sirven de barrera para reducir el ruido, el mal olor y el polvo
- Ayudan a evitar los derrumbes en los bancos de los cuerpos de agua
- Refrescan el ambiente al proveer sombra a las estructuras y los cuerpos de agua
- Proveen un hábitat para la vida silvestre



Foto 5. Fajas de vegetación

Donde el suelo queda expuesto a las inclemencias del tiempo (sin cubierta), las partículas pueden ser arrastradas por el agua o por el viento y llegar a los cuerpos de agua ocasionando la sedimentación. Su control es sencillo – el suelo puede ser protegido con una cubierta vegetal (yerba, árboles) o residuos vegetales (ramas, hojas).

## 2.4. ESCORRENTIA

### 2.4.1. TIPOS DE ESCORRENTIA

Tal y como se ha mencionado en el apartado anterior dentro del concepto Escorrentía se pueden distinguir la Escorrentía Superficial o Directa, la Escorrentía Hipodérmica o Subsuperficial y la Escorrentía Subterránea.

**Escorrentía Superficial o Directa** La Escorrentía Superficial o Directa es la precipitación que no se infiltra en ningún momento y llega a la red de drenaje moviéndose sobre la superficie del terreno por la acción de la gravedad. Corresponde a la precipitación que no queda tampoco detenida en las depresiones del suelo, y que escapa a los fenómenos de evapotranspiración.

El proceso que describe el agua cuando se inicia un aguacero depende de las características del terreno: la primera lluvia caída se invierte en llenar la capacidad de retención de la parte aérea de las plantas y en saturar el suelo. Cuando la capacidad de infiltración es inferior a la intensidad de la lluvia, el agua comenzará a moverse por la superficie del terreno. Se forma, entonces, una capa delgada de agua. Ésta se mueve por la acción de la gravedad según la pendiente del terreno y es frenada por las irregularidades del suelo y por la presencia de vegetación hasta incorporarse a la red de drenaje, donde se junta con los otros componentes que constituyen la escorrentía total.

**Escorrentía Hipodérmica o Subsuperficial.** Es el agua de precipitación que, habiéndose infiltrado en el suelo, se mueve sub-horizontalmente por los horizontes superiores para reaparecer súbitamente al aire libre como manantial e incorporarse a microsurcos superficiales que la conducirán a la red de drenaje.

**Escorrentía Subterránea** Es la precipitación que se infiltra hasta el nivel freático, desde donde circula hasta alcanzar la red de drenaje. La

Escorrentía Superficial es la más rápida de todas y la Escorrentía Subterránea la más lenta (del orden del m/h). A parte de las tres formas referidas, la Escorrentía de un curso de agua está además constituida por la precipitación que cae directamente sobre su superficie de nivel, fracción que en la mayor parte de los casos reviste importancia muy escasa en relación con las otras aportaciones.

#### 2.4.2. CICLO DE LA ESCORRENTIA

Los componentes de la Escorrentía evolucionan según un ciclo que distingue cuatro fases en relación con el ritmo de las precipitaciones.

- a) **Primera fase:** Período sin precipitaciones (Figura 1). Después de un período sin precipitaciones la Evapotranspiración tiende a agotar la humedad existente en las capas superficiales y a extraer agua de la franja capilar. Las aguas subterráneas alimentan a las corrientes superficiales descendiendo progresivamente su nivel piezométrico.
- b) **Segunda fase:** Iniciación de la Precipitación (Figura 2). La Evapotranspiración cesa. Las aguas meteóricas son interceptadas por la vegetación, las superficies de agua libre, los cursos de agua y el suelo. En éste se infiltra una cantidad importante de agua que abastece su capacidad de almacenamiento; el excedente se mueve superficialmente en forma de Escorrentía Directa que alimenta débilmente los cursos de agua. Continúan las aportaciones de las corrientes subterráneas a los cursos superficiales, no interrumpiéndose el descenso de los niveles piezométricos de la capa freática.
- c) **Tercera fase:** Precipitación máxima (Figura 3). Después de una cierta duración de la Precipitación, la cubierta vegetal apenas intercepta agua y prácticamente la totalidad de la Precipitación

alcanza el suelo. Las capas superficiales del suelo están saturadas. Parte de las precipitaciones se infiltran, alimentando a la Escorrentía Hipodérmica, y a los acuíferos, originándose en éstos una elevación del nivel piezométrico. La Precipitación que no se infiltra origina Escorrentía Superficial que en esta fase alcanza su valor máximo. La Escorrentía Subterránea aumenta ligeramente. La escorrentía total alcanza igualmente su máximo valor, apareciendo las crecidas.

d) **Cuarta fase:** Posterior a la Precipitación (Figura 4). La lluvia cesa. La Escorrentía Superficial desaparece rápidamente. El suelo y subsuelo están saturados. Continúa la Infiltración de agua que está estancada en depresiones superficiales alimentando a la humedad del suelo, a la Escorrentía Hipodérmica y a las aguas subterráneas. Aparecen de nuevo los procesos de evapotranspiración. Los cursos de agua, alimentados únicamente por las Escorrentías Hipodérmica y Subterránea entran en régimen de decrecida.

El ciclo se cierra con la aparición de nuevo de la primera fase.

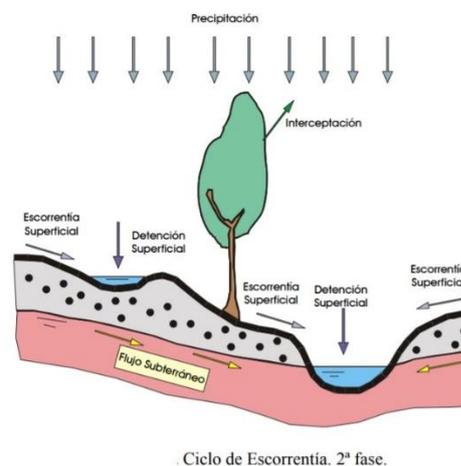
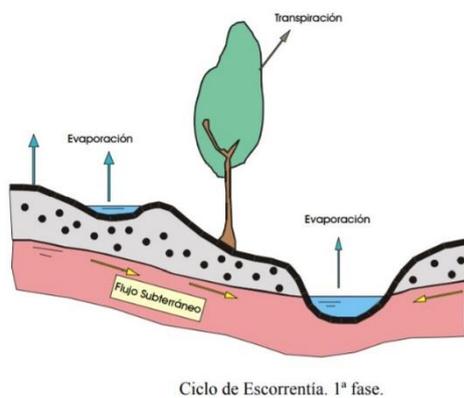


Figura 1. Fase 1. Escorrentía.

Figura 2. Fase 2. Escorrentía

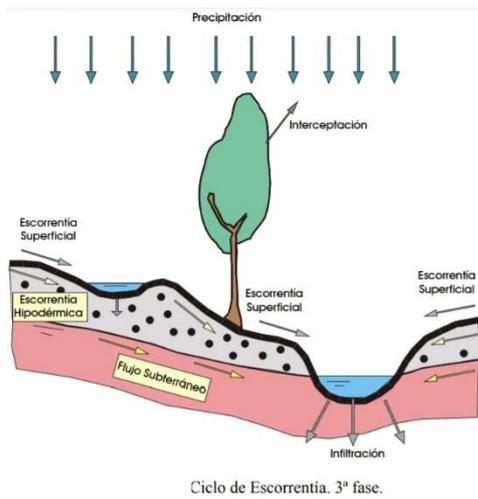


Figura 3. Fase 3. Escorrentía.

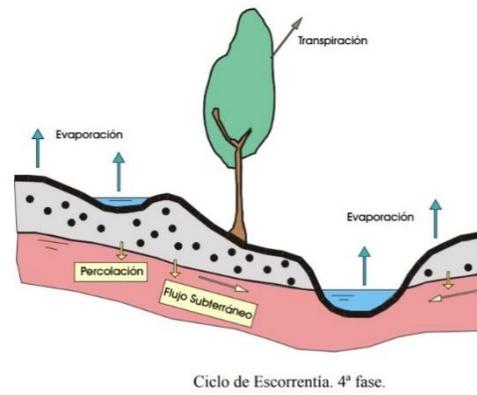


Figura 4. Fase 4. Escorrentía

Una síntesis de la repartición de las precipitaciones y de la evolución de los componentes de la Escorrentía se representa en la Figura 5

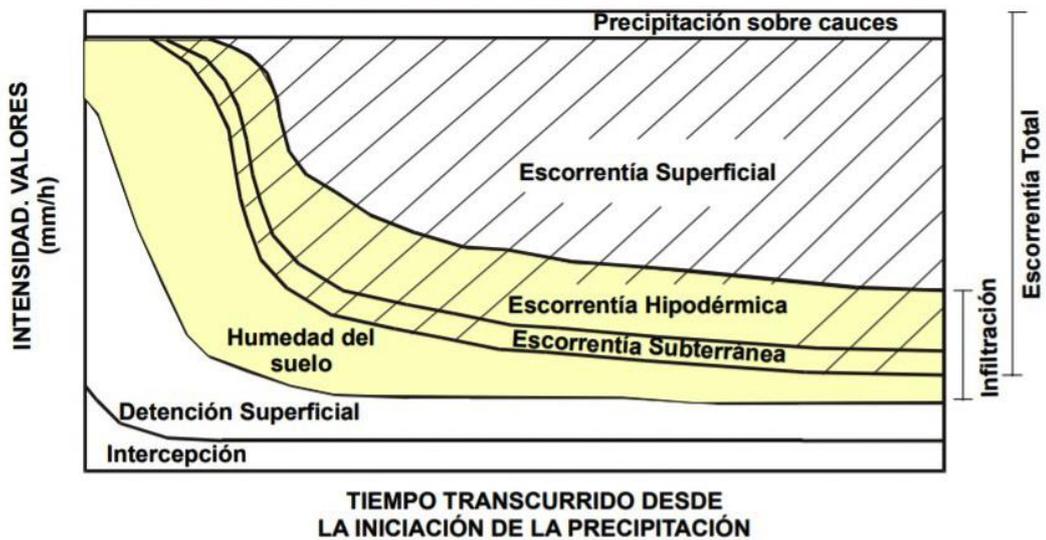


Figura 5. Evolución temporal de algunos componentes del Ciclo Hidrológico en un aguacero

### 2.4.3. FACTORES QUE CONDICIONAN LA ESCORRENTÍA

La Escorrentía está influida por cuatro grupos de factores: meteorológicos, geográficos, hidrogeológicos y biológicos.

Los **factores meteorológicos** fundamentales son las precipitaciones y la temperatura. La duración, intensidad, frecuencia, tipo y extensión de las precipitaciones tienen un papel muy importante. La temperatura es representativa de las pérdidas de evaporación.

Los **factores geográficos** son la localización geográfica de la cuenca y su morfología. La localización geográfica comprende la latitud, longitud y altitud. La morfología, las pendientes de la cuenca, la importancia de las superficies de agua libre, el perfil de los cursos de agua.

Los **factores hidrogeológicos** comprenden fundamentalmente la permeabilidad de los terrenos y la profundidad de las capas freáticas. Los factores biológicos comprenden fundamentalmente la cubierta vegetal y la acción humana.

### 2.4.4. CAUDAL DE ESCORRENTIA

Para el cálculo del caudal de escorrentía nos basamos en la aplicación del método racional según la norma 5.2-IC, esta normativa es específica para la construcción de carreteras y cunetas.

El objetivo es calcular el caudal de escorrentía del proyecto turístico. El caudal a tener en cuenta para el diseño de una obra. Por lo tanto, el dato de partida es el *periodo de retorno* a considerar. Para la construcción de obras como carreteras, la norma 5.2 IC establece periodos de retorno de 25, 50 o 100 años.

Un cálculo del caudal máximo probable de escorrentía es necesario para diseñar canales, drenajes o alcantarillas, o para calcular los niveles

máximos de inundación. En este estudio nos basamos en el **método racional solo** es aplicable para obtener una estimación del caudal de cuencas pequeñas y con precipitaciones cortas y homogéneas.

### **Limitaciones del método Racional**

- Proporciona solamente un **caudal pico**.
- **Supone que la lluvia es uniforme en el tiempo** (intensidad constante) lo cual es solo cierto cuando la duración de la lluvia es muy corta.
- El método racional también supone que la **lluvia es uniforme en toda el área de la cuenca** en estudio, lo cual justifica que es válido si la extensión de esta es muy pequeña.

Pese a estas limitaciones, el método Racional se usa prácticamente en todos los proyectos de drenaje vial, urbano y rural, considerando que los resultados son aceptables en áreas pequeñas y con alto porcentaje de impermeabilidad, por lo que la bibliografía establece su uso se limite a cuencas con extensiones inferiores a las 200 ha.

### **Ecuación del Método Racional**

$$Q = C * I * A$$

Donde

Q = Caudal en metros cúbicos por segundo

I = Intensidad en milímetros por hora

C = Coeficiente de escorrentía sin dimensiones.

A = Superficie de la cuenca en hectáreas

## **Cálculo Intensidad**

La intensidad de la lluvia del diseño, con duración igual al tiempo de concentración de la cuenca y con frecuencia igual al periodo de retorno seleccionado para el diseño **Curvas IDF**.

Para la obtención de la Intensidad de Diseño es necesario conocer la duración de la lluvia asociada. Para ello, el método Racional supone que *la duración de la lluvia será igual al Tiempo de Concentración de la Cuenca en estudio*, el cual es el tiempo que se tarda una gota de agua en recorrer el trayecto desde el punto más alejado de ella hasta el punto de consideración o punto de definición de la cuenca. La determinación del **Tiempo de Concentración (Tc)** existen diferentes expresiones entre las que destacamos la *Ecuación de Kirpich* y la *ecuación del método de california Culverts*.

Luego de obtener los valores de tiempo de concentración y el periodo de retorno por lo cual podremos establecer el valor de la intensidad de diseño con la ecuación suministrada:

$$I = \frac{615 * Tr^{0.18}}{(D + 5)^{0.685}}$$

Donde:

**Tr** = *Tiempo de retorno*

**D** = *Duración*

En este caso también nos basamos en las curvas de IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia), estudio a través de un ajuste matemático de las curvas disponibles.

## Determinación del Coeficiente de Escorrentía Ponderado

El **coeficiente de escorrentía** es uno de los parámetros fundamentales en la hidrología superficial, pues representa la porción de precipitación que se convierte en caudal, es decir, la relación entre el volumen de escorrentía superficial y el de precipitación total sobre un área determinada

$$C = \frac{\text{Vol. Esc. Superficial}}{\text{Vol. Precip. Total}}$$

En general las cuencas receptoras presentaran variedad y usos de suelos, con coberturas, pendientes y permeabilidades variables. Por lo tanto, es necesario establecer el **Coeficiente de Escorrentía Ponderado en función de las áreas**.

Para la determinación del coeficiente de escorrentía, se realiza mediante un promedio ponderado de los coeficientes parciales de cada zona. Para ello, se dividirá la cuenca en zonas con características homogéneas de tipo de suelo, cobertura vegetal y pendiente, las cuales se asignará el respectivo coeficiente parcial de acuerdo a la siguiente tabla según (Lemus & Navarro, 2003),

Tabla II. Coeficientes de escorrentía, según Benítez *et al.* (1980), citado por Lemus & Navarro (2003)

COBERTURA DEL SUELO	TIPO DE SUELO	PENDIENTE (%)				
		> 50	20-50	5-20	1-5	0-1
Sin vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosque, vegetación densa	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

Tabla para determinar 'indistintamente' caudales punta por el método racional y para dimensionar zanjas de infiltración

**Tabla 4.** Coeficiente de escorrentía según Benítez

En base a esta tabla se estima un coeficiente de escorrentía, partiendo de la realidad del área de estudio utilizamos el Software ArcGIS y con la información del Instituto Geográfico Militar con el PDOT de la Provincia del Cañar, en formato shapefile el uso de suelo, pendientes y cobertura vegetal de tal manera que se realiza una reclasificación de los parámetros y finalmente obtenemos el coeficiente ponderado con la siguiente fórmula.

$$Cp = \frac{\sum(Ci) (Ai)}{\sum Ai}$$

***Cp*** = Coeficiente ponderado

***Ci*** = Coeficiente parcial

***Ai*** = Area total de la cuenca

## **2.5. DELIMITACION DE LA CUENCA**

La delimitación del área de estudio en función de la microcuenca Cojitambo fue delimitada mediante el uso del Sistema de Información Geográfica ArcGIS y la cartografía disponible del Sistema Nacional de Información a escala 1:50 000 con el Datum WGS 1984 UTM Zona 17S (IGM) (SNI, 2014), con el fin de identificar la ubicación geográfica, hidrográfica, accesibilidad y la población beneficiaria del área de estudio.

