

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A6877

# EVALUACIÓN DE PELIGRO POR EROSIÓN DE LADERA EN EL SECTOR CÁRCAVA MUYUNA

Región Madre de Dios  
Provincia y Distrito Tambopata



ABRIL  
2019

## INDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>2</b>
<b>1.1 ANTECEDENTES Y TRABAJOS PREVIOS</b>	<b>2</b>
<b>1.2 OBJETIVOS</b>	<b>3</b>
<b>2. ASPECTOS GENERALES</b>	<b>3</b>
<b>2.1 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD</b>	<b>3</b>
<b>2.2 CLIMA Y VEGETACIÓN</b>	<b>4</b>
<b>3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS</b>	<b>4</b>
<b>3.1 PENDIENTE DE LOS TERRENOS</b>	<b>4</b>
<b>3.2 UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS</b>	<b>4</b>
<b>3.3 MORFOLOGÍA Y DINÁMICA FLUVIAL DEL RÍO MADRE DE DIOS</b>	<b>8</b>
<b>4. ASPECTOS GEOLÓGICOS</b>	<b>11</b>
<b>5. PELIGROS GEO-HIDROLÓGICOS</b>	<b>12</b>
<b>6. FACTORES CONDICIONANTES Y DETONANTES</b>	<b>23</b>
<b>7. MEDIDAS DE PREVENCIÓN/MITIGACIÓN</b>	<b>25</b>
<b>7.1 TRATAMIENTO INTEGRAL DE LA CÁRCAVA MUYUNA</b>	<b>25</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>31</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>31</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>33</b>

## **EVALUACIÓN DE PELIGRO POR EROSION DE LADERA EN EL SECTOR CARCAVA MUYUNA**

**(Distrito y provincia Tambopata, Departamento Madre de Dios)**

### **1. INTRODUCCIÓN**

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), como ente técnico-científico, incorpora dentro de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) a través de la ACT.7: Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional.

Su alcance contribuye con entidades gubernamentales en los diferentes niveles de gobierno (nacional, regional y local), a partir del reconocimiento, caracterización y diagnóstico de peligros geológicos en territorios susceptibles a movimientos en masa, inundaciones u otros peligros geológicos asociados a eventos hidrolimáticos, sísmicos o de reactivación de fallas geológicas, o asociados a actividad volcánica. Mediante esta asistencia técnica el INGEMMET proporciona una evaluación técnica que incluye resultados de la evaluación geológica-geodinámica realizada, así como, recomendaciones pertinentes para la mitigación y prevención de fenómenos activos o la generación de desastres futuros en el marco del Sistema de Gestión de Riesgo de Desastres.

Mediante Oficio N°083-2019-GOREMAD/ODNyDC, de fecha 15 de marzo del presente, representantes de la Oficina de Defensa Nacional y Defensa Civil de la región Madre de Dios, solicitaron una evaluación geológica de Puntos Críticos (Cárcava Muyuna). La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET, comisionó a los profesionales Guisela Choquenaira Garate y Katerin Ramirez Talavera, para realizar la respectiva evaluación geológica.

Dicha evaluación técnica, se basa en la recopilación y análisis de la información de trabajos realizados anteriormente por INGEMMET, la interpretación de imágenes satelitales, elaboración de mapas para trabajos en campo, adquisición insitu de datos de campo (fotografía y puntos GPS), cartografiado y redacción del informe.

Este informe, como instrumento técnico para la toma de decisiones, se pone a disposición del Instituto Nacional de Defensa Civil, autoridades y funcionarios competentes para la ejecución de medidas de mitigación y reducción de riesgo de desastre.

#### **1.1 ANTECEDENTES Y TRABAJOS PREVIOS**

Entre los principales estudios realizados en la zona de estudio se pueden mencionar:

- El estudio de Riesgo geológico en la región Madre de Dios (Ingemmet, 2015, Inédito) elaboró un informe sobre Zonas críticas por peligros geológicos en la región Madre de Dios (2015). En dicho informe se determinan 13 zonas críticas en la región, de las cuales cinco corresponden al distrito de Tambopata. El 72% de los eventos identificados son originados por inundación y erosión fluvial.

- El Proyecto INDECI –PNUD PER/02/051- CIUDADES SOSTENIBLES (2007), desarrolla un Mapa de Peligros para la ciudad de Puerto Maldonado, donde presentan como producto final la zonificación de peligros en cinco niveles de peligro múltiple en función a la ocurrencia y magnitud de los fenómenos naturales de origen geológico, geotécnico, climático. Asimismo, identifican 20 cárcavas en la ciudad de Puerto Maldonado, a lo largo del perímetro del acantilado fluvial de los ríos Madre de Dios y Tambopata. Entre ellas, la “Cárcava Muyuna” está catalogada como zona de peligro muy alto con intensa producción de erosión fluvial, derrumbes y deslizamientos.

## 1.2 OBJETIVOS

- Evaluar e identificar los peligros hidrológicos que afectan viviendas y obras de infraestructura en ambas márgenes de la Cárcava Muyuna; así como las causas de su ocurrencia.
- Proponer obras de mitigación para contribuir en la Gestión de Riesgo de Desastres.

## 2. ASPECTOS GENERALES

### 2.1 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

La Cárcava Muyuna está ubicada en el distrito y provincia de Tambopata, departamento Madre de Dios (figura 1), en la margen derecha del río Madre de Dios; entre las siguientes coordenadas UTM (WGS 84) X: 480551 E; Y: 8607922 N, y a una altitud de 148 m s.n.m.

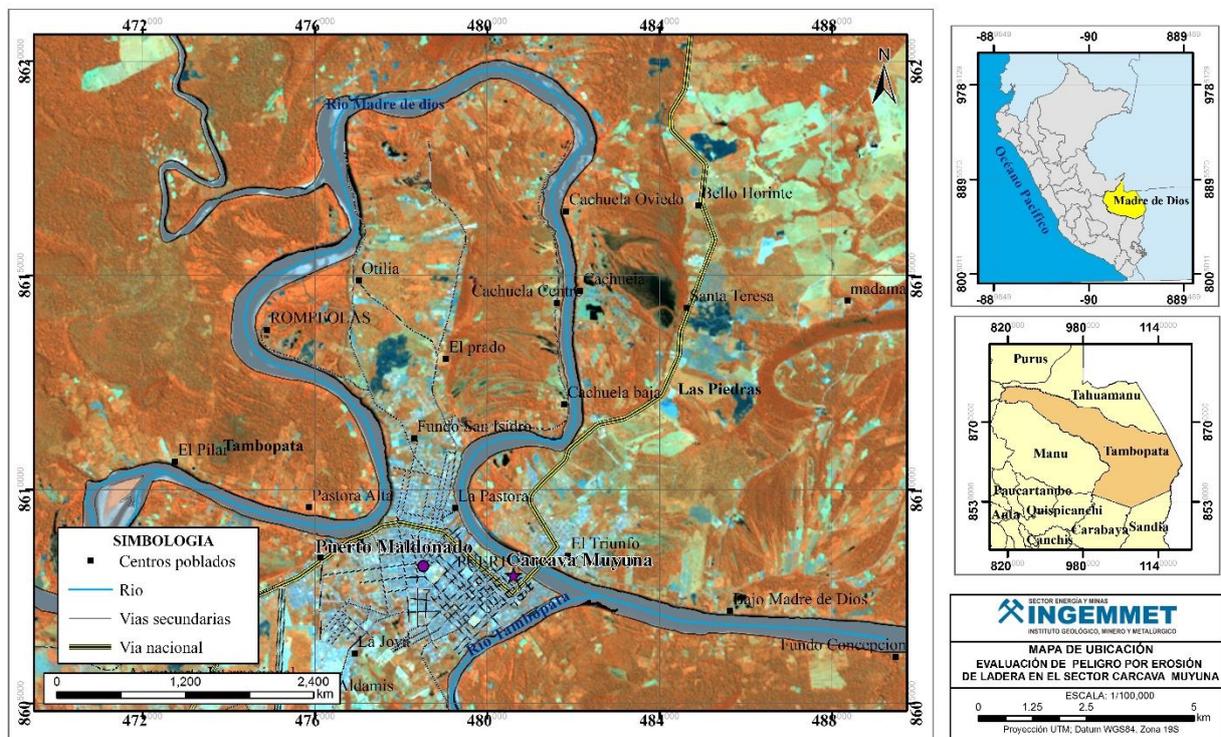


Figura 1: Mapa de ubicación de la Cárcava Muyuna.

La ciudad de Puerto Maldonado es accesible por vía aérea y terrestre.

La vía terrestre es el principal acceso para la entrada y salida de productos y abastecimiento de la población; la principal vía es la carretera Cuzco-Marcapata, Quincemil-Mazuco-Puerto Maldonado, que recorre 478 km por la vía Interoceánica sur. El área de estudio (Cárcava Muyuna) es accesible por la avenida Cusco con Ernesto Rivero, en dirección Este, al río Madre de dios.