## 2.5.1. CARACTERIZACION MORFOMETRICA DE LA CUENCA PARAMETROS DE FORMA

Mediante el uso del software ArcGIS se ingresan los archivos en formato shapefile obtenidos del proceso anterior, se procede a adicionar una nueva columna en la tabla de atributos para el cálculo del área, perímetro y longitud a través de la herramienta "Calculate Geometry". Mientras que para el cálculo del Coeficiente de Gravelius, y el índice de Horton se utiliza la opción de "Field Calculate" ingresando las fórmulas respectivas.

### **Coeficiente de Gravelius:**

Este parámetro adimensional permite establecer la relación entre el perímetro de la cuenca real y el perímetro de una circunferencia con el fin de que este parámetro representa la forma de la superficie de la cuenca según su delimitación y su influencia sobre los escurrimientos (Gaspari , et al., 2012) por medio de la fórmula

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

Kc = Coeficiente de compacidad

P= perímetro de la microcuenca

A = Área de la microcuenca

Finalmente, para interpretar el valor del coeficiente de compacidad se basa en la siguiente tabla de valores con el tipo de forma (Gaspari , y otros, 2012)(Ver tabla 2 ).

**Tabla 5.** Rangos de los valores de compacidad de acuerdo al índice de Gravelius.

Clases de valores de compacidad	
Rangos de Kc	Clases de compacidad
1	Redonda
1.25	Oval Redonda
1.25 – 1.50	De oval redonda a oval alargada
1.50 – 1.75 >	De oval oblonga a alargada a alargada

*Fuente:* (Gaspari , et al., 2012).

*Elaborado por:* Equipo Consultor

Cuando el índice de compacidad ( $k_c$ ) se aproxima a 1 su forma es redonda por lo tanto su dinámica fluvial corresponde fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento en menor tiempo y a su vez aumenta el peligro a posibles inundaciones debido a la distancia de los puntos de la divisoria con respecto a uno central (Ibáñez Asensio, Moreno Ramón, & Gisbert Blanquer,).

### Índice de Horton

Permite estimar a partir de la relación entre el ancho promedio del área y la longitud de la cuenca este coeficiente  $K_f$  es adimensional (Esquivel-Arriaga, Bueno-Hurtado, Sánchez-Cohen, Velásquez-Valle, & Arcadio Muñoz-Villalobos, n.d.) aplicando la siguiente fórmula:

$$K_f = \frac{A}{L^2}$$

Donde:

$K_f$  es el factor de forma,

A = área de la cuenca

L= la longitud de la cuenca.

Principalmente, los factores geológicos son los encargados de moldear la fisiografía de una región y la forma que tienen las cuencas hidrográficas.(Cardona, n.d.) para la interpretación del valor calculado se observa en la tabla 3.

**Tabla 6.** Valores para identificar la forma de la cuenca según el índice de Horton.

<b>Clases de valores de forma</b>	
<b>Rangos de <math>K_f</math></b>	<b>Clases de forma</b>
<b>1-18</b>	Muy poco achatada
<b>18-36</b>	Ligeramente achatada
<b>36-54</b>	Moderadamente achatada

*Fuente: (Ibáñez Asensio, Moreno Ramón, & Gisbert Blanquer)*

*Elaborado por: Equipo Consultor*

### **PARAMETROS DE RED HIDRICA**

Para el cálculo de los parámetros de la red hídrica se utiliza el software ArcGis con la herramienta "hidrology" que permite generar modelos de dirección de flujo, acumulación y orden de la red hídrica del área de estudio con el fin de conocer el comportamiento de la escorrentía superficial en relación con la forma de la cuenca.

#### **Jerarquización de la red fluvial**

Para conocer el comportamiento y desarrollo del sistema de drenaje de la cuenca, se identifica mediante una caracterización de los ríos con valores relativos de primer orden, segundo orden y consecutivamente. Los sistemas más utilizados en la jerarquización, es Horton (1945) y Strahler (1952), empleando el software ArcGis.

## **Tiempo de concentración $T_c$**

El tiempo de concentración es una de las variables más importantes a determinar en la planificación, uso y conservación de suelos en una cuenca hidrográfica, debido que permite conocer el tiempo en que se lleva a cabo la dinámica fluvial desde el punto más alto hasta el punto final o desagüe, el mismo que depende de la forma de la cuenca, el área, la pendiente y las características del suelo (Ibáñez Asensio, et., al.).

Cabe indicar que para una cuenca hidrográfica de forma alargada y con mayor pendiente el flujo de escorrentía es más rápido por lo tanto el tiempo de concentración es menor, para el cálculo respectivo utilizamos 2 ecuaciones que son:

### **Ecuación de California Culverts**

$$T_c = 0.0195 L^{0.77} S^{-0.385}$$

Donde:

S = Pendiente del Cauce

L = Longitud horizontal del Cauce

### **Ecuación de Kirpich**

$$T_c = 0.000323 \left( \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \right)$$

Donde:

L = Longitud del cauce principal

S = Pendiente del cauce

Lo cual S la pendiente del cauce:

$$S = \frac{Cota\ max - Cota\ min}{Longitud\ del\ cauce\ principal}$$

Con la aplicación de todas las fórmulas y tablas se determinará la morfología del área de estudio para el Complejo Arqueológico Cojitambo.

## **2.6. CONECTIVIDAD HIDROLOGICA DE CAMINOS**

Para identificar las necesidades de crear un camino se debe realizar un análisis bastante detallado con todos los factores posibles a integrarse.

La buena planificación puede minimizar el impacto de un camino sobre el medioambiente y brindar un acceso de bajo mantenimiento y bajo costo a los propietarios de tierras. La mala planificación y ubicación del camino a menudo se relacionan con las causas más comunes de falla del camino y altos costos de mantenimiento.

La “planificación” del camino no debe ser el ámbito de operadores de equipos pesados que hacen un sendero de un punto al otro. En cambio, es un proceso sistemático que requiere la consideración de una cantidad de variables y es parte de una estrategia de gestión mayor que incluye transporte y planificación del uso de la tierra, logística, economía y protección ambiental

Se deben seguir dos preceptos básicos de la planificación de caminos. Primero, **minimizar la cantidad de caminos construidos en una cuenca** a través de la planificación de transporte en la extensión de la cuenca. Desarrollar un plan de camino coordinado y reducir la construcción de caminos en una cuenca conlleva un gran beneficio económico y ambiental. Los caminos se deben minimizar porque quitan tierra de la producción y a menudo causan erosión y degradación de la calidad del agua.

En segundo lugar, siempre que sea posible **se deben usar los caminos existentes**, a menos que usar dichos caminos provoque problemas más

graves de erosión y calidad del agua o ambientales que construir un trazado nuevo en otro lugar. Las alternativas a caminos en áreas ambientales delicadas, como zonas junto a los arroyos y ribereñas, se deben identificar siempre que sea posible si su reapertura o uso provocaría impactos inevitables, adversos.

**Los caminos existentes requieren cierta reconstrucción o mejora, pero usarlos es generalmente mucho menos costosos que una construcción nueva.** A veces, debido a los límites que dividen propiedades, los caminos se han construido juntos en propiedades adyacentes.

### **NECESIDAD DE CONTAR CON UN CAMINO**

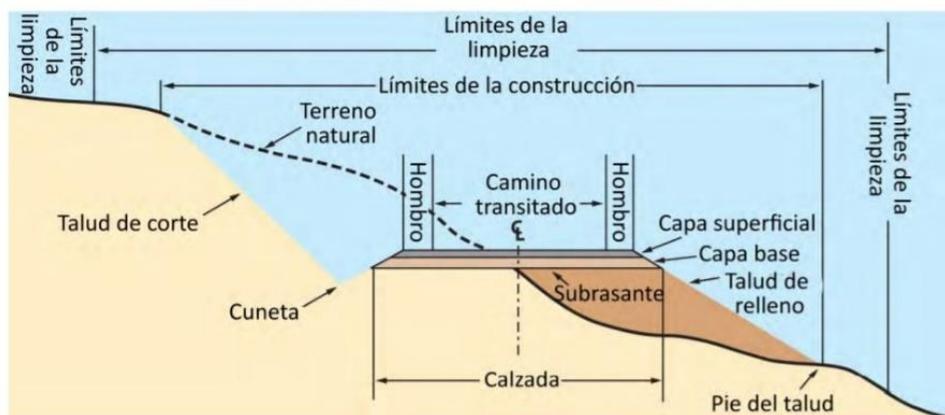
Dos de los pasos más importantes en la planificación de un camino son 1) determinar si en realidad se necesita o no el camino y 2) decidir qué norma de camino se necesita. Hágase estas preguntas:

- ¿Para qué se usará el camino? ¿Se usará para acceso residencial, acceso para pastura o agricultura, transporte de madera, control de incendios y/o para recreación? ¿Qué clase y tamaño de vehículos, equipos de aserradero o vehículos comerciales se usarán?
- ¿Cuán a menudo y cuándo se usará el camino? ¿Es para un uso único (por ejemplo, remoción de madera o minería) o uso diario (por ejemplo, acceso residencial)? ¿Cuán rápido espera que anden los vehículos? ¿Se usará únicamente durante los meses estivales secos o deberá usarlo durante condiciones de clima húmedo (por ejemplo, debe ser un camino para todos los climas)?
- ¿Hay un camino existente, ya sea en su propiedad o en una propiedad adyacente que se podría usar o reconstruir? Si el camino se está construyendo para remoción de madera o extracción de otros recursos, ¿Se puede seleccionar un método alternativo de tala, depósito o extracción que acortaría el largo del camino nuevo o eliminaría la necesidad de un nuevo camino totalmente?

Una revisión sólida y detenida de las necesidades actuales y futuras de este camino asegurará que sea necesario y que sea adecuado para el tipo y nivel de tránsito esperados

## TAMAÑO Y NORMAS DEL CAMINO

Luego de decidir por qué se necesita un camino, puede determinar el tamaño o la norma mínima que es adecuada para cumplir sus requisitos en la **tabla 7** brinda normas mínimas sugeridas para caminos de un solo carril, superficie de grava compactada y superficie nativa con tránsito de menos de 100 vehículos por día. Las curvas horizontales ocurren cuando el camino da la vuelta a una loma, un curso de agua u otro obstáculo, y las curvas verticales son aquellas en las que el camino pasa sobre la cresta de una colina.



**Gráfico 7.** Diseño y Componentes de un camino.

También es importante brindar **carriles de sobrepaso** y apartaderos de paso en caminos angostos de un solo carril, y se necesitan **rotondas** al final de todos los caminos sin salida. Generalmente los **apartaderos de paso** se deben ubicar para poder ver de uno al siguiente, y para que el tránsito de frente pueda pasar con seguridad sin que los vehículos tengan que retroceder jamás.

En algunas situaciones, los caminos largos y rectos pueden alentar velocidades excesivas. Para desalentar velocidades de marcha inseguras, las secciones rectas de camino se deben limitar a 120m o menos. **El camino se debe contornear al paisaje** para minimizar cortes y rellenos. Las hondonadas rodantes o badenes, utilizados para el drenaje de la superficie del camino, también ayudan a mantener las velocidades de marcha a un nivel seguro.

Otras condiciones también pueden dictar el tamaño del camino, Por ejemplo, en terreno erosionable, inestable o empinado, a menudo se prefieren pequeños caminos angostos debido a su huella más pequeña, sus requisitos de excavación reducidos, y a su menor impacto ambiental. **Los caminos secundarios** y otros caminos de poco tránsito a menudo son más angostos y de normas menores que los caminos troncales que atienden grandes áreas o sirven como enlaces de conexión importantes en la red de caminos.

Norma de diseño	Colectora o camino principal	Camino de acceso rural o secundario
Velocidad de diseño (mph)	40–55	20–30
Subrasante del camino (pies)	16–20 pies de ancho (opcional cuneta de 2-3 pies)	12–16 pies de ancho (opcional cuneta de 2 pies)
Ancho de la superficie de tránsito (pies)	12–16 pies	12 pies
Pendiente del camino (%)	12% máx.	15% máx.
Radio de la curva (pies)	80 pies min.	50 pies min.
Forma del camino	Peralte hacia afuera, entre laderas, corona (5%)	Peralte hacia afuera, entre laderas, corona (5%)
Tipos de drenaje del camino	Cuneta, alcantarillas de alivio de cunetas, hondonada rodante	Cuneta, alcantarillas de alivio de cunetas, hondonadas rodantes, barreras de agua
Material de la superficie del camino	Grava, plástico sellado, pavimento	De materiales del lugar o de grava

<sup>1</sup>basado en Keller y Sherar (2003) y Departamento Forestal de Oregon (2000)

**Tabla 7.** Normas para caminos rurales, según Keller y Sherrar

## DISEÑO DEL SISTEMA DE CAMINOS

En la planificación de caminos forestales y rurales, los conceptos de “menos es mejor” y “evitar lo peor” generalmente describen el enfoque más económico y ambientalmente sólido a la planificación de la

construcción del camino y el diseño del sistema de caminos. Algunos de estos conceptos importantes se mencionan a continuación:

1. Minimice los kilómetros de camino totales en su cuenca;
2. Minimice la construcción de caminos nuevos **utilizando caminos existentes** que sean estables y estén en buenas condiciones;
3. Minimice la construcción de caminos permanentes y estacionales utilizando estas normas solo cuando sea absolutamente necesario; utilice caminos temporales para minimizar el mantenimiento de largo plazo y los costos de reconstrucción y reducir el daño ambiental;
4. Minimice estrictamente la cantidad de cruces de cursos de agua construyendo caminos cerca de lomas;
5. Minimice los cortes, rellenos y despejes de vegetación contorneando caminos con el paisaje; especialmente evitando terreno empinado;
6. Minimice las obras de construcción del camino cerca de arroyos y zonas ribereñas, y sobre áreas inestables, cañadas internas y taludes empinados;
7. **Minimice el ancho del camino;**
8. Minimice el gradiente del camino;
9. Minimice la concentración de escorrentía sobre y desde el nuevo camino; y
10. Evite áreas problemáticas y obstáculos serios cuando sea posible

### **TRAZADO DEL CAMINO A TRAVÉS DE TERRENO DIFÍCIL**

Evitar los obstáculos es casi siempre la mejor solución de la construcción de caminos en terreno difícil.

De hecho, reconocer y evitar las pendientes inestables es sin duda el método más efectivo y rentable de administrar terreno propenso aludes. Se deben tomar medidas similares de evasión para suelos altamente erosionables, pendientes empinadas, cursos de agua, humedales y otros obstáculos que es probable que amenacen la integridad del camino o degraden las condiciones ambientales. De ser posible, se deben evitar todos los obstáculos serios a la construcción de caminos a través del retrazo completo o cambiando localmente la pendiente y eludiendo puntos problemáticos a medida que se encuentran. Es mucho mejor **planificar una ruta que contenga pendientes fluctuantes** que construir un camino recto que ignore el paisaje que atraviesa. Los costos de construcción y mantenimiento se minimizarán al apegarse al terreno más favorable.

En orden de prioridad, el planificador y diseñador del camino debe considerar:

1. Evitar pendientes o suelos inestables.
2. Prevenir la desestabilización utilizando técnicas de construcción de caminos especiales, cuando no se pueden evitar pendientes potencialmente inestables.
3. Estabilizar pendientes que muestran signos de inestabilidad utilizando técnicas especiales desarrollados por un ingeniero certificado o un geólogo ingeniero.
4. Proteger recursos cuesta abajo cuando un área inestable no se puede evitar, prevenir o estabilizar física o económicamente. Los requisitos para la planificación, la ubicación, la construcción y el mantenimiento de los caminos a menudo incluyen la protección de recursos a través de la aplicación de las mejores prácticas de gestión (MPG). Los requisitos más comunes incluyen los siguientes:

- Evitar rellenar humedales y bajíos si existen alternativas practicables—especialmente en áreas de reproducción y nidificación de aves migratorias y áreas de desove de peces.
- Colocar puentes o alcantarillas en el relleno del camino para evitar la constricción de los flujos de crecida esperados - otros métodos de diseño también pueden ser adecuados.
- Estabilizar el relleno para prevenir erosión y sedimentación - antes, durante y luego de la construcción del camino.
- Minimizar el uso de equipos en humedales fuera de áreas de relleno.
- Minimizar la perturbación de vegetación de humedales y acuática durante el diseño, la construcción y el mantenimiento de caminos.
- Diseñar, construir, y mantener cruces de humedales para evitar perturbar el movimiento de peces y otras especies acuáticas.
- Usar relleno de buena calidad de fuentes de tierras altas cuando sea posible.
- Colocar el relleno para no afectar ninguna especie amenazada o en peligro de extinción y para prevenir toda modificación adversa o destrucción de hábitats críticos para estas especies.
- No colocar relleno cerca de tomas de agua públicas o privadas o donde se pueda erosionar y transportar a un arroyo.
- No colocar relleno en Sistemas nacionales de ríos naturales y panorámicos, zonas ribereñas o canales de arroyos.
- Utilizar relleno limpio, estable y que no sea altamente erosionable.
- Quitar todo el relleno temporal y restaurar las áreas perturbadas a su elevación y pendiente originales.

## **CONSIDERACIONES PARA DISEÑO DE CAMINOS Y CRUCES DE ARROYOS**

### **1. CONSIDERACIONES BÁSICAS DE DISEÑO**

A menudo el diseño del camino es un resultado combinado de factores económicos y ambientales que influyen los costos de construcción, operación y mantenimiento. Lamentablemente, debido a que los costos de construcción se sienten de inmediato, la economía era la consideración más importante utilizada al escoger el diseño final del camino. Sin embargo, los costos excesivos del transporte y la dificultad de recorrido de un camino, los elevados costos de mantenimiento del camino, así como también los altos costos ambientales pueden tener un efecto mucho mayor sobre la economía de largo plazo de las operaciones forestales o rurales, o el desarrollo rural, que el ahorro en la construcción inicial de un camino de bajo estándar, mal ubicado o diseñado inadecuadamente.

El diseño del camino comienza con la planificación de la ubicación del camino. La selección de la ruta final limita muchas decisiones de diseño futuras. Dos preguntas importantes que se deben responder al principio del proceso de planificación son 1) diseño del prisma del camino 2) diseño del diseño de la superficie. Dirigir el trazado cruzando o alrededor de diversos obstáculos y peligros puede dictar el uso de ciertos diseños de prisma del camino. Además de éstas, hay situaciones especiales que surgen a menudo y requieren consideraciones especiales de diseño del camino.

Al considerar el diseño del prisma del camino, es imposible enfatizar excesivamente la importancia del drenaje al mantener caminos estables y proteger la calidad del agua. Los caminos se deben construir y diseñar para que provoquen la perturbación mínima de los patrones de drenaje naturales.

Finalmente, debido a que la morfología y la hidrología de las laderas varía enormemente en el paisaje, rara vez se puede aplicar uniformemente un

único tipo de diseño de prisma del camino y drenaje de la superficie a un camino nuevo o reconstruido. Un tamaño no se adapta a todas las circunstancias, y es mejor variar tanto el diseño del prisma del camino como el diseño de la superficie para adaptarse a las condiciones locales.

## **2. CÓMO DISEÑAR CAMINOS PARA MINIMIZAR LA CONECTIVIDAD HIDROLÓGICA Y PROTEGER LA CALIDAD DEL AGUA**

Los caminos pueden afectar negativamente los arroyos, la calidad del agua y el hábitat acuático de varias maneras, inclusive la erosión y la entrega de sedimento, alterando la hidrología de las laderas y los arroyos, y liberando fugas químicas en arroyos y cursos de agua. El sedimento se entrega a los arroyos como resultado de procesos de erosión tanto episódicos (generalmente relacionados con tormentas) y crónico (todo evento de escorrentía). La erosión desatada por tormentas más común incluye los lavados de cruces de arroyos (formación de barrancos), desvíos de arroyos (y la creación de barrancos en laderas y fallas de taludes resultantes), erosión en la salida de alcantarillas, formación de barrancos en laderas, erosión de bancos, y fallas en terraplenes de caminos y plataformas (apartaderos de paso).

En la erosión crónica, el sedimento se entrega en arroyos cada vez que hay un evento de precipitación y escorrentía suficiente como para causar erosión de las áreas de suelo descubierto, escorrentía concentrada sobre superficies de camino compactadas y cunetas, y transporte de sedimento a arroyos cercanos. Las áreas más comunes de suelo descubierto relacionadas con los caminos incluyen superficies de camino no pavimentadas, como por ejemplo terraplenes sin vegetación, cortes marginales, cunetas y superficies de deslizamiento de tierra. Si el sendero de escorrentía de una de estas áreas de tierra descubierta entrega escorrentía de superficie y sedimento erosionado (inclusive agua turbia) a un arroyo se llama “conectado hidrológicamente” al sistema del arroyo. La conectividad hidrológica se refiere al largo o a la proporción

del camino o red de caminos que drena escorrentía directamente a arroyos u otros cursos de agua.

Durante los eventos de escorrentía, un camino conectado hidrológicamente se convierte en parte extendida de la red de arroyos naturales. Las cunetas internas que drenan en cruces de arroyos y las cunetas junto al camino que drenan a barrancas más abajo debajo de alcantarillas de alivio de cunetas son los segmentos de camino más comunes que están conectados hidrológicamente con los arroyos. Otras estructuras de drenaje de caminos (por ejemplo, vados ondulantes y camellones) también pueden descargar escorrentía y sedimento a cursos de agua cercanos. Donde exista una conexión hidrológica, la escorrentía concentrada, los sedimentos erosionados y los químicos asociados al camino tienen una ruta directa a la red de canales naturales y aguas superficiales.

En comparación con las laderas sin caminos, los caminos siempre aumentan la conectividad hidrológica. La conectividad hidrológica se ve afectada por procesos naturales e intervención humana. Aumentará con la mayor intensidad y duración de las precipitaciones. En contraste, la conectividad se reducirá donde haya obstrucciones de sedimento y reas de depósito natural, donde los suelos son profundos y permeables, las laderas suaves y sin barrancos, los arroyos están alejados, y los drenajes transversales tiene poco espacio entre ellos en el camino.

Se pueden emplear medidas simples de ubicación, diseño, construcción y mantenimiento del camino para reducir la conectividad hidrológica. La conectividad se puede reducir mediante la buena ubicación del camino,

### 3.DISEÑO DE LA SUPERFICIE (FORMA) DEL CAMINO

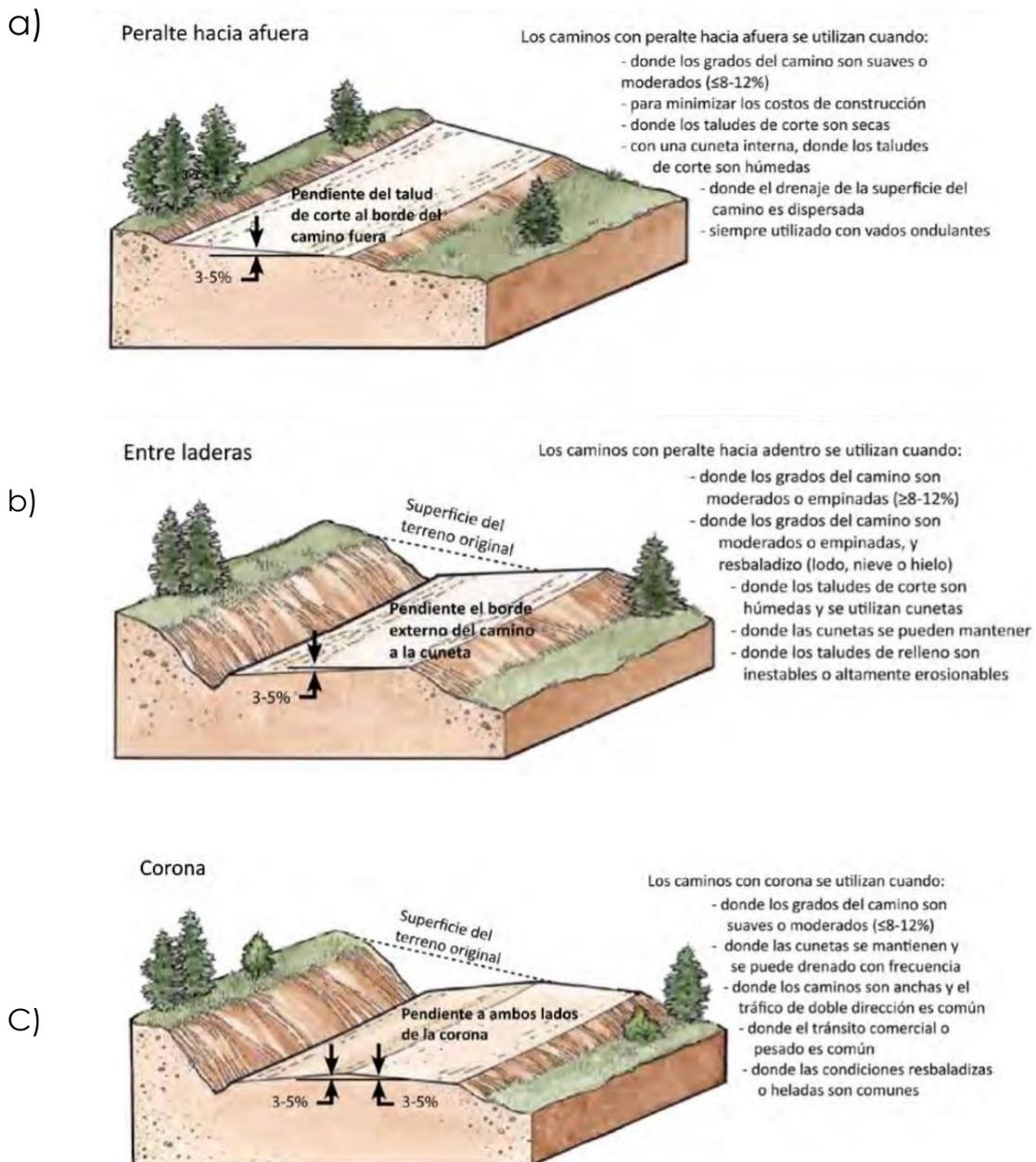
El diseño de la superficie del camino es en realidad el diseño del drenaje de la superficie del camino, y debería elegirse basándose en mantener la seguridad para los usos buscados, proteger la integridad del camino y minimizar la erosión y la contaminación de sedimento en los arroyos. Se deben cumplir las tres normas de diseño. Las superficies del camino se pueden diseñar como con peralte hacia fuera, coronada o con peralte hacia adentro (**Grafico 8**). A menudo se utilizan más de uno de estos diseños de superficie del camino a lo largo de la extensión del camino

Un camino nunca debe tener una forma plana porque no tendría drenaje. Una forma de camino plana que no drena de un lado ni del otro es propenso a tener charcos y baches en áreas sin pendiente, o surcos y erosión de la superficie si sube o baja una colina. Los caminos planos, mal drenados, a menudo requieren un alto nivel y frecuencia de mantenimiento. Los caminos con peralte hacia afuera se consideran la forma de camino mejor y más preferida en la mayoría de las circunstancias.

Los caminos con peralte hacia adentro y con corona requieren cunetas internas, y las cunetas en general requieren mantenimiento regular. Además de los costos de construcción (los caminos con cunetas requieren considerablemente más costos de excavación y construcción, es importante considerar los requisitos y los costos del mantenimiento de largo plazo al decidir si construir un camino con peralte hacia afuera o un camino con peralte hacia adentro/con corona.

La forma del camino para obtener un drenaje adecuado no es una propuesta definitiva. Por ejemplo, los caminos que rodean el paisaje pueden alternar de peralte hacia afuera a peralte hacia adentro a medida que el camino recorre la ladera. Los caminos que tiene peralte hacia afuera durante gran parte de su extensión también pueden tener peralte hacia adentro localmente para abordar condiciones locales (por

ejemplo, una curva externa pronunciada). Aunque algunos cortes marginales húmedos pueden requerir la construcción de una cuneta interna (o desagüe de piedra en cuneta) para el drenaje, la calzada en sí misma puede ser una candidata digna para el peralte hacia afuera. En definitiva, es crítico diseñar adecuadamente las superficies del camino para minimizar la erosión de la calzada, la cuneta, el corte marginal y el terraplén al tiempo que se minimiza el transporte de sedimento a los arroyos



**Gráfico 8.** Diseño de superficie de caminos

### **3A, Caminos con peralte hacia afuera, con o sin una cuneta interna**

Generalmente se recomienda que la mayoría de los caminos forestales y rurales se construyan como caminos con peralte hacia afuera de un solo carril (ancho mínimo), con mínimo corte y relleno, donde las condiciones sean adecuadas. Se pueden colocar apartaderos de paso intervisibles para permitir el paso. Es probable que una sección transversal del camino con peralte hacia afuera provoque la menor perturbación y movimiento del suelo, genere menos impacto ambiental y tenga menos costos de mantenimiento que otros diseños. Los caminos con peralte hacia afuera dispersan y drenan la escorrentía a lo largo de todo el borde externo del camino (Figura 8(a)). Son menos costosos de construir y menos difíciles y costosos de mantener que los caminos con peralte hacia adentro, siempre que se construyan en ubicaciones adecuadas en la ladera

Si las laderas son secas, y los cortes marginales a lo largo de los caminos existentes muestran poca o ninguna evidencia de agua emergente (manantiales o filtraciones) durante la temporada de lluvias, no hay motivo para construir o mantener una cuneta interna a lo largo de un camino. Analizar las características hidrológicas del corte marginal y la ladera le permitirá determinar si necesita una cuneta interna a lo largo del camino.

Los caminos construidos donde la superficie se puede mantener seca y con drenaje libre generalmente deben tener peralte hacia afuera para dispersar la escorrentía. Las condiciones que podrían limitar el peralte hacia afuera del camino incluyen: 1) inclinaciones empinadas del camino ( $\geq 20\%$ ) que pueden hacer que darle peralte hacia afuera al camino sea difícil; 2) el uso invernal de un camino no cubierto (las condiciones de nieve o lodo en un camino empinado con peralte hacia afuera podrían ser peligrosas); o 3) la escorrentía cuesta arriba o el flujo

excesivo de manantiales desde el corte marginal o la calzada (que podría hacer necesaria una cuneta de drenaje interna)

El peralte hacia afuera por ende minimiza los flujos en la cuneta interna y reduce el potencial de erosión y entrega de sedimento desde la superficie del camino.