## **2.2 CLIMA Y VEGETACIÓN**

Tomando como referencia la clasificación de Holdridge, la ciudad de Puerto Maldonado al ubicarse en la selva baja presenta un clima de tipo tropical Cálido y Húmedo: Bosque Húmedo Tropical. La precipitación total anual media para la región es de 2,000.00 mm (2000 l/m<sup>2</sup>); las máximas precipitaciones ocurren entre los meses de diciembre a marzo, período en que las lluvias son frecuentes e intensas y pueden durar varias horas. Las temperaturas son altas durante todo el año, superando los 29°C en Puerto Maldonado. Por las noches, el tiempo es generalmente fresco, y las temperaturas mínimas promedio oscilan entre 18° y 22° C.

La vegetación en el área circundante a la cárcava Muyuna comprende árboles y pastizales propios del lugar como: castañuelas, platanales, cetico, árbol de Mango, Zapote, Mucuna, entre otros.

Cabe indicar que la existencia de árboles de Plátano, Coco y Naranja en la cabecera y zonas de pendiente suave en ambas márgenes de la cárcava generan cierta estabilidad de sus laderas.

## **3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS**

Morfológicamente la ciudad de Puerto Maldonado está ubicada sobre una superficie plana disectada por los ríos Madre de Dios y Tambopata, ambos de tipo meandriforme. Desde el punto de vista morfo-estructural se ubica sobre la Llanura Amazónica.

La zona evaluada en particular, se caracteriza por presentar geoformas de carácter deposicional o agradacional.

### **3.1 PENDIENTE DE LOS TERRENOS**

Un aspecto importante en la clasificación de las unidades geomorfológicas, además del relieve, es la pendiente de los terrenos. La Cárcava Muyuna conforma laderas con pendientes que varían entre media y fuerte (>30°), el cual facilita la erosión de las mismas.

### **3.2 UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS**

La diferenciación de unidades geomorfológicas considera como criterio la homogeneidad de la litología y aspectos del relieve en relación a la erosión y sedimentación ocurridos a lo largo de su historia geológica (relacionados al clima húmedo y cálido, vegetación densa y presencia de ríos meándricos, fundamentalmente).

Se identificaron geoformas en función a la altura relativa y pendiente: 1) Planicies y 2) Geoformas particulares (Cuadro 1).

Estas geoformas son resultado del conjunto de procesos geomorfológicos constructivos, determinados por fuerzas de desplazamiento, como por agentes móviles, tales como: el agua de escorrentía, los cuales tienden a nivelar la superficie de la tierra, mediante el depósito de materiales sólidos resultantes de la denudación de terrenos más elevados.

<b>Unidades geomorfológicas de carácter deposicional y agradacional</b>		
Unidad	Sub unidad	
Planicies	Llanura o planicie disectada aluvial	Pld-al
	Terraza aluvial	T-al
	Complejo de orillares meándricos antiguo	Com-a
	Complejo de orillares meándricos reciente	Com-r
	Sistema de pantanos y aguajales	Sp
Geoformas Particulares	Meandro abandonado	Ma
	Cauce del río	Río

*Cuadro 1. Unidades geomorfológicas*

A continuación, se describe las unidades geomorfológicas, detallando su ubicación y distribución geográfica (figura 2).

**Unidad de planicies**

Una llanura o planicie es un espacio geográfico con poca o ninguna variación en la altitud de la superficie o terreno respecto al nivel del mar.

Llanura o planicie disectada aluvial (Pld-al): Conformada por superficies planas, disectadas y onduladas, originada por los procesos morfodinámicos fluviales y pluviales a través del tiempo. La ciudad de Puerto Maldonado se encuentra asentada sobre gran parte de esta planicie disectada aluvial.

Esta subunidad geomorfológica está expuesta a peligros geo-hidrológicos, principalmente a inundaciones periódicas. Otro tipo de proceso que ocurre es la erosión fluvial producto de la dinámica de los ríos, intensas precipitaciones, depósitos inconsolidados, la deforestación y la intervención del hombre debido al desfogue de aguas residuales.

Terraza aluvial (T-al): Conforman áreas de terreno plano, adyacentes a la llanura de inundación o del lecho principal de los ríos Madre de Dios y Tambopata, con altura relativamente marcada.

Complejo de orillares meándricos antiguo (Com-a): Superficie caracterizada por la presencia de un conjunto de orillares de meandros abandonados o cauces de ríos antiguos; se encuentra cubierta por abundante vegetación y su morfología es poco visible.

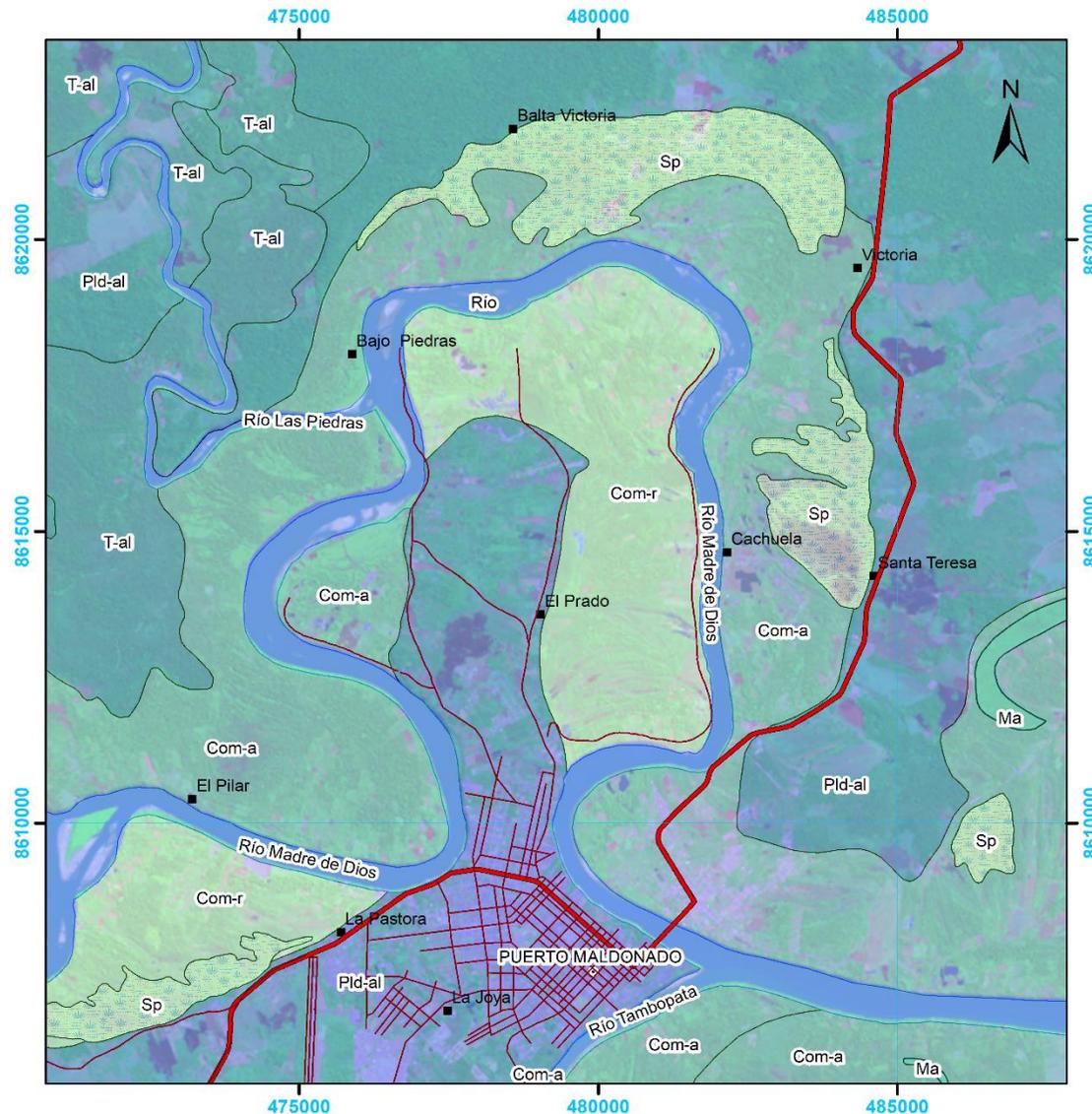
Esta subunidad agrupa al complejo de orillares antiguos de antiguos cauces de los ríos Madre de Dios, Tambopata y Las Piedras.

Complejo de orillares meándricos reciente (Com-r): Son huellas dejadas por los ríos Madre de Dios, Tambopata y Las Piedras; se presentan como barras semilunares (restingas), originadas por los sedimentos acarreados por sus aguas. Esta subunidad geomorfológica está expuesta a peligros geo-hidrológicos, principalmente a inundaciones por la corriente de los ríos Madre de Dios, Tambopata y Las Piedras, durante los meses de mayor precipitación.

Sistema de pantanos y aguajales (Sp): Las condiciones de saturación de estos suelos se producen por la acumulación de aguas pluviales, así como por efectos de inundación y desborde de aguas fluviales en planicies deprimidas, conocidas como áreas hidromórficas (inundadas la mayor parte del año) de material arcilloso subyacente que impide el escurrimiento de las aguas.