Claramente, si las condiciones lo permiten, los caminos deben construirse con una superficie con peralte hacia afuera, sin cuneta ni bermas a lo largo del borde externo del camino. Si se necesitan bermas por un tema de seguridad, se deben interrumpir frecuentemente a lo largo de su extensión para permitir el drenaje de la superficie del camino dispersado.

### **3B. CAMINOS CON PERALTE HACIA ADENTRO**

Los caminos con peralte hacia adentro se deben construir solo donde el drenaje de la superficie del camino se debe mantener fuera del terraplén (porque es inestable o el camino está ubicado justo junto a un arroyo), o donde dar un peralte hacia afuera crearía condiciones de conducción inseguras. Los caminos con peralte hacia adentro drenan la escorrentía de la superficie al interior de la calzada, generalmente a una cuneta, donde se combina con el flujo del talud de corte y áreas colina arriba y se descarga a alcantarillas de cruce de arroyos cercanas o alcantarillas de cunetas (Figura 8(b)). La cuneta hace que la capa freática debajo del camino descienda al fluir fuera del suelo y a la cuneta.

Según el tipo de tránsito y los materiales de la superficie del camino, los caminos más empinados que aproximadamente el 8 al 10 por ciento pueden ser demasiado empinados para tener un peralte hacia afuera seguro. En esta escena, el peralte hacia adentro con una cuneta puede ser necesario, aunque el potencial de creación de barrancos en la cuneta aumenta con la pendiente del camino. Adentro, las cunetas se deben drenar a intervalos suficientes para prevenir la erosión de la cuneta y la formación de barrancos de salida, y en lugares donde el agua y el sedimento se puedan filtrar antes de llegar a un curso de agua.

El “filtrado” se puede lograr mediante la **vegetación densa**, taludes suaves, fosas de sedimentación, o hileras de filtrado de escombros de madera y mantillo colocadas y aseguradas en el talud.

Al igual que con los caminos con peralte hacia afuera, las superficies de caminos con peralte hacia adentro empinadas pueden ser difíciles de drenar rápidamente. Los vados ondulantes (para caminos permanentes y caminos estacionales) o los interceptores de agua (para caminos estacionales o temporales, sin cubrir) se deben construir a intervalos suficientes como para que dispersen la escorrentía de la superficie del camino de segmentos empinados del camino. Las cunetas y las alcantarillas necesitan mantenimiento ocasional para funcionar correctamente y para transportar los flujos que fueron diseñados para manejar.

## **ESTRUCTURAS DE DRENAJE DEL CAMINO**

Las estructuras de drenaje del camino incluyen las características de un camino, además de la forma del camino, diseñadas para drenar la superficie del camino y la escorrentía de la superficie fuera o lejos del prisma del camino. Las **estructuras de drenaje del camino** incluyen vados **ondulantes, camellones, bermas de drenaje, cunetas y alcantarillas de alivio de cunetas**. El propósito de todas las estructuras de drenaje es quitar el agua y alejarla de la calzada lo más rápidamente posible para que los materiales de la calzada no se saturen, y para que se minimice la erosión de la calzada/cuneta.

### **1. VADOS ONDULANTES SUPERFICIALES**

Los vados ondulantes superficiales y una superficie del camino inclinada son críticas para mantener un camino bien drenado, con peralte hacia afuera. En caminos que suben (o bajan), especialmente en formas con peralte hacia afuera, la superficie del camino se puede drenar usando vados ondulantes superficiales o camellones. Los vados ondulantes

superficiales son depresiones suaves e inclinadas construidas en la calzada

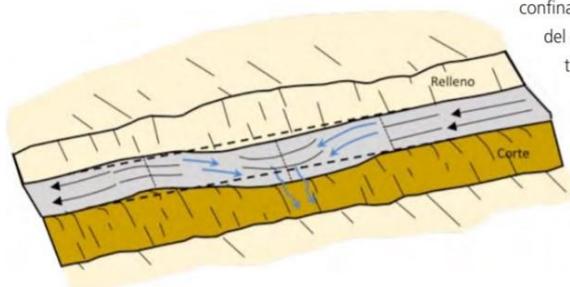
**Los camellones** se deben reservar para caminos estacionales no cubiertos que tienen poco tránsito y/o nada de uso durante la temporada húmeda. Los vados ondulantes superficiales generalmente se utilizan en caminos con peralte hacia afuera para drenar la escorrentía de la superficie del camino a la parte exterior del camino, pero se pueden construir en caminos con peralte hacia adentro, coronados o con peralte hacia afuera para drenar la escorrentía en cualquiera de las direcciones. Sin embargo, recuerde que el objetivo del drenaje eficaz es dispersar más que recolectar y concentrar la escorrentía del camino.

En general, los vados ondulantes amplios se construyen perpendiculares al trazado del camino, con una inclinación transversal de al menos 1 a 3 por ciento mayor que la pendiente del camino. La pendiente transversal del talud garantiza el drenaje adecuado hacia la parte exterior del vado.

Existen tres tipos de vados ondulantes.

■ Un **vado ondulante Tipo 1** es el diseño estándar de vado ondulante para caminos que no tienen un corte a través o una calzada grande que evitaría que el vado drenara al terraplén externo adyacente. Los vados ondulantes Tipo 1 se construyen en caminos con gradientes menores de 12-14%, y con o sin una berma externa pequeña que se puede quitar con facilidad.

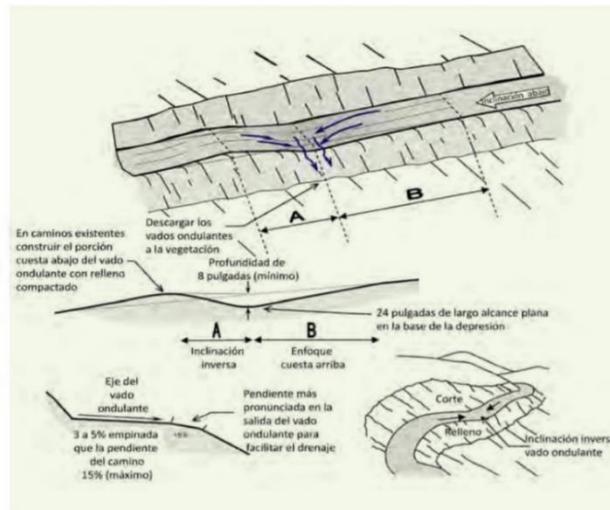
Vado ondulante superficial tipo 1  
(Estándar)



Los vados ondulantes superficiales tipo 1 se utilizan cuando las pendientes del camino son inferiores al 12-14 % y la escorrentía del camino no está confinada mediante un gran corte transversal o berma. El eje del vado debe ser perpendicular a la alineación del camino y tener una pendiente del 3-4 % a lo largo de la traza del camino. Los caminos empedrados ya no tendrán dimensiones mayores y vados más abruptos para desarrollar una pendiente inversa a través del eje del vado. La traza del camino o la salida del vado pueden cubrirse con rocas para protegerlas de la erosión si es necesario.

**Gráfico 9.** Vado ondulante tipo 1

■ Los **vados ondulantes Tipo 2** están diseñados para caminos con gradientes menores de 12–14% dentro de un corte transversal pequeño, o que tienen una berma grande (por ejemplo, alta y/o ancha) en el borde exterior del camino. Este tipo de vado requiere “quebrar” o excavar el corte transversal exterior o berma grande por el eje del vado.



**Gráfico 10** Vados ondulantes. Parámetros de construcción

■ Los **vados ondulantes Tipo 3** se sugieren para caminos con gradientes que superan 12–14% donde la inclinación del camino evita la construcción de un vado ondulante con una pendiente invertida. En vez de construir un vado con una pendiente invertida, un vado ondulante Tipo 3 se construye haciendo un peralte hacia afuera agresivo de 6–8% desde el borde interno al borde externo del camino para garantizar que la escorrentía viaje oblicuamente a través del camino y salga del camino dentro del peralte hacia afuera ondulante.

Los caminos son corredores no solo para vehículos y fauna, sino también para agua y sedimentos. Los caminos y sus sistemas de drenaje están frecuentemente interconectados o unidos con la red de arroyos naturales y las aguas superficiales de una cuenca; la escorrentía superficial en algunas cunetas y superficies de caminos fluye directamente a arroyos cercanos

El **grado de conectividad** se caracteriza generalmente como el largo o el porcentaje del camino que drena a arroyos y otros cursos de agua (lagos, humedales, etc.) durante un evento de escorrentía de “diseño”. Estos caminos y segmentos del camino se denominan “caminos conectados hidrológicamente” y el grado de conectividad se expande y se contrae según la magnitud de la precipitación y el evento de escorrentía.

Otras fuentes de contaminación de sedimentos pueden provenir de caminos con cortes marginales y cunetas que se erosionan, especialmente en áreas con suelos altamente erosionables, donde la revegetación de las canaletas es lenta o incompleta

Cuanto más alto es el porcentaje del sistema de camino (en su mayoría cortes marginales, cunetas, superficies del camino) que está conectado, mayor será el efecto potencial sobre las aguas receptoras. Los caminos están conectados hidrológicamente al sistema de arroyos o no.

Los caminos y los segmentos del camino que están conectados y drenan a arroyos y cursos de agua tienen el potencial de impactar estos sistemas, mientras que los caminos que no están hidrológicamente conectados no. Los tratamientos simples de drenaje de la superficie del camino pueden reducir enormemente el grado de conectividad y los niveles de contaminación crónica de sedimento fino generalmente asociados a los sistemas de caminos rurales. Utilizando técnicas simples de drenaje de caminos.



**Foto 6** Conectividad de caminos y drenajes

### 2.6.1. IMPORTANCIA DE LA PLANIFICACION Y LA CONSTRUCCION ADECUADA

La construcción de caminos no tiene que dar como resultado erosión y sedimentación excesivas corriente abajo. Las técnicas adecuadas de planificación, diseño y construcción utilizadas en la ubicación y la construcción de caminos, y en la instalación y el mantenimiento de estructuras de drenaje, pueden evitar problemas de calidad de agua y pueden extender considerablemente la vida útil del camino. Los caminos se pueden planificar y ubicar para evitar áreas inestables, erosionables, y los cruces de arroyos se pueden planificar, ubicar y construir utilizando técnicas que minimizan el potencial de erosión o falla de ladera post construcción.

La buena planificación, la ubicación adecuada y el uso de prácticas de construcción y reconstrucción progresiva pueden evitar considerablemente los impactos relacionados normalmente con la construcción de caminos. Hacerlo bien, terminará con un camino de bajo mantenimiento y bajo impacto. Hacerlo mal provocara elevados costos de mantenimiento y altos impactos ambientales.

### 2.6.2. ELEMENTO DE UN CAMINO ESTABLE

Las características que se describen en esta sección forman los pilares fundamentales de los caminos estables. Incluyen elementos del **entorno físico del camino**, puntos de control críticos (ubicaciones de interés o sensibilidad especial a lo largo de la alineación), **restricciones sobre la ubicación del camino** (legales y físicas), cómo mantener un camino estable una vez construido.

- **ENTORNO FISICO**

El entorno físico del camino incluye factores como la pendiente de la tierra, los tipos de basamento rocoso y suelos por los que pasa el camino, así como también el drenaje de la superficie y la subsuperficie a lo largo del trazado. Juntos, estos factores físicos determinan la mejor elección para la ubicación del camino en una cuenca, así como también las técnicas más adecuadas para construir un camino estable de poco mantenimiento.

- **Pendiente de la tierra.**

La pendiente de la tierra es uno de los elementos más importantes que controlan dónde y cómo se construyen los caminos. La construcción de caminos se hace más difícil y costosa a medida que las pendientes de la tierra se hacen más escarpadas. Los caminos construidos sobre pendientes empinadas también son más propensos a erosión y problemas de estabilidad.

La mayoría de los caminos cruzan el talud, y no es difícil mantener las pendientes del camino en menos de 3%–5%, incluso cuando la pendiente de la tierra supera el 50%. Esta construcción de talud lateral también ayuda a prevenir graves problemas de drenaje y erosión de la superficie porque son mucho más fáciles de drenar y pueden dispersar la escorrentía al talud de abajo con mayor facilidad.

- **Basamento rocoso y suelos.**

La estabilidad y erosionabilidad de un trazado de camino son controladas por el basamento rocoso y el material de suelo subyacente, así como también la ocurrencia de agua. La composición del basamento rocoso y de las propiedades de los suelos varían considerablemente a lo largo de la mayoría de las rutas. Cada tipo de suelo y basamento rocoso reacciona de manera diferente a la construcción del camino y el drenaje del camino.

Algunas propiedades importantes del basamento rocoso que influyen la estabilidad del talud y la facilidad de excavación para la construcción del camino incluyen la dureza de la roca, la dirección y la inclinación de las capas de roca, la cantidad de fractura natural, la cantidad de desgaste o descomposición natural, y la composición mineral.

- **Drenaje.**

“Drenaje”, se refiere tanto al drenaje de la subsuperficie (agua subterránea y caudal de paso de agua del suelo) y drenaje de la superficie (escorrentía). Los taludes bien drenados y los caminos drenados correctamente son críticos para tener ubicaciones de caminos de bajo impacto y bajo mantenimiento, y pueden tener efectos importantes sobre la construcción de caminos y su estabilidad subsiguiente.

- **Drenaje de la subsuperficie**

El agua retenida en el suelo, o que se mueve a través del suelo, se llama agua del suelo o agua subterránea. El agua que no puede moverse libremente a través del suelo a menudo surge a la superficie en forma de manantiales y filtraciones. Incluso cuando el drenaje de la subsuperficie (el flujo de agua a través del suelo) es bueno, se puede ver afectado por la construcción del camino y, a su vez, los caminos se pueden ver dañados por el drenaje obstruido o perturbado de la subsuperficie..

- **Drenaje de la superficie**

La clave de un drenaje de superficie exitoso es sacar el agua de los taludes de corte, los terraplenes y la superficie del camino lo más rápidamente posible, antes de que tenga la oportunidad de concentrarse en un gran volumen de flujo o de saturar el suelo.

### 2.6.3. LAS TRES REGLAS MÁS IMPORTANTES PARA DESVIAR A LA ESCORRENTÍA DE LA SUPERFICIE

- 1) Drenar y dispersar el agua fuera del camino rápidamente para que no puede erosionar o filtrarse en la calzada,
- 2) Dirigir la escorrentía fuera del camino a menudo para evitar que flujos grandes y erosionantes se desarrollen en cunetas largas y no drenadas o superficies del camino,
- 3) Dirigir la escorrentía a ubicaciones seguras lejos de cursos de agua y áreas inestables

Se puede usar un método simple, llamado la **Prueba de las 5 D**, para medir la eficacia de los sistemas de drenaje del camino. Esta prueba se basa en su mayoría en información visual y análisis del drenaje de la superficie del camino. Las 5 D son:



Gráfico 11. Análisis de Drenaje. Prueba de las 5 D

Estas cinco pruebas se aplican a todos los métodos de drenaje, inclusive pendientes contrarias del camino, camellones, vados ondulantes superficiales, alcantarillas de alivio de cunetas, alcantarillas de arroyos y puentes. Las primeras cuatro pruebas se pueden realizar mediante observación; la quinta prueba se puede realizar evaluando las condiciones del sitio local que incluyen la pendiente del camino, el material de la superficie, la elevación, la precipitación esperada, el tipo de suelo, la forma del camino y la ubicación de estructuras de drenaje existentes

El uso y la ubicación correcta de estructuras de drenaje como alcantarillas, hondonadas rodantes, cunetas de desvío, pendientes, pendientes contrarias, cunetas internas, alcantarillas de alivio de cunetas, interceptores de agua y alcantarillas de arroyos valen la pena el costo inicial de instalación.