#### **Unidad de geformas particulares**

Meandro abandonado (Ma) : Esta sub unidad se refiere a pequeñas lagunas de origen fluvial, similar a la letra “U” o de forma semicircular o en media luna. Son antiguos cauces o brazos del río Madre de Dios que han quedado separados del cauce actual debido al estrangulamiento de una de las curvaturas, cuando el río tiende a erosionar, se estrecha la curva y hace de su cauce más recta (**figura 3**).



**UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS**

Unidad	Sub Unidad	
Planicies	Llanura o planicie disectada aluvial	Pld-al
	Terraza aluvial	T-al
	Complejo de orillares meándricos antiguo	Com-a
	Complejo de orillares meándricos reciente	Com-r
	Sistema de pantanos y aguajales	Sp
Geoformas Particulares	Meandro abandonado	Ma
	Cauce del río	Río

**SIMBOLOGIA**

- Capital
- Poblados
- Vía Asfaltada
- - - Vía Afirmada

SECTOR ENERGÍA Y MINAS  
**INGEMMET**  
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

**GEOMORFOLOGÍA**  
**EVALUACIÓN DE PELIGRO POR EROSIÓN DE LADERA EN EL SECTOR CARCAVA MUYUNA**

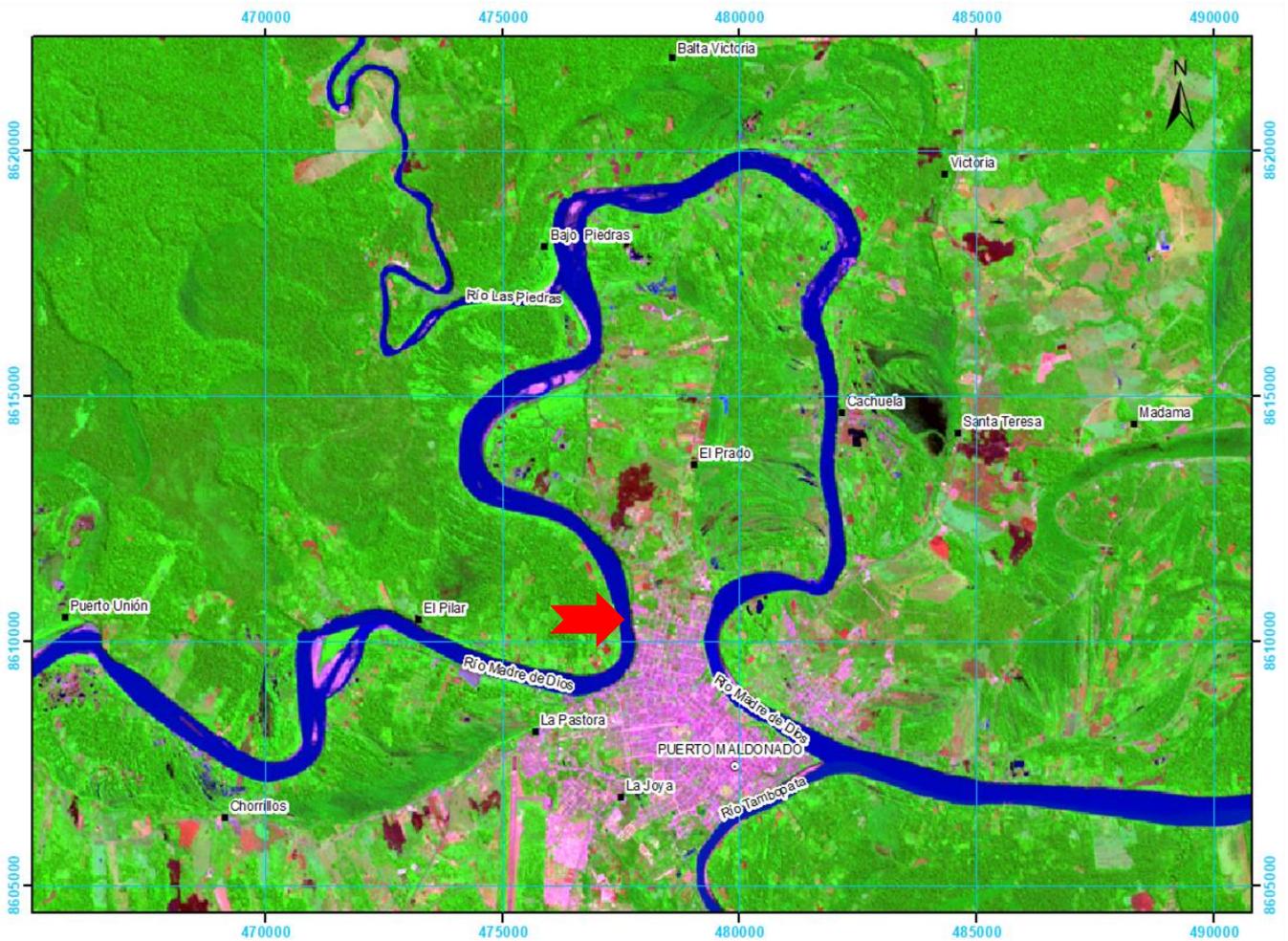
ESCALA: 1/100,000

0 1.25 2.5 5 7.5 Km  
 Proyección UTM; Datum WGS84, Zona 19S

### 3.3 MORFOLOGÍA Y DINÁMICA FLUVIAL DEL RÍO MADRE DE DIOS

La morfología dinámica de los ríos Madre de Dios, Tambopata y Las Piedras son catalogados como meandriforme (figura 4). Aguas abajo de la ciudad de Puerto Maldonado el río Tambopata se llega a unir con el río Madre de Dios, formando un solo río, denominado Madre de Dios.

Actualmente estos ríos se encuentran en diferentes fases en el desarrollo de meandrificación, es decir erosión y sedimentación. El río Madre de Dios se encuentra en la Fase IV del proceso evolutivo (figura 6).



*Figura 4. Imagen Satelital del Estrangulamiento de meandro en el río Madre de Dios. Puerto Maldonado.*

En la margen derecha del río Madre de Dios se presentan procesos por movimientos en masa (deslizamientos antiguos y recientes) y peligros hidrológicos (erosión fluvial, erosión de ladera e inundación fluvial) producto de la dinámica fluvial del río.

Un claro ejemplo de erosión fluvial, a causa de la formación de un meandro, se tiene en el sector La Pastora. Afectó un área de 60 metros, poniendo en peligro la integridad de la infraestructura del tramo 3 de la Carretera Interoceánica Sur y con ello la conectividad de las poblaciones de Madre de Dios con el resto del país (figura 4). Además, si la

erosión continúa el cauce podría cambiar de curso y dejar un meandro abandonado (figura 5). En la actualidad el cuello del meandro mide aproximadamente 1440 m (Ingemmet, 2015).

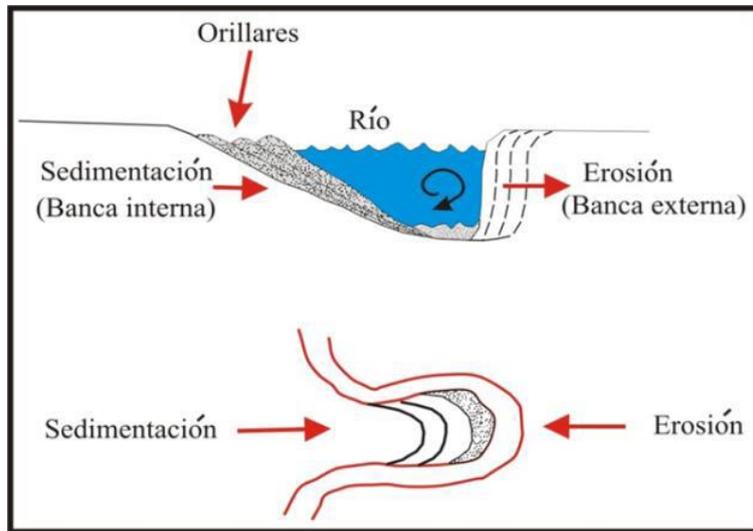
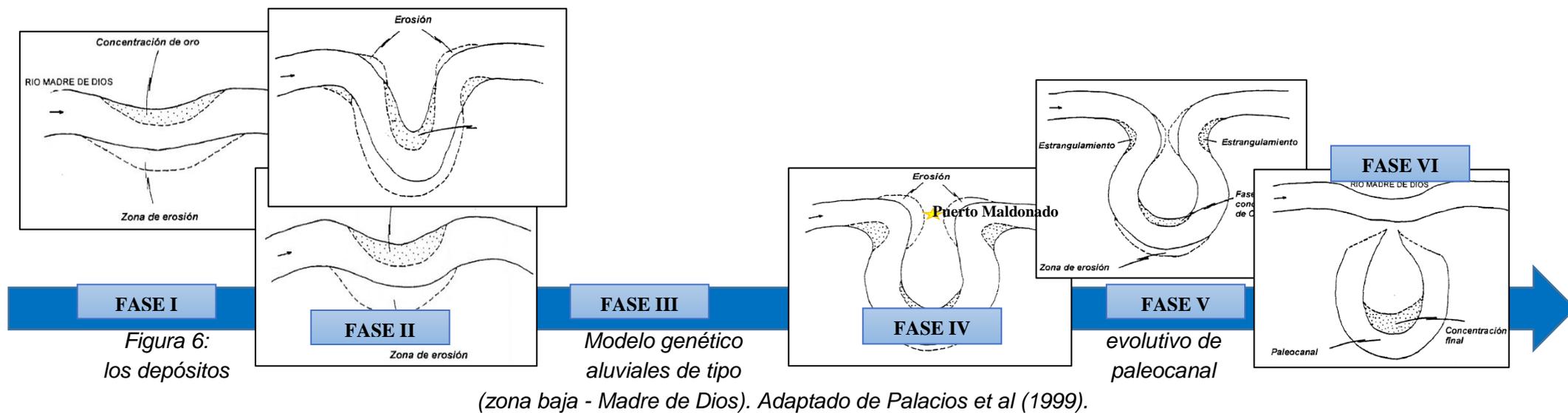


Figura 5. Desarrollo de orillares en una llanura meándrica. Tomado de Núñez & Medina (2008)



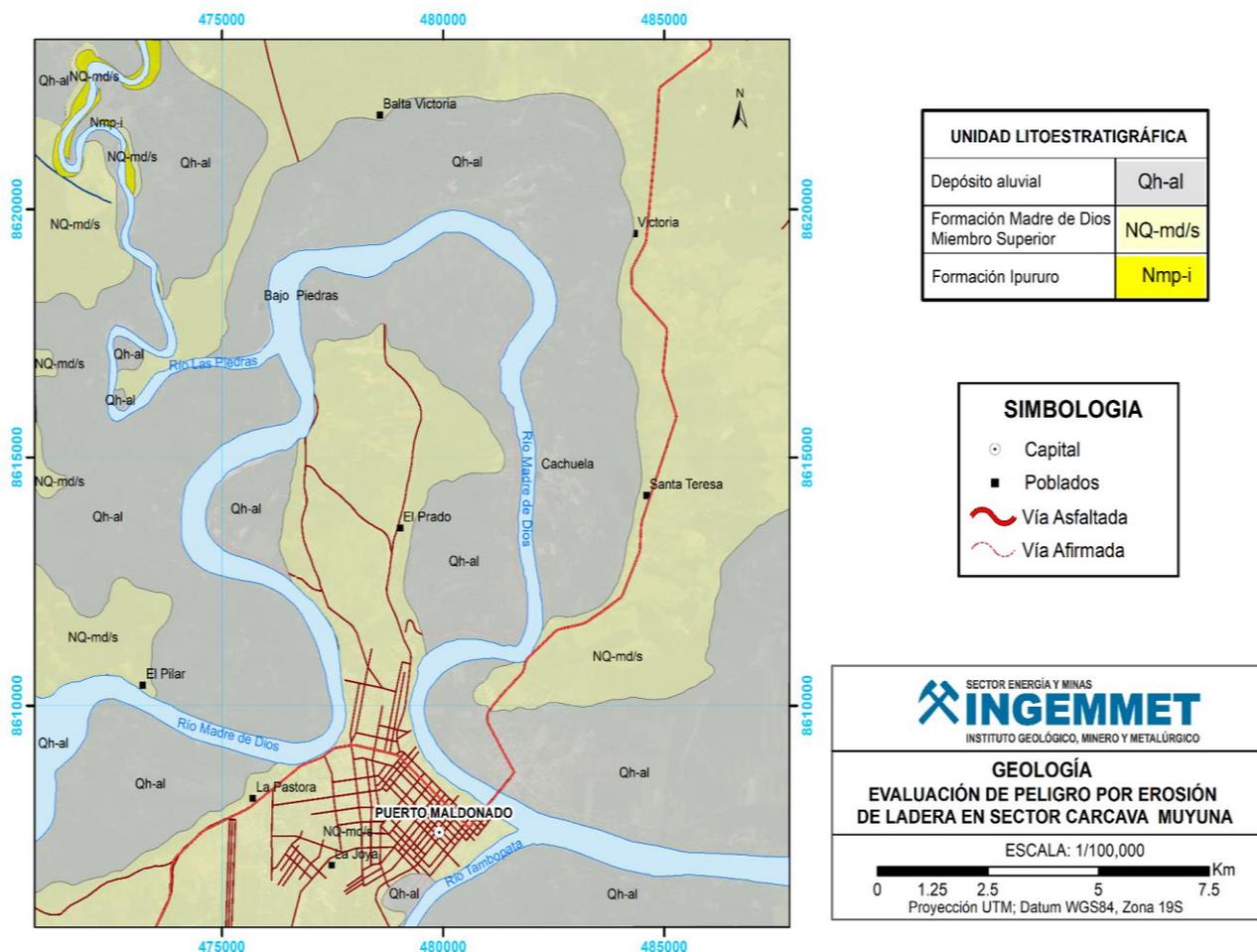
## 4. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico se realizó en base a la carta geológica del cuadrángulo de Puerto Maldonado (26y; Palacios *et al.*, 1996) y el mapa integrado (2017). El área de estudio está conformada por afloramientos de rocas sedimentarias del Cenozoico, Formación Ipururo, Formación Madre de Dios Superior y depósitos aluviales del Cuaternario (figura 7)

**Formación Ipururo (Nmp-i):** Palacios *et al.* (1996) describe a esta unidad como areniscas feldespáticas y lutitas grises. Localmente constituye niveles lenticulares de conglomerados con restos de materia orgánica. La formación Ipururo aflora en el río las Piedras al extremo noroeste, emplazado sobre terrazas aluviales

**Formación Madre de Dios Superior (NQ-md/s):** Está conformada por conglomerados con clastos blandos intercalados con arenas y arcillas color gris amarillento, hacia la parte superior comprende areniscas masivas y arcillas rojas. El área de estudio se encuentra emplazada en la Formación Madre de Dios Superior, con espesores que alcanzan los 20 m aproximadamente, constituido principalmente por areniscas y arcillas rojizas (material de fácil remoción ante agentes erosivos, como el agua).

**Depósito Aluvial (Qh-al):** Constituido por gravas y arenas mal seleccionadas en matriz limo arcillosa y materiales residuales no consolidados, se ubican en llanuras donde se forman los complejos de orillares y meandros abandonados, así como en terrazas aluviales.



## 5. PELIGROS GEO-HIDROLÓGICOS

### 5.1 Erosión de laderas (cárcavas)

Las cárcavas son canales producto de la erosión que genera el agua; al profundizarse y ampliarse los surcos de erosión se convierte en cárcavas, las cuales actúan como cauces de concentración y transporte de agua y sedimento.

**Sector Cárcava Muyuna (figura 10):** La cárcava Muyuna tiene una profundidad de 20 m aproximadamente, la erosión retrogresiva de sus márgenes ha generado un ancho de 120 m en la zona más amplia. La longitud desde la cabecera de la cárcava hasta la desembocadura en el río madre de dios es de 390 m (figura 8).

El drenaje de la cárcava Muyuna presenta un perfil tipo “U”, en su parte más amplia presenta 15 m de ancho. El canal de drenaje revestido tiene una longitud de 275 m (fuente AFEP MMD) Y 105 m sin revertir, el cual constituye un total de 380 m.



*Figura 8: Dimensiones de la Cárcava Muyuna.*

La mayoría de las cárcavas son causadas por actividades antrópicas. Un caso común de cárcavas es la concentración de aguas originada por las alcantarillas de calles y avenidas.

La Cárcava Muyuna es una de las emisoras con la que cuenta la ciudad de Puerto Maldonado, donde se concentra las aguas pluviales del alcantarillado, agua y desagüe de las avenidas Cusco, Ernesto Rivero y los jirones Puno y Moquegua (Figura 9).

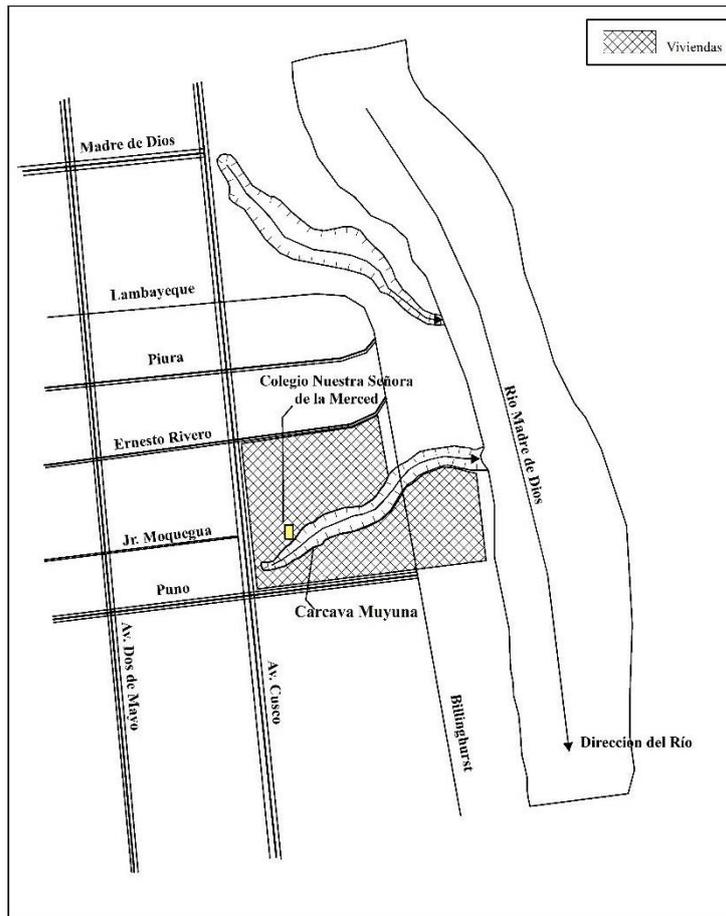


Figura 9: Diseño representativo de la Cárcava Muyuna. Adaptado de Suarez (1996).