### **OPERACIONES CERCA DE ARROYOS, LAGOS Y HUMEDALES**

Se debe dejar suficiente área amortiguadora o franja de filtro de suelo y vegetación no perturbados entre las actividades de construcción del camino, la reconstrucción del camino y mantenimiento del camino, y cerca de arroyos, lagos y humedales. El drenaje de la superficie del camino se debe dispersar y liberar en un área de filtrado con suficiente capa de terreno y distancia del talud como para infiltrar agua y atrapar todo sedimento que provenga de la escorrentía del camino. Se deben retener franjas de filtrado para todos los cursos de agua, inclusive arroyos fugaces e intermitentes que puedan no estar fluyendo en el momento de la construcción o el mantenimiento del camino. Los lechos de cauces y humedales no son buenas ubicaciones para caminos y nunca se deben usar para ese fin.

El diseño y el ancho de la **franja amortiguadora** depende del fin del amortiguador (por ejemplo, moderación de la temperatura del agua,

eliminación de sedimento, eliminación de nutrientes, y diversidad de las especies), tipo de vegetación, permeabilidad del suelo y gradiente del talud.

Los **anchos de amortiguación** están directamente relacionados con la pendiente de la tierra adyacente al arroyo y la permeabilidad del suelo; los taludes más empinados o los suelos menos permeables requieren distancias de amortiguación más largas. Las regulaciones pueden dictar anchos de amortiguación aceptables y operaciones que se pueden realizar dentro del área de amortiguación.

Donde hay vegetación inadecuada junto al camino, se pueden agregar barreras físicas (troncos, arbustos, cunetas, etc.) o estructuras de retención de sedimentos/estanques para atrapar parte del sedimento que proviene de la superficie del camino o los terraplenes. Estas estructuras se llaman **camellones de filtrado**. Las cunetas internas y las alcantarillas de alivio de cunetas se deben liberar sobre taludes con vegetación y nunca en canales de arroyos naturales o cursos de agua.

### 3. DIAGNOSTICO

#### 3.1.1. PROBLEMÁTICA DEL SECTOR

Los caminos construidos sobre laderas empinadas o inestables pueden desatar desprendimientos que depositan sedimentos en canales de arroyos

La falta de inspección y mantenimiento de estructuras de drenaje y rellenos de caminos inestables a lo largo de caminos viejos y abandonados también puede dar como resultado movimiento del suelo y traslado de sedimentos a canales de arroyos.

Se ratificó, mediante la inspección realizada como parte de este estudio, el daño que el exceso de escorrentía genera en la estructura de pavimentos y mobiliario; entre otros. Esto se debe principalmente a la ausencia de un buen sistema hidráulico pluvial en la vía, de un desacertado trabajo de conservación vial y de un mal manejo de la modificación de la cobertura del suelo.

#### 3.1.2. INSPECCION VISUAL

El diagnostico se lo realizará a través de una **Inspección visual** del estado de la infraestructura de drenaje existente, relacionada básicamente con la vía de acceso presente en el sector de estudio.

- **Manejo de escorrentía superficial**

Un problema que en general afecta a las vías es la escorrentía superficial que proviene de la precipitación pluvial. Esta puede ser controlada a través de dispositivos diseñados *por ingenieros* para aminorar parcialmente o en su totalidad los efectos negativos que dicha agua sin encauzar pueda provocar. Dentro de esos efectos se pueden nombrar

los siguientes:

- Inundación de viviendas.
- Erosión de suelos.
- Arrastre de sedimentos.
- Disminución del nivel de servicio.
- Desestabilización de taludes.
- Socavación de estructuras.
- Reducción acelerada de la vida útil de la vía.
- Costos elevados de mantenimiento. Daños de capas de rodamiento por problemas de infiltración en capas inferiores

El diseño de las estructuras puede ser clasificado de diversas maneras, según como se desee agrupar. Por ejemplo:

- **Función:** filtración, control de erosión-sedimentación, disipación de energía, etc.
- **Localización** respecto al eje de la vía: subterráneo, transversal, longitudinal, vertical...

Los caminos son fuertes factores de modificación del impacto sobre las aguas subterráneas y principalmente de las aguas superficiales que son el objeto de estudio de este proyecto. Por ello es de vital importancia una buena planeación, diseño, construcción y conservación de una obra vial para reducir los efectos negativos, dentro de los cuales se pueden mencionar los siguientes:

- **Funcional:** insatisfacción del usuario, exceso de erosión y sedimentación.
- **Estructural:** altos costos de rehabilitación.

### 3.1.3. CONSERVACION VIAL

La conservación vial es principalmente, la suma de dos componentes: la rehabilitación y el mantenimiento, que se definirán con mayor detalle a continuación:

- **Mantenimiento:** Consiste en prever y solucionar los problemas que se presentan a causa de su uso, y así brindar al usuario el nivel de servicio para el que la carretera fue diseñada (Barquero, 1998).
- **Mantenimiento rutinario:** Es el conjunto de labores de limpieza de drenajes, control de vegetación, reparaciones menores y localizadas del pavimento y restitución de la demarcación, que se deben de efectuar de una manera continua y sostenida, a través del tiempo, para preservar la condición operativa y el nivel de servicio y de seguridad de las vías (Barquero, 1998).
- **Mantenimiento periódico:** Es el conjunto de actividades programables cada cierto período (de 1 a 3 años, según corresponda), tendientes a renovar la condición original de los pavimentos mediante la aplicación de capas adicionales de lastre, grava, tratamientos superficiales o recarpeteos asfálticos, según sea el caso, sin alterar la estructura de las capas del pavimento subyacente (Barquero, 1998).
- **Rehabilitación:** Es restablecer el nivel de servicio de una estructura, llevándolo a su estado original. Además, puede incluir, por una única vez en cada caso, la construcción o reconstrucción del sistema de drenaje, que no implique la construcción de puentes o alcantarillas mayores (Barquero, 1998).

Relacionado con lo anterior y específicamente con el objetivo del presente proyecto, se conoce que la ausencia de la conservación vial produce efectos negativos. Estos son:

- Pérdida de materiales de forma acelerada que a la postre deben ser sustituidos.
- Gran cantidad de emanaciones, lo cual incide en el ambiente.
- Disminución de beneficios sociales, que puede proveer la implementación de las distintas actividades asociadas.

Además, las actividades de mantenimiento se diferencian entre sí, si es un camino de pavimento asfáltico o si es de lastre y tierra. A continuación, se presenta la lista de actividades de mantenimiento (rutinario y periódico), para lastre-tierra, que inciden en el sistema de drenaje:

ACTIVIDAD	MANTENIMIENTO		BENEFICIO AL SISTEMA DE DRENAJE SUPERFICIAL	ESTADO ACTUAL	
	RUTINARIO MECANICO	RUTINARIO MANUAL		SI	NO
Limpieza de cunetas	x	x	Asegura libre escurrimiento del agua y capacidad del área hidráulica		X
Limpieza de alcantarillas		x	Libre flujo de agua a través de toda su sección		NO EXISTEN
Limpieza de cabezales		x	Evitar obstrucciones en la salida y entrada del flujo de agua de las alcantarillas		NO EXISTEN
Control de malezas	x	x	Asegura eficiencia en escurrimiento de las aguas superficiales		X
Limpieza de derrumbes	x	x	Evita obstrucciones y/o desvíos del flujo	X	

			en los distintos elementos		
Conformación de la superficie de rodadura	x		Recuperación idónea en la evacuación de aguas superficiales	X	
Reparación o sustitución de cunetas, alcantarillas y cabezales		x	Evita la acumulación excesiva de agua en ciertos puntos vulnerables del sistema		NO EXISTEN

**Tabla 8.** Actividades de mantenimiento – Diagnóstico en el cerro Cojítambo

### 3.1.4. CONDICIÓN DE DRENAJES

Dentro de las condiciones o estados que pueden presentarse en los drenajes tenemos:

**1. PESIMO.** El agua escurre por la calzada durante periodos de lluvia sobre una buena parte de la subsección y no existen cunetas longitudinales definidas. Las estructuras de drenaje no existen o son completamente inadecuadas.

**2. MALO.** Una evaluación visual indica que la mayoría de las alcantarillas y cunetas son inadecuadas. Existen vados en algunos sitios en vez de estructuras de drenaje. Hay estancamiento de agua a nivel de la estructura del pavimento, sobre una buena parte del tramo, y durante periodos largos, con desbordamiento ocasional sobre la calzada.

**3. REGULAR.** La existencia de erosión, socavación aparente o indicaciones de estancamiento frecuente de agua al nivel de la estructura de pavimento, indica que la capacidad hidráulica de la alcantarilla no es suficiente.

**4. BUENO.** La mayoría de las alcantarillas y cunetas aparentemente funcionan bien, pero existen indicaciones en algunos sitios de que el agua se estanca a la entrada de la alcantarilla o} permanece en las cunetas longitudinales, a nivel de la estructura del pavimento, por algún tiempo durante los periodos de lluvia.

**5. EXCELENTE.** Todas las alcantarillas y cunetas están bastante limpias y funcionan debidamente y aparentemente son adecuadas en cuanto a tamaño, longitud y localización.

En el **área de estudio** se podría considerar que **el estado de los drenajes es malo** por lo que se deberán tomar las medidas correctivas necesarias para que la escorrentía provocada sea direccionada y controlada de forma natural según las técnicas definidas para estos casos.

### 3.1.5. AREAS SELECCIONADAS



**Foto 7.** Estado de capa de rodadura de camino en época de lluvias.

Se definieron **3 zonas de interés hidrológico-hidráulico**, cuyas áreas de aportación de caudales escurren actualmente hacia el área de estudio.

Estas zonas son las siguientes:

- Zona de explanada de final de vía (rotonda) y cabañas
- Zona este de la vía de acceso existente, que tiene influencia sobre el área de estudio.
- Zona de vestigios arqueológicos hacia barranco, dirección sur-norte.



**Foto 8** Sector de explanada de final de vía (rotonda) y cabañas. Fuente: Arq. Franklin Espinoza



**Foto 9** Sector de explanada y Mirador. Fuente: Arq. Franklin Espinoza



**Foto 10.** Sector Vestigios Arqueológicos – Vía De Acceso. Fuente: Arq. Franklin Espinoza

### **Sector de rotonda y cabañas (Balcón de Servicios)**

Este sector se caracteriza por la presencia de una plataforma horizontal conformada por material de relleno y roca, y por un sendero natural de acceso hacia un mirador que da hacia el sector sur del cerro. Aquí se pretende emplazar tres equipamientos como son: Plaza del Sol, Balcón de Servicios y Plaza de la Luna articulados por la conformación de un nuevo sendero que respete el tránsito y las pendientes que actualmente existen.

Se ha previsto algunos aspectos a ser considerados en este sector:

- El nuevo sendero deberá respetar las pendientes que se presentan en el área, permitiendo el libre paso de las aguas tanto en sentido longitudinal como transversal.
- Mejorar la base y capa de rodadura de los senderos.
- Construcción y reconfiguración de cunetas naturales
- Instalación de Barreras y fajas vegetales

### **Sector MIRADOR ROCA – Explanada**

En este sector, la escorrentía se desarrolla a través de la roca y el matorral que funciona como un contenedor natural del sedimento y de freno en la velocidad de escurrimiento del agua lluvia. Por otra parte, en este

sector se ubica un camino rocoso, que hace las veces de una cuneta de coronación.

Tomando como base una evaluación de lo existente se propone realizar las siguientes acciones:

- Estabilizar y mejorar el camino de acceso para que cumpla la función de cuneta natural de conducción de agua lluvia.
- Mantener un análisis permanente de la vegetación existente en este sector con el objetivo de establecer su siembra en las obras que se requieran para controlar la escorrentía y erosión del suelo.
- Instalación de Barreras y fajas vegetales acordes a la flora del sector de estudio.

#### **Sector VESTIGIOS ARQUEOLOGICOS y vía de acceso existente.**

En la **vía de acceso existente, que en algunos tramos hace las veces de cuneta**, se tiene escorrentía superficial de aguas lluvias que se recoge de los terrenos que están sobre esta vía y se ha previsto el diseño de una cuneta de camino en el lado derecho de la vía sentido sur –norte y cuyas aguas se descargarán al colector natural en la parte baja.

Se ha previsto colocar en este sector las siguientes obras:

- Reconfiguración de la cuneta existente
- Alcantarillas para el intercambio de las aguas de un margen a otro y para los sitios de descarga.
- Obras de conexión de las cunetas.
- Reducción de ancho de calzada y conformación de barreras vegetales

Con el análisis realizado de los estudios preliminares tanto geológicos, hidráulicos y de presupuesto se ha determinado que la mejor alternativa es la **construcción de cunetas** para detener el flujo superficial de agua de lluvia que cae por los taludes, ocasionando el desprendimiento de bloques de roca u suelo, formando los llamados surcos o cárcavas.

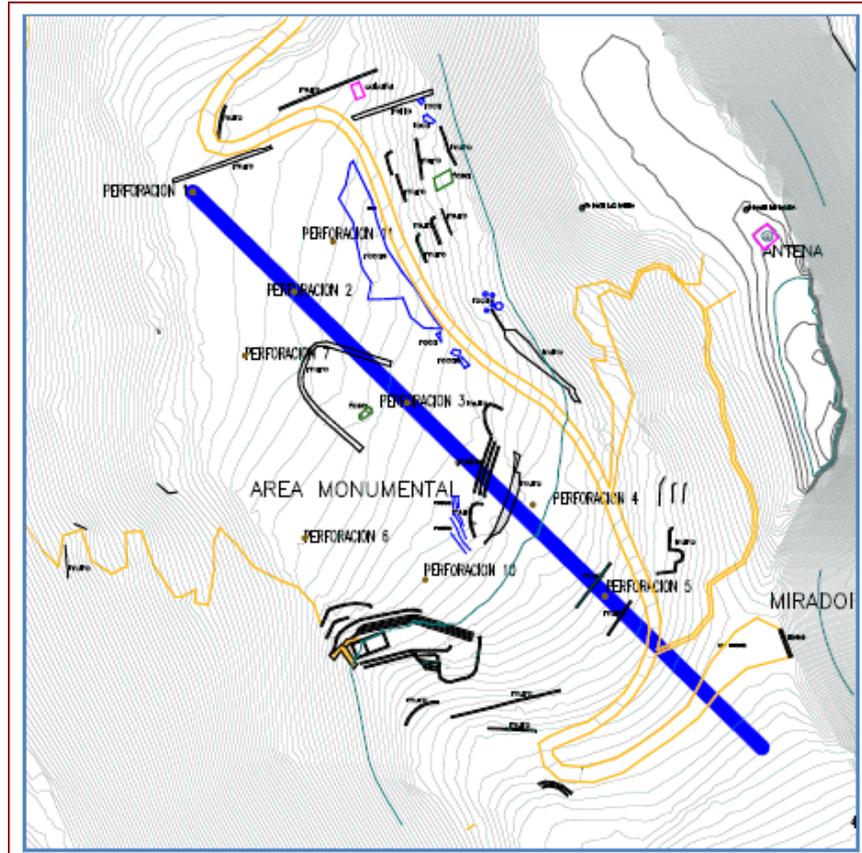


### **3.1.6. CARACTERIZACION DE INESTABILIDAD**

El estudio realizado por la Ing. Roura (Roura Ortega, 2010) Nos permitió complementar el análisis de lo relacionado con geología y estabilidad de taludes en el complejo Arqueológico Cojitambo, un trabajo que ha sido realizado con base a perforaciones y a perfiles sísmicos en el año 2010, utilizando la información de la situación hidrológica, distribución de la superficie, hidrogeología, ocupación del territorio, morfología, litología y andesitas.