### Margen izquierda de la cárcava

En periodos de intensas precipitaciones, la escorrentía superficial aumenta significativamente, generando un aumento progresivo de la capacidad de erosión en las paredes de la cárcava.

La erosión ha modificado en forma casi geométrica las laderas de la cárcava, por consecuencia va dejando inestables áreas de terreno. Como es el caso de las viviendas ubicadas en la calle Daniel Alcides Carrión, ante las intensas precipitaciones registradas el 2016, la ladera colapsó generando la ruptura del canal de entrega y un talud casi recto  $-90^\circ$  (foto 1).

El proceso erosivo continuará de seguir vertiendo las aguas de desagüe y alcantarilla a la ladera.



Foto 1: Vista de viviendas ubicadas a 30 cm al borde de la cárcava.

A causa de la ruptura del canal de entrega, en la zona baja de la ladera se instaló un calaminón de 3 m de ancho (foto 2) que conecta al canal receptor de la cárcava, con el fin de atenuar la erosión del suelo que genera la alcantarilla y las tuberías de agua y desagüe.



Foto2: Vista del calaminon colocado bajo la tubería de alcantarilla.

En el área circundante a la cárcava Muyuna se tiene infraestructura de gran importancia para la provincia de Tambopata. Entre ellos se cita al colegio Nuestra

Señora de las Mercedes, la cual se encuentra situado a 6 m de la margen izquierda (foto 3), zona de susceptibilidad muy alta al avance lateral de la cárcava.



*Foto 3: Vista del colegio Nuestra Señora de la Merced.*

La tubería de agua residual y desagüe del colegio (olor fétido) se encuentra en pésimas condiciones; así mismo el canal de alcantarillado presenta rajaduras (foto 4); ante intensas precipitaciones, la fuerza del caudal podría romper la estructura.



*Foto 4: Vista de las condiciones en la que se encuentra en canal de alcantarillado, tubo de agua y desagüe del colegio Nuestra Señora de la Merced.*

La dinámica de formación de la cárcava Muyuna es compleja, debido a la ubicación de viviendas al borde de las márgenes de la cárcava (foto 5). Cabe precisar que algunas viviendas ubicadas al límite de la cárcava cuentan con obras de mitigación como bolsacretos en las laderas y zanjas de coronación (foto 6), los cuales atenúan el proceso erosivo de la cárcava.



*Foto 5: Viviendas ubicadas al límite de la cárcava.*



*Foto 6: Vista de bolsacretos y zanjas de coronación*

El vertimiento de aguas residuales y las tuberías de desagüe (foto7) acelera el proceso de erosión en ambas márgenes de la cárcava.



*Foto 7: Salida de la tubería de aguas residuales y desagüe hacia el escarpe de la cárcava.*

### **Margen derecha**

En la margen derecha muestran menor estabilidad, la fuerte pendiente que los constituye favorece la ocurrencia de pequeños derrumbes en su escarpe.

La construcción de canales de entrega hacia el canal receptor (foto 8) a la altura del Jr. Daniel Alcides Carrión, disipan la erosión que genera las aguas pluviales.



*Foto 8: Canal de entrega.*

Si bien, el vertimiento de agua y desagüe, se da en menor proporción, la falta de vegetación con raíces profundas hacia su escarpe es escasa. A unos metros de la

cabecera de la cárcava se ha colocado muros de bolsacretos de 2 m de altura (foto 9), los cuales han estabilizado en cierta forma esa zona.



*Foto 9: Vista de bolsacretos en la margen derecha de la cárcava.*

En el 2016, producto de las intensas precipitaciones, colapsaron 3 m de terreno a la altura de la comisaria de Puerto Maldonado. El colapso provocó el desplome del servicio higiénico de una vivienda.

Asimismo, se observa una vivienda construida sobre parte del escarpe de la cárcava (foto 10), la parte posterior de la vivienda esta alzada sobre columnas de concreto. De presentarse intensas precipitaciones, se produciría erosión de ladera y pérdida de la estabilidad de talud, generando el colapso de la vivienda (foto 11).



*Foto 10: Vista de una vivienda al borde de la cárcava. La parte posterior de la vivienda se encuentra soportada sobre columnas de concreto.*



*Foto 11: Ruptura de estructuras debido a la inestabilidad de la ladera y a la falta de cimentación sobre un terreno estable.*

La evaluación geológica in situ permitió identificar las condiciones de las tres partes principales de la Cárcava Muyuna:

- Erosión en el fondo de la cárcava – Estable (foto 12)
- Erosión lateral o ampliación de la cárcava – Avance retrogresivo (foto 13)
- Erosión en la cabeza o avance hacia arriba de la cárcava -Estable (fotos 14 y 15)



*Foto 12: Canal receptor de la Cárcava Muyuna.*



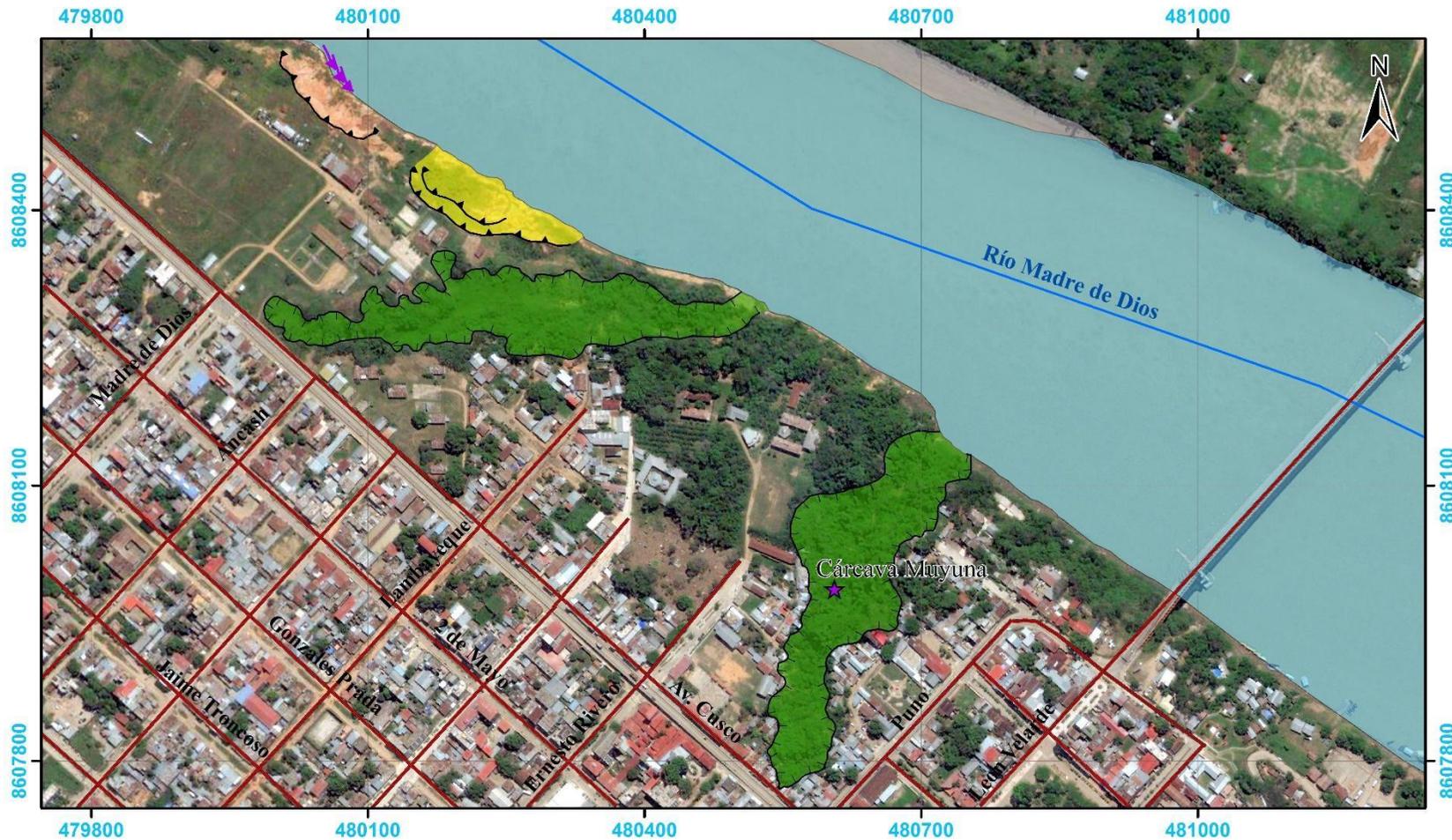
*Foto 13: Margen derecha, avance retrogresivo en la cárcava.*