- **SITUACIÓN HIDROLÓGICA**

En el sector no existe ningún reguero ni curso de agua perenne, por lo que el agua pluvial corre en dirección de la pendiente sobre la roca desde el mirador natural y sobre el depósito coluvial el agua se filtra. Su movimiento tiene **una dirección este – oeste.**



**Gráfico 12** Caracterización de Inestabilidad (Roura Ortega, 2010)

- **DISTRIBUCIÓN DE LA SUPERFICIE**

La mayor parte del área de estudio se halla cubierta por plantas nativas en los sectores donde existe roca; pastizal en la parte baja en la vía de ingreso a Cojitambo; quicuyo en la depresión donde se encuentran las ruinas; y productos de ciclo corto al este del área de estudio sobre los depósitos coluviales. También existen árboles de eucalipto que rodean el área en la parte baja.

- **HIDROGEOLOGÍA**

La lluvia se filtra saturando el depósito coluvial, que rellena la depresión y se mueve en sentido sureste – noroeste en dirección de la pendiente.

Según resultados de la geofísica, se estima que el diaclasamiento y fracturación de la roca andesítica llegaría hasta los 40 m. de profundidad. Por tanto, la aparición de aguas subterráneas en los taludes de la vía y laderas estaría marcada por la existencia de porosidad secundaria que está ligada a las diaclasas que no se encuentran rellenas. Por consiguiente, **la posibilidad de presencia de acuíferos es nula.**

- **OCUPACIÓN DEL TERRITORIO**

No existen asentamientos humanos en el área donde se ubican las Ruinas.

- **MORFOLOGÍA**

La inestabilidad se halla dentro de una morfología montañosa y escarpada, donde se ha formado una depresión que se encuentra entre las cotas 3050 y 3020 m.s.n.m., las mismas que se hallan formando pendientes altas de 14° (25%) hacia el escarpe E3.

La inestabilidad se ubica en una hondonada definida en base a la topografía, estudios sísmicos y perforaciones realizadas, la cual se halla cubierta por un depósito coluvial.

- **LITOLOGÍA**

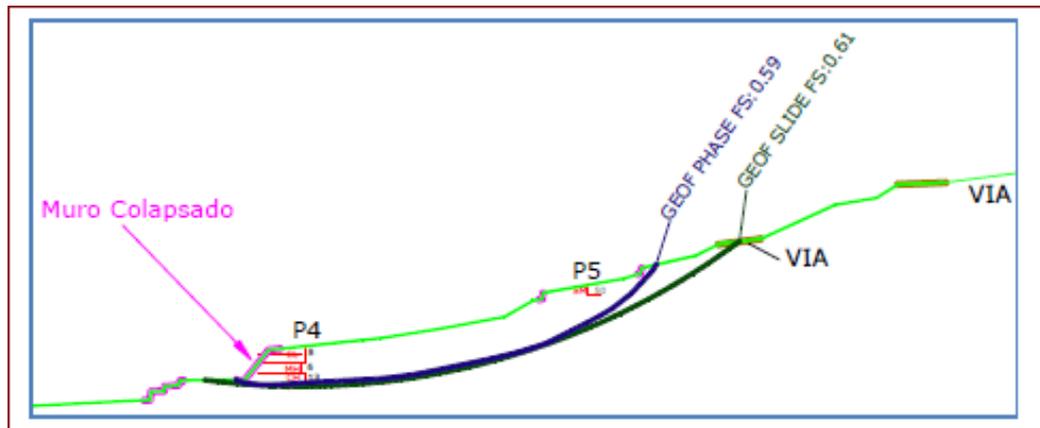
En el área de interés aflora roca volcánica representada por andesita y depósito coluvial.

- **ANDESITAS**

Esta roca se halla diaclasada, de color gris y compuesta por fenocristales de andesita, cristales de anfíbola y algunos cristales de mica, generalmente alterados y ocasionalmente, cuarzo. Aflora en los taludes

de los escarpes, que rodean a la depresión donde se encuentran las Ruinas.

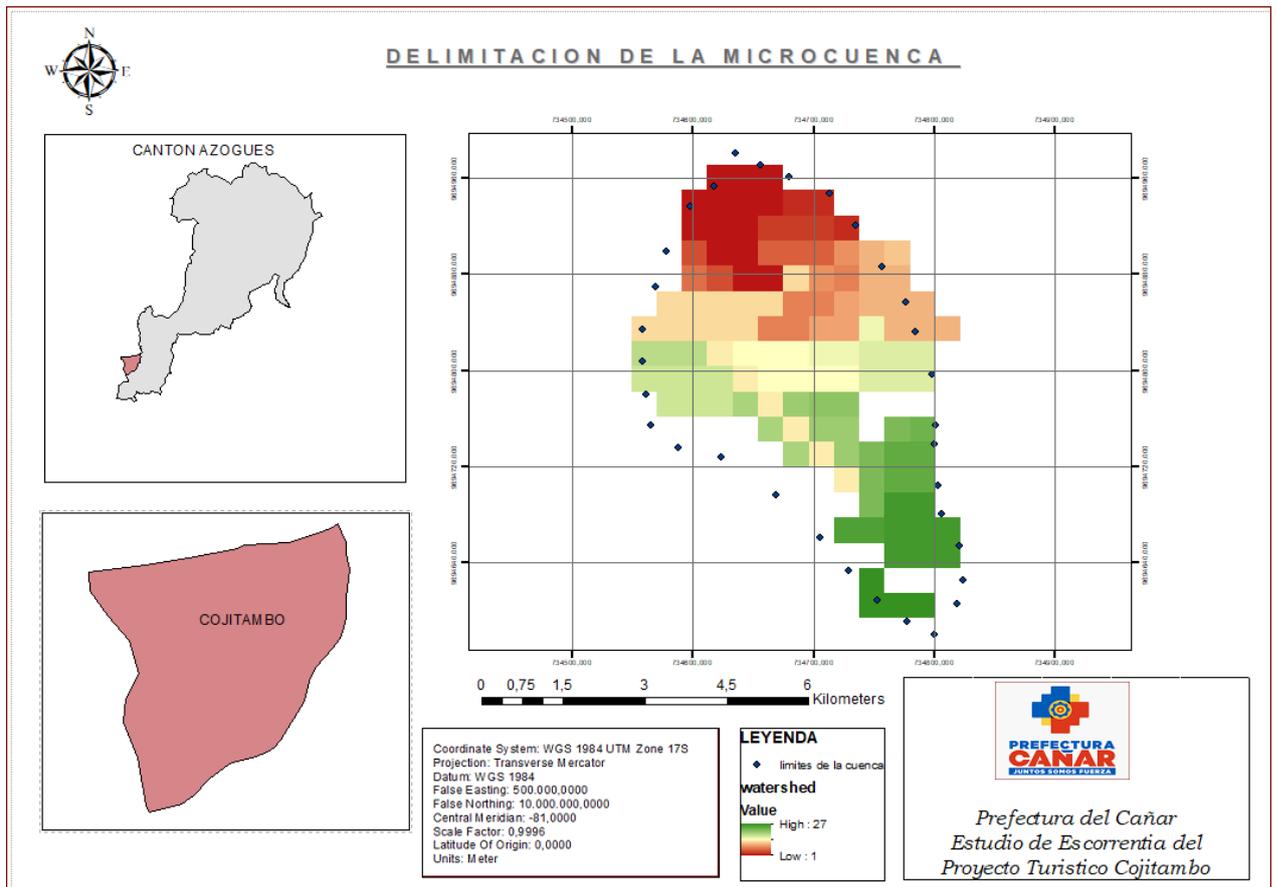
En la siguiente imagen se detalla el perfil más inestable en la zona arqueológica debido al desplazamiento de taludes de tipo lateral, debido a que los muros no se encuentran con una base sólida, y las condiciones física y geodinámica afecta al sector.



**Gráfico 13** Perfil de muros inestables en el año 2010. (Roura Ortega, 2010)

## 4. RESULTADOS

### 4.1.1. DELIMITACION Y CODIFICACION DEL AREA DE ESTUDIO



**Gráfico 14** Delimitación y Codificación del Área de estudio. Autor: Ing. Adriana Bravo Equipo Consultor Fuente: PDOT Cañar, INEC,2014.

### 4.1.2. MORFOLOGIA DE LA CUENCA

Estas características han sido calculadas a partir de la cartografía de microcuencas del Ecuador y la delimitación del área de estudio obteniendo los siguientes resultados (Ver tabla 9).

Interpretando los resultados de la tabla 9 la microcuenca del Complejo Arqueológico Cojitambo se encuentra a 3180 msnm con un área de 0.06437 km y con un perímetro de 3.16 km, la longitud del cauce principal es de 0.18 km.

**Tabla 9** Parámetros morfo métricos de la microcuenca del Complejo Arqueológico Cojitambo

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
<b>Área</b>	0.06437	Km
<b>Perímetro</b>	3.16	Km
<b>Longitud del cauce principal</b>	0.18	Km
<b>Ancho de la microcuenca</b>	0.25	Km
<b>Altura máxima</b>	3080	msnm
<b>Altura mínima</b>	2988	msnm
<b>Desnivel Altitudinal</b>	92	msnm

Autor: Ing. Adriana Bravo. Equipo Consultor

#### 4.1.3. CARACTERIZACION MORFOMETRICA DE LA CUENCA

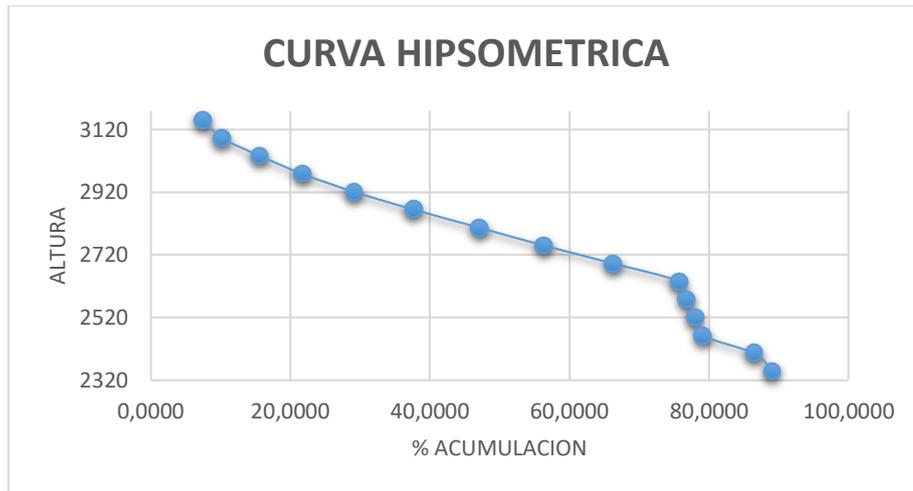
##### **PARAMETROS DE FORMA**

Del análisis de los datos presentados en la Tabla 10 se establece que el área de estudio presenta una forma ligeramente alargada, que presupone que **es poco susceptible a inundaciones**, debido a que la dinámica de las aguas escurre en general por un solo curso principal.

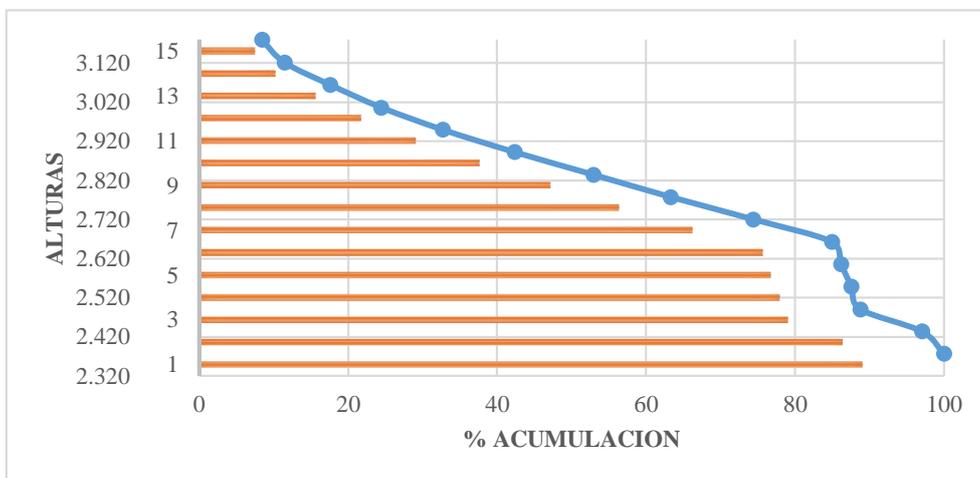
**Tabla 10** Parámetros de forma del Complejo Arqueológico Cojitambo

<b>PARAMETROS DE FORMA</b>	
<b>Coefficiente de Gravelius</b>	3.49
<b>Índice de Horton</b>	3.64

Autor: Ing. Adriana Bravo. Equipo Consultor

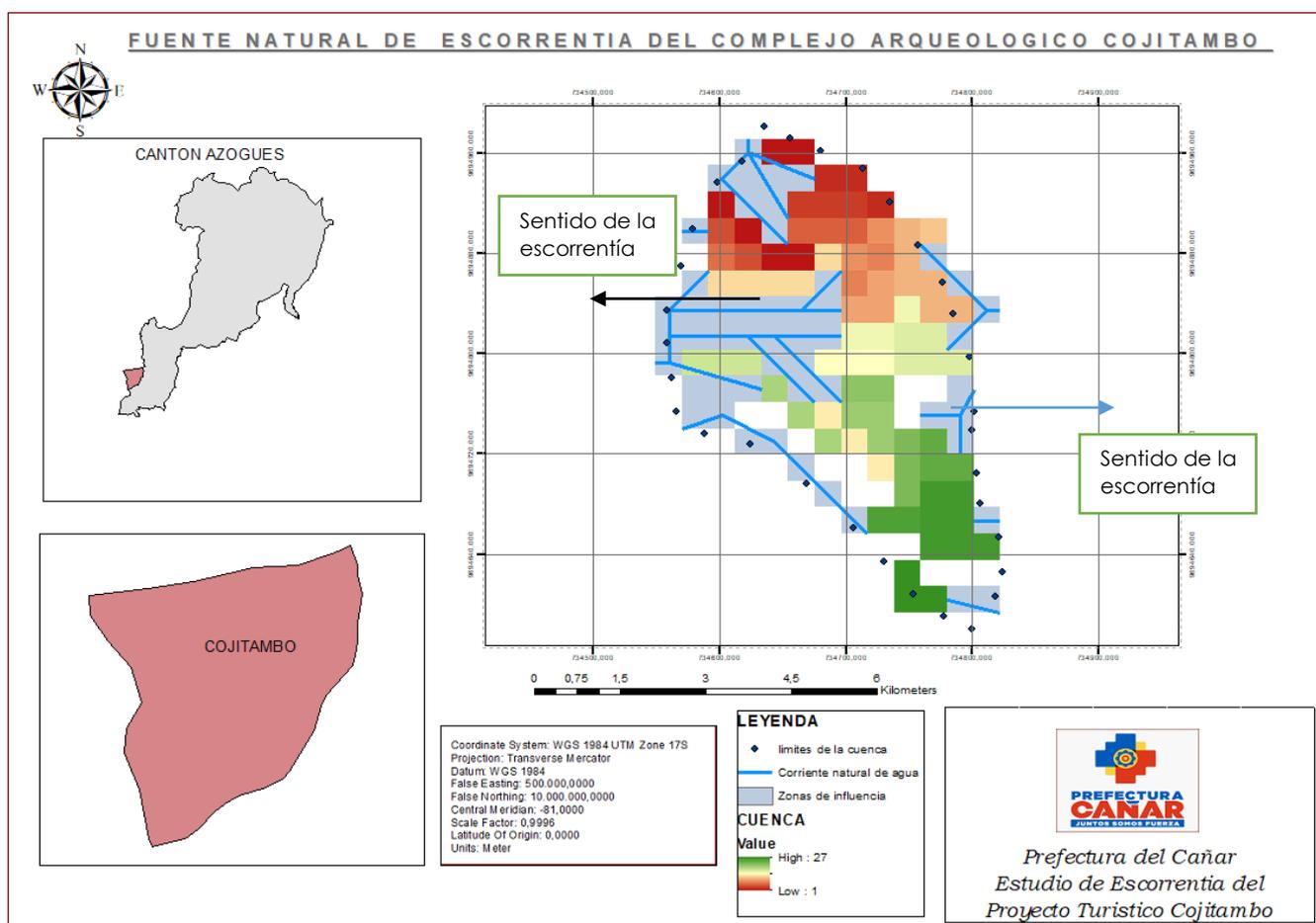


**Gráfico 15** Curva Hipsométrica. Fuente: INEC 2014.  
 Autor: Ing. Adriana Bravo Equipo Consultor



**Gráfico 16** HIDROGRAMA DE ACUMULACION VS ALTURAS. FUENTE: INAMHI .

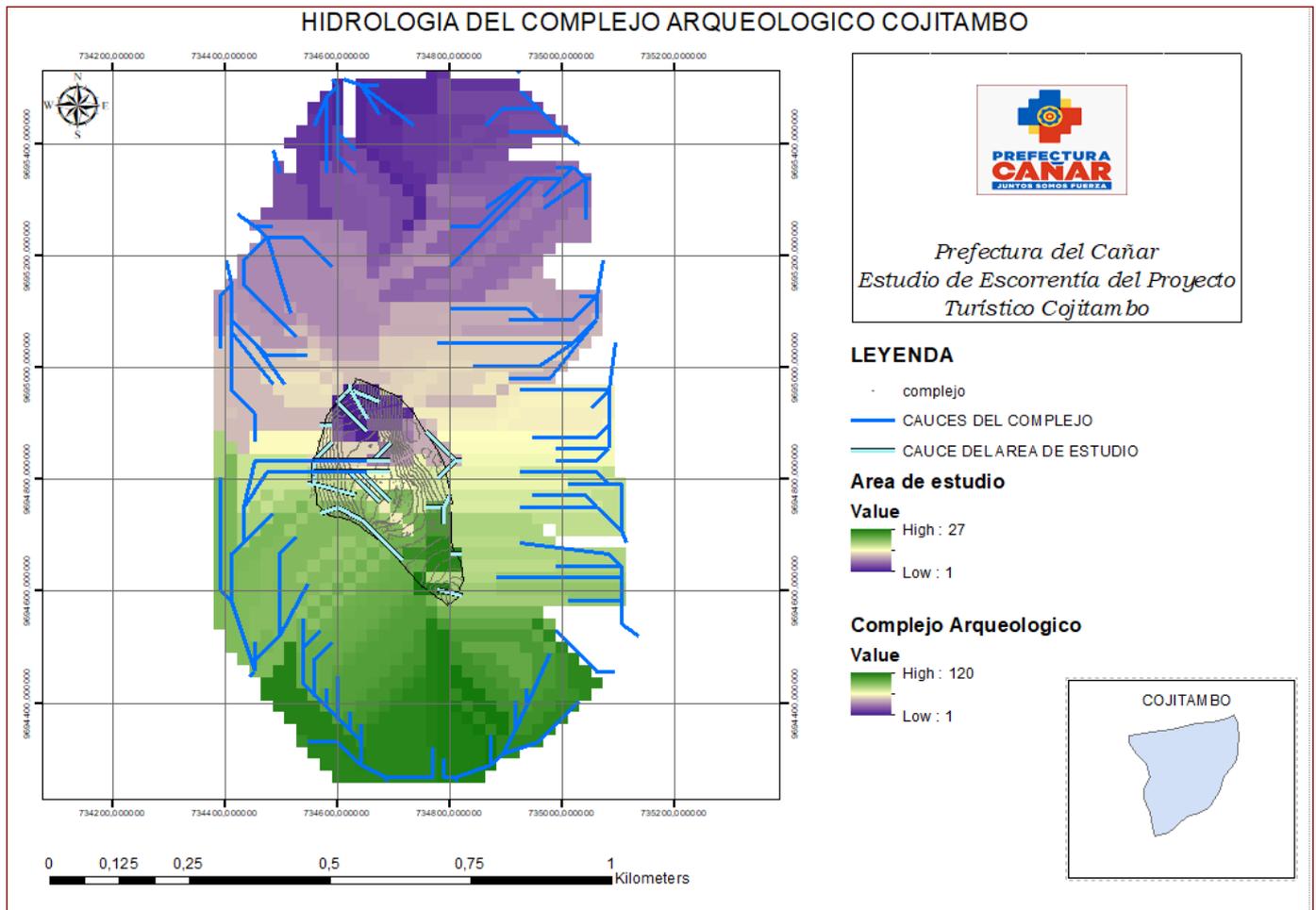
## PARAMETROS DE RED HIDRICA



**Gráfico 17** Red Hidrológica del Complejo Arqueológico Cojitambo. Fuente: INEC 2014, Autor: Ing. Adriana Bravo Equipo Consultor

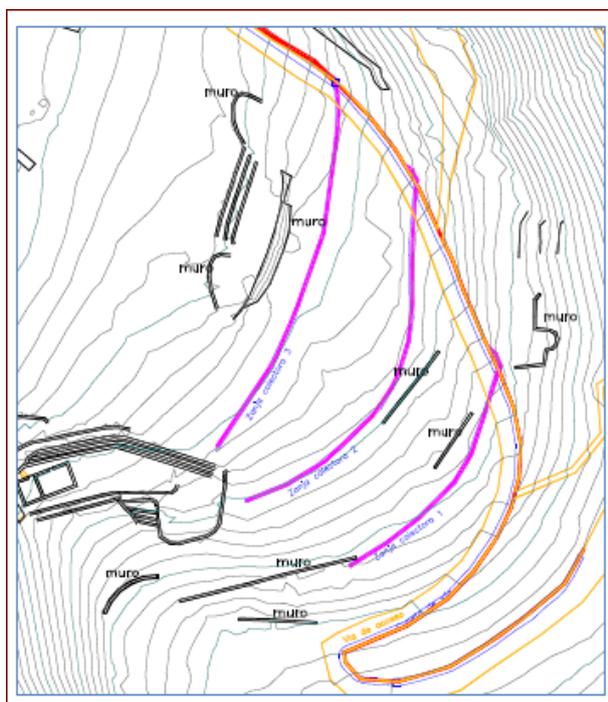
La hidro-geomorfología del complejo arqueológico Cojitambo se produce en sentido este - oeste, lo cual se ha corroborado mediante un Estudio Geológico – Geotécnico de la inestabilidad del suelo que afecta al Complejo Arqueológico Cojitambo.

Por lo tanto, la estabilización y la implementación de medidas de mitigación son de tipo civiles y ambientales, tomando en cuenta la dirección de cauces que integran a todo el complejo arqueológico que siguen las pendientes naturales del sitio. Ver gráfico 18



**Gráfico 18** Hidrología del Complejo Arqueológico Cojitambo como parte de la micro cuenca y su área de influencia.

Fuente: (IGM) Autor: Ing. Adriana Bravo Equipo Consultor.



Según las redes de drenaje analizadas en el complejo arqueológico, el agua es transporta de acuerdo a las pendientes presentadas, motivo por el cual en el grafico 19 se presenta el diseño y el área por la que deben realizar las técnicas de mitigación a deslizamientos o inestabilidad de taludes.

**Gráfico 19** Propuesta de ubicación de cuneta y drenajes en el sector de vestigios arqueológicos. fuente: (Roura Ortega, 2010)

Debido a que el área de estudio es de interés arqueológico no es posible intervenir con varios de los métodos expuestos, siendo posible únicamente trabajar con **técnicas de protección de taludes**, la cual debe incorporar una **red de drenaje** que recolecte las aguas lluvia y eviten la infiltración hacia la hondonada y por ende a la zona de contacto entre roca y suelo.

La red principal de drenaje consiste en la **construcción de una cuneta sobre la vía existente**, de tal manera que conduzca las aguas hacia zonas estables. Se complementa con una red secundaria que recolecta las aguas de la hondonada hacia la red principal. Para el cálculo se utilizó la información de la hidrología, con lo cual se diseñará la cuneta que conduzca el volumen correspondiente al área de aportación

**Tabla 11** Parámetros de la Red Hídrica.

<b>PARAMETROS DE LA RED HIDRICA</b>	
Jerarquización Fluvial	1
Tiempo de concentración	1.87mm/min

Autor: Ing. Adriana Bravo. Fuente: PDOT Cañar, INEC,2014.

#### **4.1.4. CALCULO DEL CAUDAL DE ESCORRENTIA SUPERFICIAL**

##### **Ecuación del Método Racional**

$$Q = C * I * A$$

- **INTENSIDAD DE PRECIPITACION**

$$I = \frac{615 * Tr^{0.18}}{(D + 5)^{0.685}}$$

Donde:

*Tr* = Tiempo de retorno

*D* = Duración

- **DURACION es el Tiempo de concentración**

### **Ecuación de California Culverts**

$$T_c = 0.0195 L^{0.77} S^{-0.385}$$

Donde:

S = Pendiente del Cauce

L = Longitud horizontal del Cauce

$$T_c = 0.0195(184.04)^{0.77} 0.92^{-0.385}$$

$$T_c = 0.035 \text{ min}$$

### **Ecuación de Kirpich**

$$T_c = 0.000323 \left( \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \right)$$

$$T_c = 0.000323 \left( \frac{184.04^{0.77}}{0.22^{0.385}} \right)$$

$$T_c = 0.034 \text{ min}$$

Por lo tanto:

$$I = \frac{615 * 25^{0.18}}{(0.032 + 5)^{0.685}}$$

$$I = 1.87 \text{ mm/min}$$

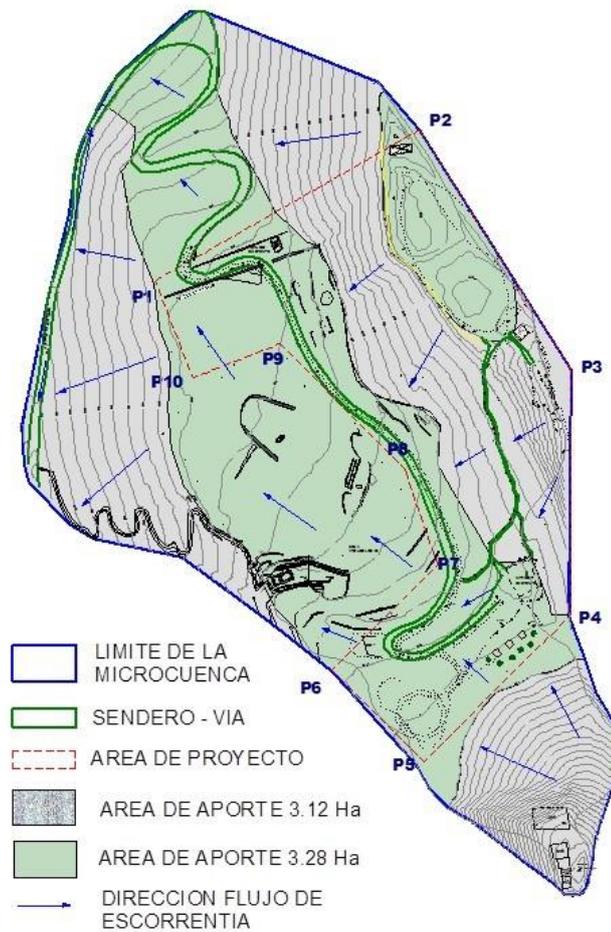
- **COEFICIENTE DE ESCORRENTIA**

Se procede a identificar el uso de suelo en el área de estudio resultando que existen 3 usos entre ellos tenemos pastizal, vegetación arbustiva y vegetación herbácea utilizando los valores de la tabla en referencia, conjunto con el sistema de información geográfica se procede a reclasificar el uso de acuerdo a las pendientes colocando valores para el cálculo final ver las tablas 12 y 13 y los gráficos 20 y 21

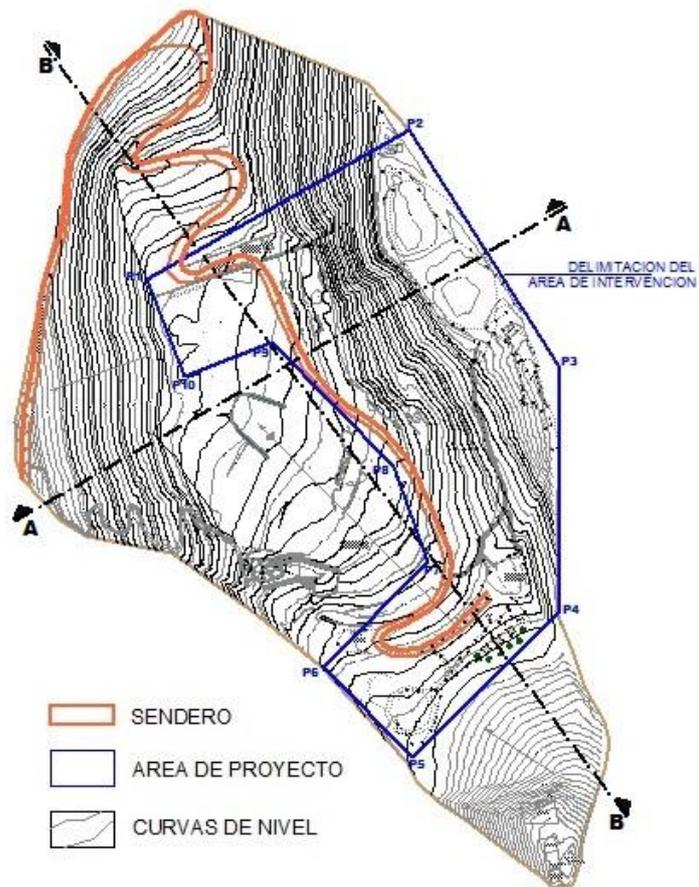
**Tabla 12** Coeficientes de acuerdo al uso de suelo y pendiente, para el cálculo del coeficiente de escorrentía.