*Foto 14: Cabecera de la Cárcava Muyuna*



*Foto 15: Cara frontal del canal colector de aguas pluviales, construido en la cabecera de la cárcava.*



**LEYENDA**

-  Erosión de fluvial
-  Erosión de ladera
-  Deslizamiento

**SIMBOLOGIA**

-  Cárcava Muyuna
-  Río Madre de Dios
-  Vías de acceso
-  Erosión
-  Cauce del río

SECTOR ENERGÍA Y MINAS  
**INGEMMET**  
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

**MAPA DE PELIGROS  
 EVALUACIÓN DE PELIGRO POR EROSIÓN  
 DE LADERA EN EL SECTOR CARCAVA MUYUNA**

ESCALA: 1/5,000

0 0.075 0.15 0.3 km

Proyección UTM; Datum WGS84, Zona 19S

## 6. FACTORES CONDICIONANTES Y DETONANTES

Entre los factores condicionantes tenemos:

### **Factor litológico**

Por influencia litológica. Al existir una roca de mala calidad geotécnica, de fácil remoción ante intensas precipitaciones pluviales. La unidad geológica corresponde a las areniscas masivas y arcillas rojas, denominados Formación Madre de Dios.

### **Factor geomorfológico**

La morfología del terreno tiene gran influencia en la erosión de laderas (carcavamiento), y erosión fluvial. La fuerte pendiente (>30°) que constituyen las laderas de la cárcava favorecen la ocurrencia de la escorrentía pluvial, originando la profundización y ensanchamiento de la cárcava (desprendimiento y remoción paulatina del suelo).

Asimismo, en relación a la susceptibilidad a las inundaciones y erosión fluvial, gran parte de la provincia de Tambopata está ubicada sobre terrenos planos y plano ondulada, que conforman planicies aluviales y terrazas: controlados por la dinámica fluvial de los ríos Madre de Dios y Tambopata; estando expuestos a la ocurrencia de inundaciones periódicas en época de intensas precipitaciones.

Entre los factores detonantes tenemos.

### **Factor climático-precipitaciones**

La provincia Tambopata por su clima tropical, soporta intensas lluvias en épocas de verano (diciembre a marzo) razón por la cual, la ciudad se ve afectada por erosión de laderas (en terrenos con suelos susceptibles a erosión) y terrenos morfológicamente susceptibles a inundación fluvial (por desborde de los ríos) o por inundación pluvial (zonas depresionadas o cóncavas con deficiencia de drenaje).

### **Factor hidrológico-hidráulico (evacuación de agua de lluvia)**

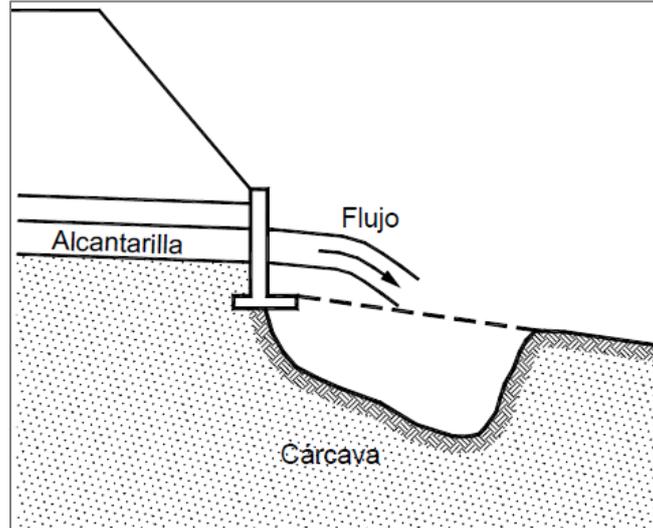
Las aguas de escorrentía en la ciudad de Puerto Maldonado (que soporta al estar ubicada en una zona muy lluviosa), están siendo controlados por canales pluviales y alcantarillas. Sin embargo, en épocas de intensas precipitaciones estos canales son insuficientes y colapsan, generando inundación en ciertas partes cóncavas o depresionadas de la ciudad.

### **Factor antrópico (Urbanismo inadecuado).**

En la zona de estudio la generación de cárcavas es debido a la concentración de flujos de escorrentía que se genera en las vías (imagen 11) y otras obras de urbanismo, como tuberías de desagüe (foto 16).

Así mismo la ubicación de viviendas al borde de la Cárcava Muyuna está generando el avance retrogresivo de la cárcava.

Es importante resaltar que la principal causa del mal estado y deficiente funcionamiento del sistema de drenaje de la ciudad de Puerto Maldonado se debe a la falta de mantenimiento de las redes de drenaje, sobre todo en época de lluvia que arrastra consigo material de suspensión, el cual genera atoros, inundaciones y colapso de las tuberías por saturación en diversos sectores de la ciudad.



*Imagen 11: Zona de erosión en entregas de alcantarillas.*



*Foto 16: A) Tuberías de aguas residuales y desagüe son vertidos a la ladera de la cárcava Muyuna (margen derecha de la cárcava). B) Algunas de las tuberías de agua y desagüe van directamente al canal receptor de la cárcava.*

## 7. MEDIDAS DE PREVENCIÓN/MITIGACIÓN

### 7.1 TRATAMIENTO INTEGRAL DE LA CÁRCAVA MUYUNA

Las cárcavas se generan por la velocidad excesiva de corrientes concentradas. El control de la erosión en cárcavas incluye obras para el control de escorrentía, control del fondo de la cárcava y protección de la superficie del talud.

Se propone un programa para control y manejo de la erosión en cárcavas, haciendo énfasis, desde la perspectiva técnica, en aquellos tratamientos catalogados genéricamente como bioingeniería. Una revisión e ello pretende, de manera sintética, aportar información útil a técnicos y profesionales involucrados en la gestión del territorio y de sus recursos naturales, para la toma de decisiones relativas al control de la erosión en cárcavas (León J).

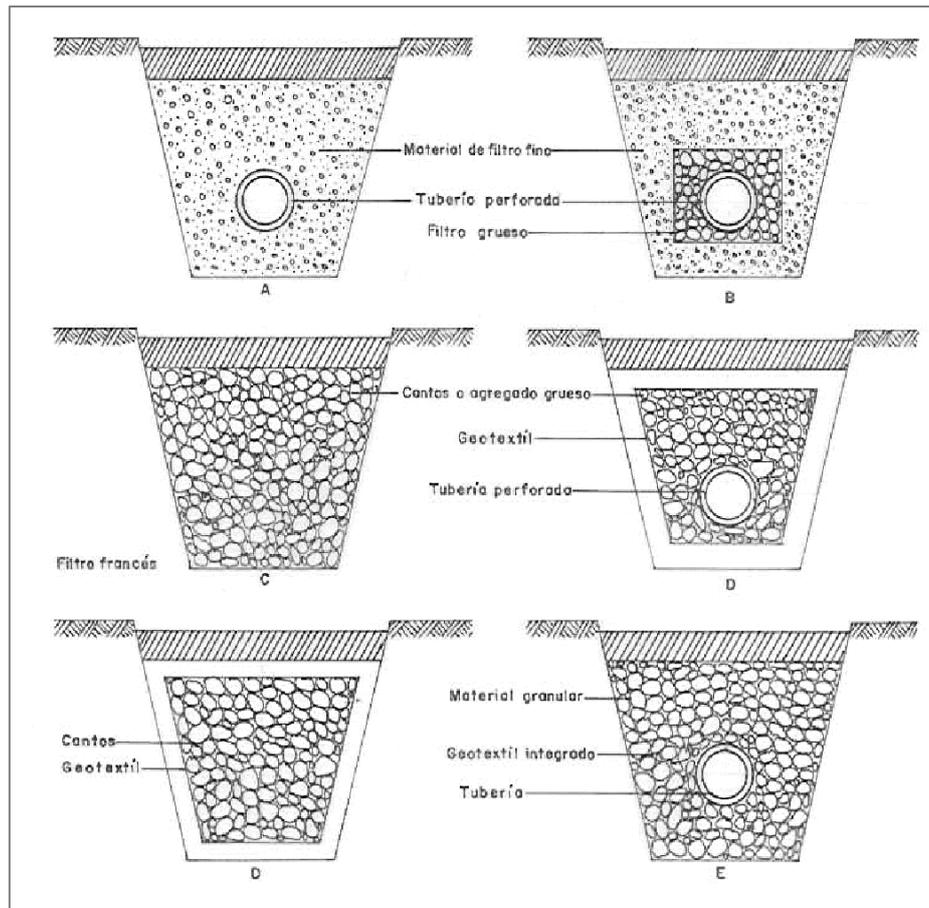
De acuerdo a la caracterización de la Cárcava Muyuna, se recomienda un Programa de Control, a partir de seis apartados temáticos, intentando incorporar así, de manera integral y articulada, las variables que participan en el proceso erosivo, según arreglo a estrategias de intervención: aislamiento físico, control del agua subsuperficial, control del agua de escorrentía, remodelo del terreno, construcción de obras transversales, e incorporación de material vegetal.