<b>Tabla de valores de acuerdo al uso de suelo y pendiente</b>					
<b>COBERTURA</b>		<b>Pendiente</b>			
		<b>5 a 10</b>		<b>10 a 30</b>	
		<b>ondulada (5)</b>	<b>inclinada (6)</b>	<b>ondulada (5)</b>	<b>inclinada (6)</b>
<b>Pastizal</b>	1	0,36	<b>5</b>	0,42	<b>6</b>
<b>Vegetación Arbustiva</b>	2	0,18	<b>10</b>	0,21	<b>12</b>
<b>Vegetación Herbácea</b>	3	0,6	<b>15</b>	0,72	<b>18</b>

Autor: Ing. Adriana Bravo. Fuente: PDOT Cañar, INEC, 2014 (**Lemus & Navarro, 2003**)



**Gráfico 20** Áreas de aportaciones hídricas. Autor: Arq. Franklin Espinoza

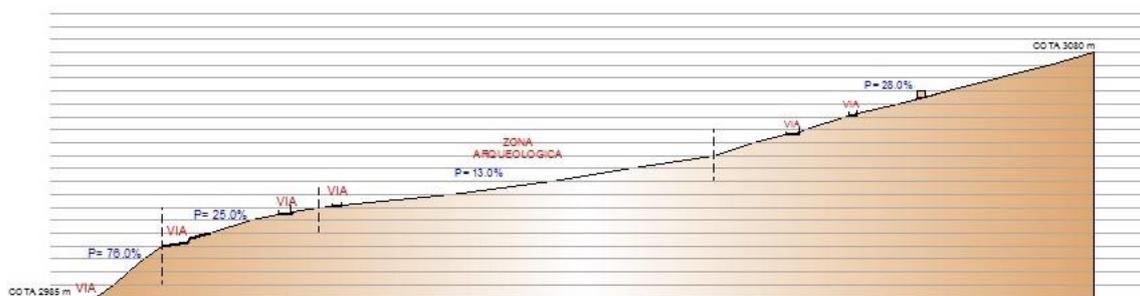


**Gráfico 21** Área de estudio – Cortes del terreno



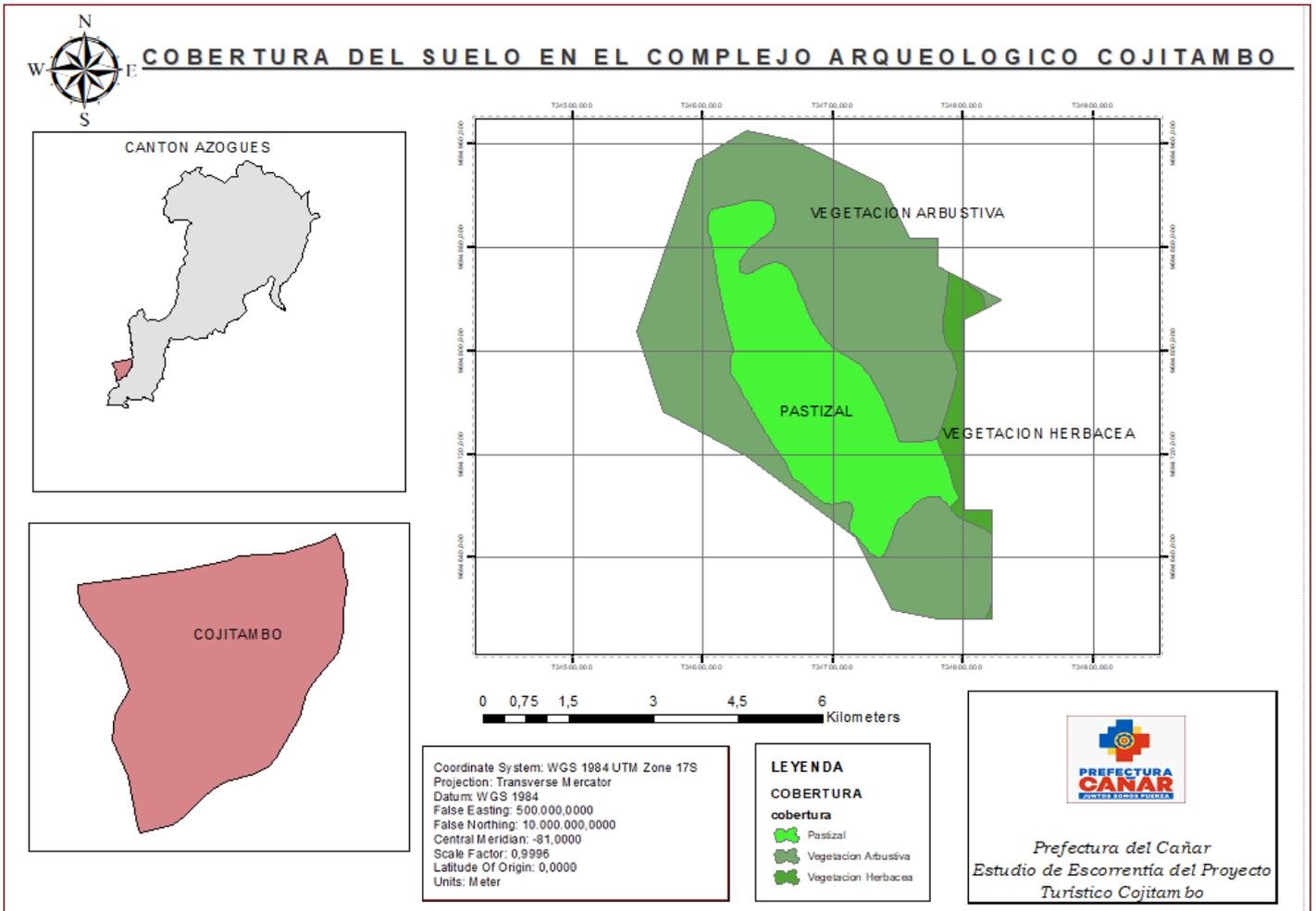
**CORTE LONG. A - A**

**Gráfico 22** Corte transversal del área de estudio. Autor: Arq Franklin Espinoza Equipo Consultor



**CORTE TRANSVERSAL B - B**

**Gráfico 23** Corte Longitudinal del área de Estudio. Autor: Arq. Franklin Espinoza Equipo Consultor



**Gráfico 24** Cobertura del suelo del Complejo Arqueológico Cojitambo. Autor: Ing. Adriana Bravo . Fuente: PDOT Cañar, INEC,2014.

Se ha determinado **3 tipos de coberturas de suelo**, predominando el 63% de vegetación arbustiva, seguida del 30% de pastizales y el 7% de vegetación herbácea, por lo tanto, para cada cobertura se obtuvo un coeficiente parcial.

Al aplicar la siguiente fórmula se obtiene el coeficiente de escorentía ponderado

$$C_p = \frac{\sum(C_i)(A_i)}{\sum A_i}$$

**Tabla 13** Coeficiente de Escorrentía en base a la cobertura.

<b>COBERTURA</b>	<b>Coeficiente Parcial</b>	<b>AREA (m)</b>	<b>Coeficiente Ponderado</b>
Pastizal (5 a 10%)	0,18	1.323	0.238
Pastizal (10 a 30%)	0,42	0,0118	0,005
Vegetación Arbustiva (5 a 10%)	0,18	0,00718	0,001
Vegetación Arbustiva (10 a 30%)	0,21	0,00622	0,001
Vegetación Herbácea (5 a 10%)	0,60	0,0003	0,0002
Vegetación Herbácea (10 a 30%)	0,72	0,0003	0,000216
<b>AREA</b>		1323,0258	238,1480
<b>COEFICIENTE DE ESCORRENTIA PONDERADO</b>			<b>0,180025</b>

Autor: Ing. Adriana Bravo. Fuente: PDOT Cañar, INEC,2014.

Luego de haber obtenido el valor de Intensidad de la lluvia, el cálculo del coeficiente de escorrentía, se procede a calcular el caudal de escorrentía aplicando el método racional con la siguiente fórmula. Dando como resultado un caudal de 1.23 m3/s

$$Q = C * I * A$$

**Tabla 14** Caudal de Escorrentía.

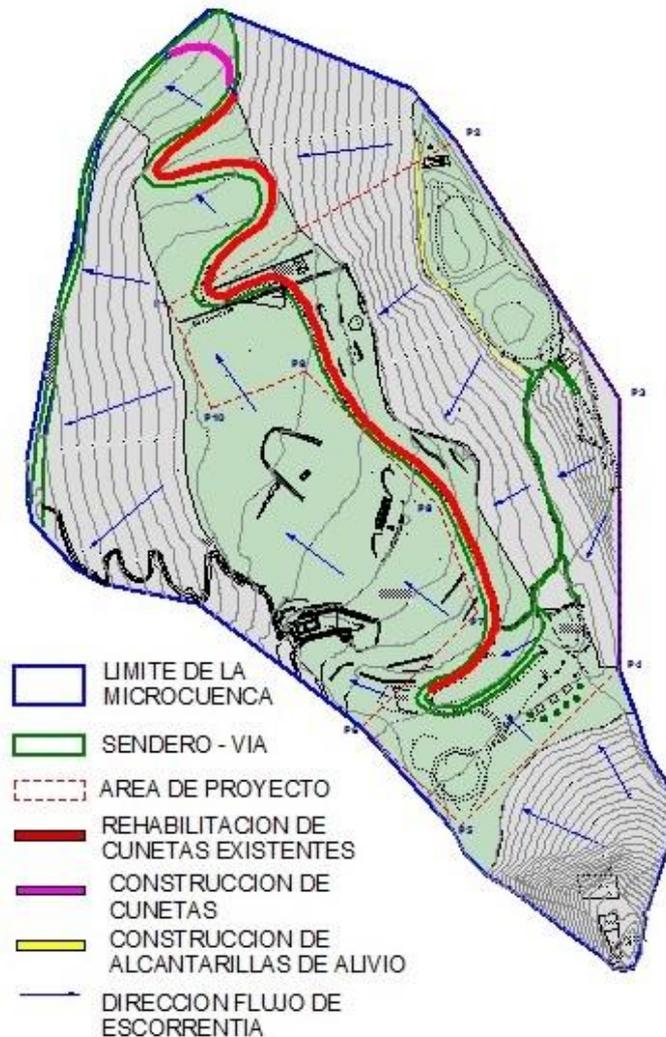
<b>Caudal de Escorrentía</b>		
<b>Coeficiente de Escorrentía</b>	0,18	m
<b>Intensidad</b>	1,87	mm/h
<b>Área</b>	1323	m
<b>Q</b>	<b>1,237005</b>	<b>m3/s</b>

Autor: Ing. Adriana Bravo Equipo Consultor

#### 4.1.5. UBICACIÓN DE OBRAS

- Uno de las soluciones es mantener la pendiente del camino en un sentido perpendicular unidireccional con dirección al borde del talud-este con el fin de garantizar la estabilidad de los vestigios arqueológicos presentes, y reducir el coste en mantenimiento de vías.
- Mantenimiento y apertura de las cunetas al borde del camino.
- Pasos de agua con cambio de dirección en los márgenes en base a una conexión hídrica con el fin de mantener una dirección en la escorrentía temporal a través de alcantarillas de alivio.

Como puede visualizar en el grafico 25



**Gráfico 25** Implementación de obras en la zona de estudio. Autor: Arq. Franklin Espinoza Equipo Consultor

## 5. CONCLUSIONES

Una vez realizado la labor de campo con observaciones directas y análisis matemáticos con el fin de conocer la dinámica hidrológica que se presenta en el complejo arqueológico Cojitambo se cuenta con la necesidad de la implementación de **medidas ambientales y obras civiles adicionales** que permitan precautelar el sendero de acceso y su área de influencia directa.

Para garantizar que no se presenten afecciones en las estructuras de los vestigios, se emplean varias técnicas de estabilización. De acuerdo a lo señalado por el documento Geotecnia en Construcción Especializada, elaborada por la Comisión Nacional del Agua de México (Ref. 42), los métodos de estabilización óptimos serían: **drenajes y barreras vegetales**.

Razón por lo que se ha previsto realizar esta **PROPUESTA DE CONTROL DE ESCORRENTIA EN ZONA ALTA DEL CERRO COJITAMBO**, para determinar las obras de drenaje, de protección de taludes y de recuperación paisajista, a fin de **mantener la capa de rodadura de la vía** existente y **proteger los taludes naturales aledaños al camino de acceso, como también a la zona arqueológica** en donde se encuentran los vestigios sobre la superficie del terreno y al talud ubicado frente al balcón de servicios

Se han definido **3 zonas de interés hidrológico-hidráulico**, cuyas áreas de aportación de caudales escurren actualmente hacia el área de estudio, las cuales presentan características particulares de conformación topográfica y vegetal. En estas zonas quedan definidas las formas de actuación e intervención dentro del proyecto.

Las zonas establecidas son las siguientes:

- Sector Mirador Roca - Explanada
- Sector Cabañas - explanada
- Sector Vestigios arqueológicos

Como parte de la solución se propone además establecer **drenajes para recolectar aguas de escorrentía superficial**, que atraviesen el área de las Ruinas y descarguen hacia la vía, consolidando y mejorando la estabilidad de las plataformas y muros, para evitar la saturación del depósito coluvial que se encuentra en la hondonada. Complementado con la **reconformación de las cunetas naturales existentes** y construcción de nuevas cunetas de camino de sección trapezoidal, de ser el caso.

Las cunetas de camino son estructuras de drenaje cuya función específica consiste en conducir la escorrentía superficial generada en la época de lluvias en los límites del camino y del talud de corte. Los sitios previstos para la reparación y construcción de cunetas son los que se identifican en el plano de implantación de obras (ver Gráficos **25 y 26**) y corresponde a la vía de entrada hacia la zona de los vestigios arqueológicos, la cual inicia desde la primera plataforma.



**Gráfico 26** Propuesta de cunetas y alcantarillas de alivio

Al ser un sitio de alta sensibilidad ambiental y arqueológica Las obras ambientales obtienen grandes beneficios con respecto al manejo de la escorrentía entre los que podemos destacar:

- Reduce la erosión, el arrastre de contaminantes y sedimentos
- Evita la acumulación excesiva de agua en charcas o cualquier otra estructura
- La vegetación ayuda a infiltrar la escorrentía y provee alimento y albergue para la vida silvestre de la finca
- Mantiene las estructuras y los alrededores secos
- Permite desviar el exceso del agua de lluvia de los terrenos en cosechas, comederos, corrales y charcas de almacenamiento a un lugar protegido.

Por lo tanto, las **barreras vegetativas** vienen siendo hileras de plantas de contorno, que interceptan y reducen la velocidad de la escorrentía, filtran los sedimentos y controlan la erosión en terrenos inclinados los beneficios que traen la implementación de barreras vegetativas son las siguientes:

- Conservan la capa fértil del predio cultivado
- Mejoran la fertilidad natural del suelo
- Reducen la cantidad de sedimento que llega a los cuerpos de agua.
- Dispersan uniformemente la escorrentía y evitan la erosión Las plantas que serán utilizadas para las barreras vegetales son las que se adaptan a una altitud máxima de 3020 msnm entre las que podemos destacar acacias, puma maqui, arrayan, cepillo rojo, cepillo blanco, farol chino, fresno flor amarilla, aliso entre otros que son plantas nativas de la región andina especialmente del cerro Cojitambo



## Bibliografía

- Alberti Arroyo, J. R., Canales Bernal, R. E., & Sandoval, B. H. (s.f.). TECNICAS DE MITIGACION PARA EL CONTROL DE DESLIZAMIENTO EN TALUDES Y SU APLICACION EN UN CASO ESPECIFICO. CIUDAD UNIVERSITARIA: UNIVERSIDAD DEL SALVADOR .
- De Matteis, A. F. (Agosto de 2003). Estabilidad de Taludes. *Geología y Geotecnia*.
- Gaspari , F. J., Rodríguez Vagaría, A. M., Senisterra, G. E., Denegri, G., Delgado, M. I., & Besteiro, S. (2012). Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. *Universidad Nacional de la Plata* .
- IGM. (s.f.). *Cartografía de Libre Acceso*. Obtenido de Geoportal IGM: <http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/descargas/cartografia-delibre-acceso/>
- Instituto Nacional de Defensa Civil INDECI. (2011). Manual de Estimación del Riesgo ante Movimientos en Masa en Ladera. Peru: . Dirección Nacional de Prevención.
- Lemus, M., & Navarro, G. (2003). Manual para el desarrollo de Obras de Conservacion de suelo. San Fernando: Corporacion Nacional Forestal.
- RECLAIMM. (s.f.). Programa de Fortalecimiento de Capacidades de Manejo del Riesgo por Deslave. AMERICA CENTRAL.
- Roura Ortega, M. (Abril de 2010). ESTUDIO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO DE LA INESTABILIDAD DEL SUELO QUE AFECTA AL COMPLEJO ARQUEOLÓGICO COJITAMBO, ESTABILIZACIÓN Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN. MAESTRÍA EN GEOLOGÍA APLICADA Y GEOTECNIA. Cuenca, Azuay, Ecuador: UNIVERSIDAD DE CUENCA.
- SNI. (2014). *Sistema Nacional de Informacion* . Obtenido de <http://sni.gob.ec/coberturas>