#### i. **Aislamiento Físico.**

Tiene por objeto evitar el acceso al área de la Cárcava Muyuna, de agentes cuya presencia pudiera resultar contraproducente para los fines perseguidos, caso de asentamientos humanos. Es común el empleo de cercos en alambre de púas, con estacones de 3 a 4 pulgadas de diámetro y 2,20-2,40 m de longitud, preferiblemente inmunizados y enterrados 50 cm, previo esparcimiento de brea o algún otro impermeabilizante en la porción en contacto directo con el suelo.

#### ii. **Control del Agua Subsuperficial.**

Busca controlar la presión producida por las aguas subsuperficiales y regular las fluctuaciones del nivel freático, brindando estabilidad y garantizando la permanencia de las obras que se adelanten en la superficie del terreno, así como mejorando la aireación del suelo a favor de las coberturas vegetales; este control se hace a través de filtros o subdrenes interceptores, consistentes en zanjas rellenas de material filtrante y elementos de captación y transporte de agua. Existen diferentes tipos (Suárez, 1992): con material de filtro y tubo colector; con material grueso permeable sin tubo (filtro francés); con geotextil como filtro, material grueso y tubo colector; con geotextil, material grueso y sin tubo; y tubo con capa gruesa de geotextil alrededor (Figura 12).



*Figura 12: Tipos de subdrenes interceptores (Adaptado de Suárez, 1992)*

La elección del tipo de dren interceptor, estará en función del presupuesto y materiales disponibles, así como de las necesidades de captación y caudal del dren; dentro de las limitaciones e implicaciones en su manejo (Suárez, 1989), se destaca la tendencia al taponamiento, producto del transporte y deposición de las partículas más finas del suelo, razón por la cual debe ser muy cuidadosamente escogido el material de filtro, y el tipo y calidad de geotextil a utilizar. Asimismo, es necesario prestar especial atención a las plantas, ya que invaden los drenes, al taponar los orificios de drenaje.

El sellado de grietas es otra actividad de gran importancia, en la búsqueda del control del agua y estabilidad del terreno; con ella se previene la penetración del agua a través de grietas existentes en la superficie del terreno, y su posterior contacto con el subsuelo, el cual favorecería eventualmente la ocurrencia de derrumbes en cercanías a las cabeceras de las cárcavas.

### iii. Control del Agua de Escorrentía.

La desviación del escurrimiento de la cabecera de la cárcava, es fundamental para el control de su crecimiento; la forma más común de controlar el agua de escorrentía ha sido mediante la construcción de estructuras de captación llamadas zanjas (figura 13), canalículos o acequias, que cortan el recorrido del flujo de agua sobre el terreno, disponiéndolo más rápidamente y en forma adecuada, a un canal natural u otra estructura receptora sin que se produzca erosión (figura 14).

La estructura más común es la zanja de coronación o canal de corona, la cual se dispone en la parte superior a una distancia prudencial; debe estar impermeabilizada y verter sus aguas a un canal principal, el cual, en condiciones de alta pendiente, se acompaña de estructuras que disipan la energía alcanzada por las aguas en su recorrido, caso de pantallas deflectoras, canales escalonados o enrocados.

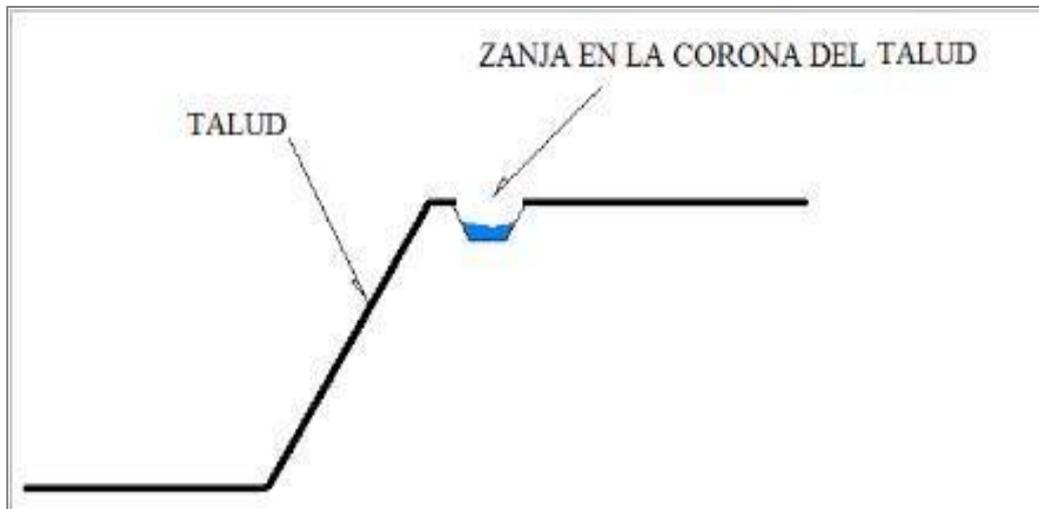


Figura 13: Zanja de coronación, la cual se dispone en la parte superior del talud.

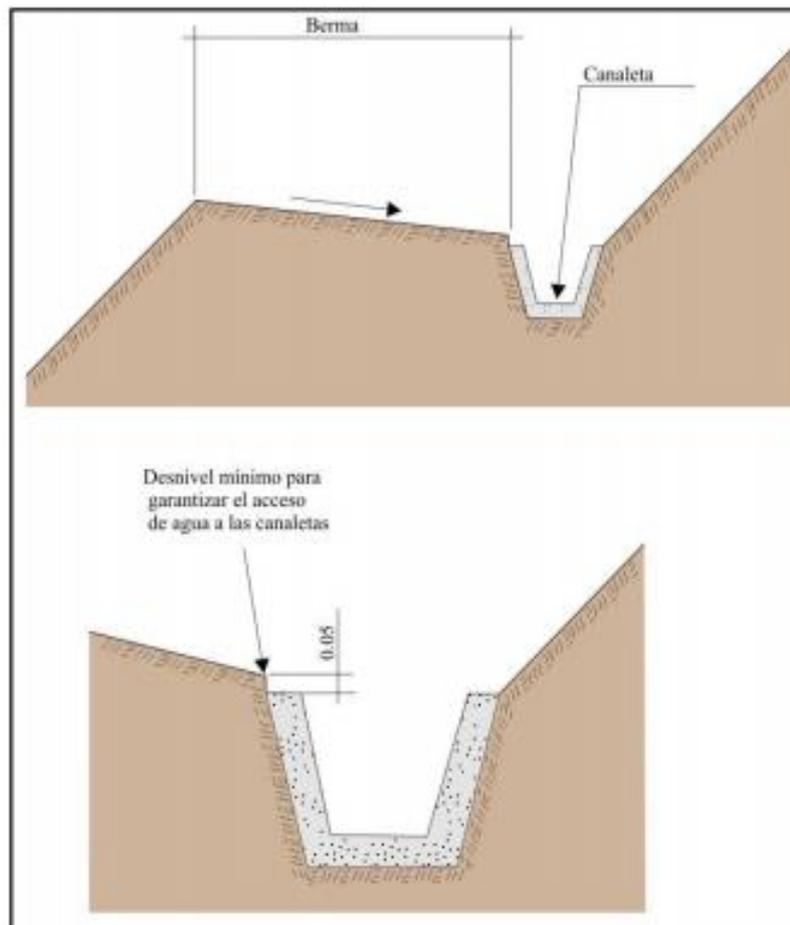


Figura 14: Detalle de una canaleta de drenaje superficial.

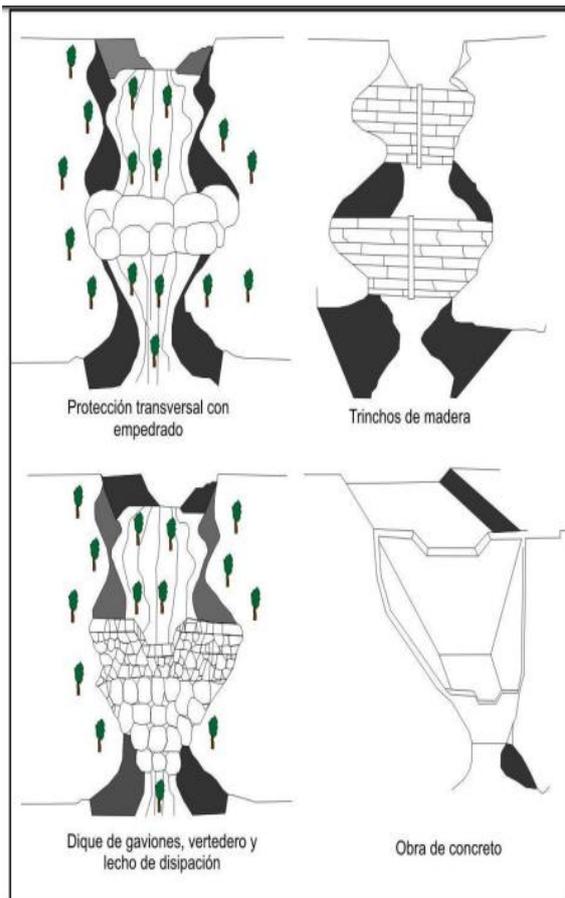
#### iv. **Construcción de Obras Transversales.**

Si bien se han descrito algunos trabajos correctivos de carácter transversal en su disposición sobre el terreno -en sentido perpendicular al eje principal de la cárcava o línea de flujo- se ha querido agrupar bajo esta denominación, aquellas técnicas que además de controlar el movimiento del agua en superficie, buscan, de forma clara, la generación de un proceso de sedimentación. De acuerdo con esto, su finalidad principal es retener los sedimentos producto del desgaste del suelo, que provienen de la parte superior o ladera arriba, y suavizar la pendiente en el fondo de la cárcava; gracias a esto se produce una colmatación que, o bien es aprovechada por la vegetación para la colonización, o es ésta inducida mediante diferentes técnicas de repoblamiento vegetal.

Algunos autores (Fournier, 1975; SCS, 1973) las consideran obras complementarias en el sentido de que apoyan las actividades de remodelado de la pendiente y de establecimiento de coberturas vegetales, contribuyendo en la disipación de la energía hídrica.

Por otra parte, las estructuras de tipo permanente tienen una duración mucho mayor; son construidas en concreto, cemento y otros tipos de materiales, y por contrapartida, son más costosas. Como ejemplo se tienen los diques de suelo cemento (figura 15).

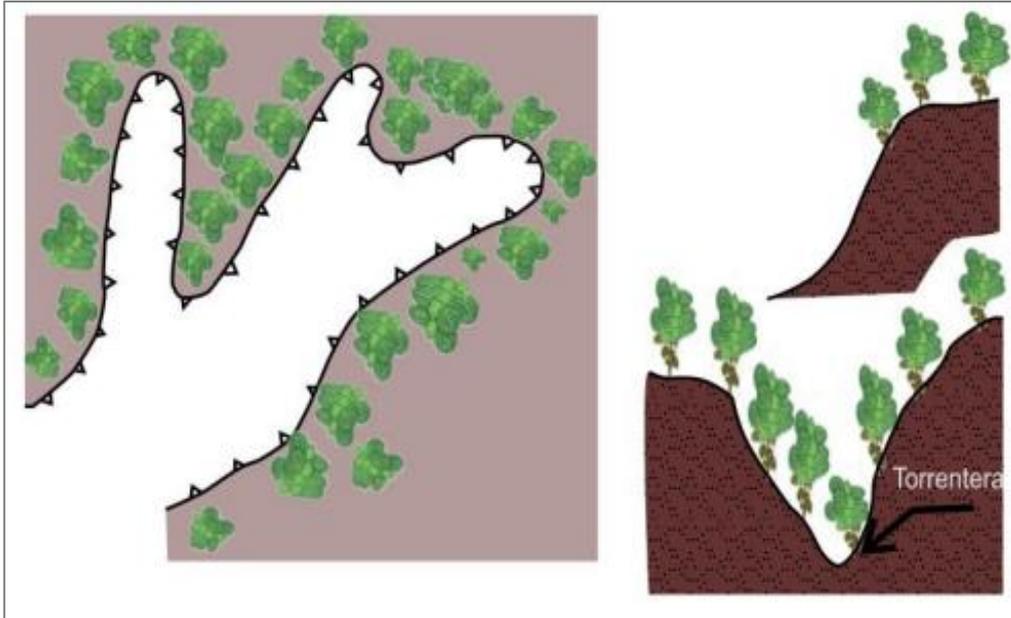
- **Diques en suelo cemento.** En lugar de ser rellenados los sacos con material de la cárcava, se hace con cemento y limo proveniente de ellas en proporción 1:10; el porcentaje de agua en la mezcla debe ser del 10 al 20% por peso y el suelo debe estar libre de terrones, siendo los tamaños de partículas recomendables menores de 9,5 mm o 3/8 pulg. Se deben preparar cantidades en forma tal que puedan ser colocadas en un lapso de tiempo apropiado, para lo cual se citan volúmenes inferiores a 1 m<sup>3</sup> de material preparado; la altura de la estructura y las especificaciones restantes son las anotadas para la recién descrita.



*Figura 15: Obras hidráulicas transversales para el control de la erosión en cárcavas.*

**v. Incorporación de Material Vegetal.**

Las estructuras transversales, además del objetivo de controlar el escurrimiento, tienen la función de propiciar las condiciones necesarias para la colonización y crecimiento de vegetación sobre las superficies de colmatación que favorecen; sin embargo, algunas de estas estructuras en su diseño, incorporan expresamente la implementación de coberturas vegetales (caso de estacas vivas que complementan obras de carácter transversal). Asimismo, para la corrección de cárcavas, son formulados programas específicos de repoblamiento vegetal, que van desde la siembra y conformación de barreras vivas con plantas de porte herbáceo y arbustivo, hasta la reforestación de partes altas de las cuencas de drenaje y áreas cuya estabilización requiere de sistemas radiculares profundos (figura 16).



*Figura 16: Vista en planta y en perfil de los procesos de forestación en cabeceras y márgenes de las áreas inestables.*

## CONCLUSIONES

1. Por las condiciones geológicas y geomorfológicas que presenta la zona de estudio, como: roca de fácil erosión-remoción, pendiente del terreno, ubicación de la zona en planicies y muy susceptibles a inundación fluvial, se le considera como **Zona crítica por Peligros geo-hidrológicos**.
2. Por las consideraciones expuestas en los párrafos anteriores, por el asentamiento de viviendas y por la ubicación del “Colegio Nuestra Señora de la Merced” al límite de la Cárcava Muyuna, esta zona es considerada como **Zona de Muy Alto Peligro**.
3. La erosión de laderas originada en el sector de la Cárcava Muyuna está condicionada por:
  - Presencia de rocas roca de mala calidad, de fácil remoción (Formación Madre de Dios).
  - Suelos conformados por arena y limo, ello permite la filtración y retención de agua en su cuerpo, lo cual lo vuelve inestable.
  - Laderas con pendiente entre 30° a 40°, permite que el material suelto disponible se erosione y remueva fácilmente.
  - Acción de las aguas de escorrentía pluvial sobre el terreno.
  - Actividad antrópica, como construcción de viviendas al borde de la cárcava, canal de drenajes en pésimas condiciones, vertimiento de aguas residuales y desagüe a la ladera de la cárcava

## RECOMENDACIONES

1. Reubicar las viviendas que se encuentran al borde de la cárcava, por considerarse como zona de muy alto peligro.
2. Seguimiento y mantenimiento del programa de Control de Erosión. Realizar una adecuada y permanente vigilancia, al conjunto de obras dispuestas para el control de la erosión, prolongar su vida útil y determinar la funcionalidad de las medidas adoptadas.
3. Monitoreo permanente de la Cárcava Muyuna, a fin de conocer su avance retrogresivo
4. Realizar un tratamiento integral de la Cárcava.
5. Realizar limpieza de los canales de drenaje superficial y alcantarillado.
6. Sensibilizar a la población a fin de evitar asentamientos en las márgenes de la cárcava o en áreas susceptibles.

7. Construir canales de drenaje lateral en ambos márgenes de la cárcava según especificaciones técnicas de un especialista.
8. Realizar un tratamiento de las aguas residuales que son vertidos a la ladera de la cárcava.
9. Reforestar las laderas con plantas de raíz profunda.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Fournier, F. 1975. Conservación de Suelos. Madrid: Mundi-Prensa
- INGEMMET (2015). Zonas críticas por peligros geológicos en la región Madre de Dios. Informe Técnico, Primer reporte
- León P., Juan Diego. (2001). Estrategias para el Control y Manejo de la Erosión en Cárcavas. Universidad Nacional de Colombia Medellín
- Núñez, S. & Medina, L. (2008). Riesgos geológicos en la Región Ucayali. INGEMMET. Boletín. Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, N°37, 161 p.
- Palacios, O., Molina, O., Galloso, A. & Reyna, C. (1996). Geología de los cuadrángulos de Puerto Luz, Colorado, Laberinto, Puerto Maldonado, Quincemil, Masuco, Astillero y Tambopata. Lima. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Serie A: Carta Geológica Nacional, Boletín N° 81, 189 p.
- Quispesivana, L., Sánchez, J., Atencio, E., Zapata, A., Alvarez, D., Cuyubamba, V. & Lagos, A. (1999). Geología de los cuadrángulos de Cunambo, Mariscal Cáceres, Río Pucaruro, Vargas Guerra, Río Huitoyacu, Checherta, Andoas, Lamastipishca, San Antonio, Nuevo Soplín, Valencia, Pucaruro, Sungache, Puncuna, Villa Trompeteros, San Fernando, San Juan de Pavayacu, Río Urituyacu, Santa Martha, Barranca, San Isidro, Río Nucuray y Urarinas, Lima. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Serie A: Carta Geológica Nacional, Boletín N° 130, 220 p.
- Suarez, J. (1992). Manual de Ingeniería para el Control de Erosión. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander