

**Informe Técnico A6692**

# Evaluación Ingeniero - Geológica de la Quebrada San Juan Huarangal

Provincia Lima - Región Lima

**CARLOS BENAVENTE E.  
FABRIZIO DELGADO M.  
DULIO GOMEZ V.  
CARLOS LUZA H.**

Setiembre, 2015

## **RESUMEN**

El área de evaluación se encuentra ubicada al norte de la ciudad de Lima, exactamente a 27 Km en línea recta desde el centro histórico. En este lugar se encuentra la Central Nuclear Oscar Miró Quesada de la Guerra, donde se aloja el RP-10, uno de los reactores nucleares más potentes de Sudamérica

El Reactor Nuclear Oscar Miró Quesada de la Guerra, geomorfológicamente, se ubica sobre un abanico aluvial formado por la ocurrencia de flujos de detritos antiguos, reactivados en épocas del fenómeno de El Niño históricos y/o épocas con lluvias extraordinarias.

El reconocimiento de campo pone en evidencia antiguos eventos de huaycos, donde descendieron grandes volúmenes de materiales de la quebrada San Juan y adyacentes, llegando a modificar y modelar el terreno donde actualmente se ubica la central nuclear. Estos eventos son recurrentes con el tiempo, es así que, los años de 1983, 1997, 2002 y 2009 la central nuclear fue afectada por flujos de detritos.

Diversos trabajos realizados por el INGEMMET, determinan que el sector de Huarangal, donde se ubica el Reactor Nuclear Oscar Miró Quesada de la Guerra es un área con alta probabilidad a ocurrir o repetirse este tipo de procesos geológicos.

Por consiguiente, concluimos que la zona evaluada se ubica en un área con alta susceptibilidad a generar flujos de detritos o huaycos que posteriormente afectarán las instalaciones de la central nuclear.

Finalmente, es necesario ejecutar obras con la finalidad de minimizar el riesgo, tanto en la quebrada San Juan, como en las adyacentes.

# EVALUACIÓN INGENIERO – GEOLÓGICA DE LA QUEBRADA SAN JUAN - HUARANGAL

Provincia Lima – Región Lima

## CONTENIDO

|  | <b>pag.</b> |
|--|-------------|
| <b>INTRODUCCIÓN</b>                        | <b>1</b>    |
| <b>ANTECEDENTES</b>                        | <b>3</b>    |
| <b>CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO Y GEOLÓGICO</b> | <b>3</b>    |
| Contexto Geomorfológico                    | <b>3</b>    |
| Contexto Geológico                         | <b>4</b>    |
| <b>PELIGROS GEOLÓGICOS</b>                 | <b>6</b>    |
| Flujo de detritos (Debris flows)(Huaycos)  | <b>6</b>    |
| <b>OBRAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES</b>      | <b>9</b>    |
| Dique de tierra y enrocado                 | <b>9</b>    |
| Muro de contención de concreto armado      | <b>10</b>   |
| <b>PROPUESTAS DE OBRAS PARA MITIGACIÓN</b> | <b>11</b>   |
| Diques de mamposteria                      | <b>11</b>   |
| Diques de gaviones                         | <b>13</b>   |
| Presa de gaviones                          | <b>14</b>   |
| Muro de contención con gaviones            | <b>15</b>   |
| Canales de derivación                      | <b>16</b>   |
| Espigones o venas                          | <b>18</b>   |
| Poza de sedimentación                      | <b>20</b>   |
| <b>CONCLUSIONES</b>                        | <b>22</b>   |
| <b>RECOMENDACIONES</b>                     | <b>23</b>   |
| <b>BIBLIOGRAFÍA</b>                        | <b>24</b>   |
| <b>ANEXOS</b>                              | <b>25</b>   |

Listado de Fotografías y figuras

# **EVALUACIÓN INGENIERO – GEOLÓGICA DE LA QUEBRADA SAN JUAN - HUARANGAL**

**Provincia Lima – Región Lima**

## **1. INTRODUCCIÓN**

El área de evaluación se encuentra ubicada al norte de la ciudad de Lima, exactamente a 27 Km en línea recta desde el centro histórico. En este lugar se encuentra la Central Nuclear Oscar Miró Quesada de la Guerra, donde se aloja el RP-10, uno de los reactores nucleares más potentes de Sudamérica (Figura 1).

Esta Central Nuclear se encuentra emplazada sobre depósitos aluviales provenientes de las quebradas aguas arriba, con evidencias de reactivaciones en época de El Niño.

Los procesos que se observan en la zona evaluada, son los flujos aluviales. Provocando la alarma general en las instalaciones de la central Nuclear.

Con Oficio N° 150-15-IPEN/PRES, el Instituto Peruano de Energía Nuclear, solicitó a nuestra Institución el apoyo para identificar riesgos potenciales a los que estaría expuesto el Centro Nuclear Oscar Miró Quesada de la Guerra, ubicado en el distrito de Carabaylo en la provincia de Lima. El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), por intermedio de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico – DGAR, comisionó a dos brigadas de geólogos para realizar la evaluación geológica.

Los trabajos se realizaron el 19 de setiembre del presente año, previa coordinación con personal del Instituto Peruano de Energía Nuclear y de la Centro Nuclear Oscar Miró Quesada de la Guerra.

El presente informe contiene documentación obtenida en campo y revisión de información geológica y cartográfica (boletines técnicos, topografía e imágenes satelitales) que permitieron la evaluación y la influencia en la central nuclear. Se emiten conclusiones y recomendaciones deberán tenerse en cuenta para las obras de mitigación.

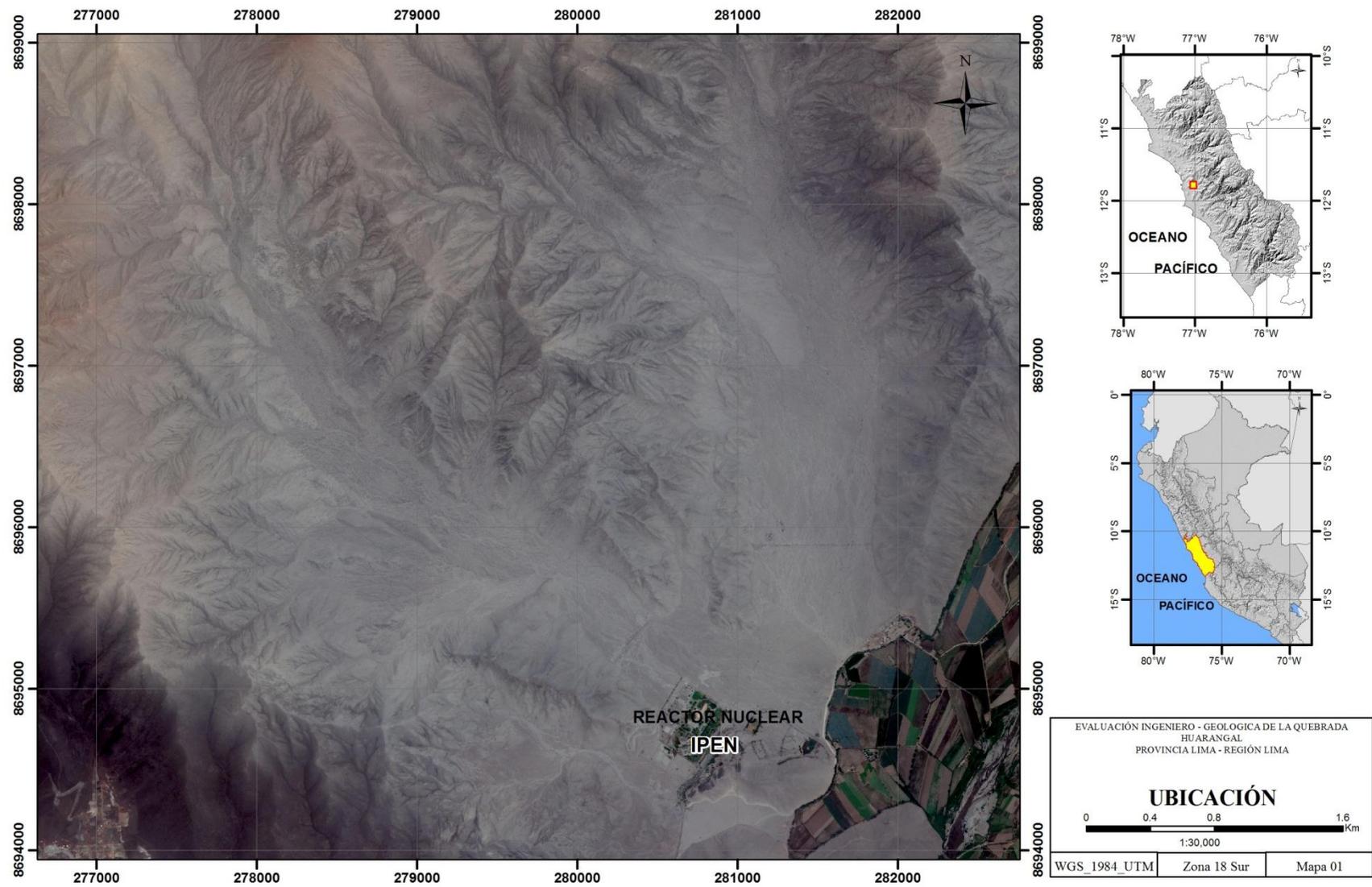


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona evaluada.

## 2. ANTECEDENTES

El Centro Nuclear Oscar Miró Quesada de la Guerra se encuentra ubicado en la zona conocida como Huarangal, sobre la margen derecha del río Chillón, en la quebrada San Juan, la misma que pese a estar inactiva la mayor parte del tiempo ha causado inundaciones en el centro nuclear durante los eventos de El Niño de los años 1983 y 1997.

Recientes estudios publicados por el INGEMMET (Boletín 59 de la Serie C: Peligros geológicos en el área de Lima Metropolitana y la región Callao) demuestran que la zona de Huarangal se ubica en un área de susceptibilidad media a alta a movimientos en masa e inundaciones. Estos estudios se confirman por los antecedentes de daños causados a las instalaciones del Centro Nuclear por los fenómenos de El Niño de los años 1983 y 1997, donde se produjo la inundación del sótano y sala de máquinas del Reactor Nuclear RP-10 y del Centro Nacional de Protección Radiológica. Los flujos de detritos o huaycos descendieron de la quebrada San Juan y adyacentes. De igual manera, el año 2009 intensas lluvias generaron la reactivación de deslizamientos y con algunos efectos dentro de la instalación.

## 3. CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO Y GEOLÓGICO

### Contexto Geomorfológico

En la zona de estudio se reconocen las siguientes unidades geomorfológicas:

- **Abanicos aluviales**, son formas del relieve de origen deposicional que se acumulan en el contacto de relieves destacados con superficies llanas, donde los cauces se ensanchan y la pendiente se atenúa, siempre que no exista un agente de evacuación suficientemente competente para impedir su conservación. En planta se asemejan a un segmento cónico que se irradia pendiente abajo.

En el mapa geomorfológico de Lima Metropolitana y el Callao se han cartografiado sistemas de abanicos aluviales de grandes dimensiones vinculado al río Chillón, cuyas cabeceras se encuentran en las cumbres más altas de la sierra de la región de Lima.

- **Glacis**, son superficies suavemente inclinadas generadas por la arroyada en manto, alimentada desde un relieve destacado (impluvium) que actúa como área de captación de precipitaciones relativamente abundantes pero muy concentradas en el tiempo. La clave para que se desarrollen glacis es que los periodos de recurrencia sean suficientemente prolongados para impedir la conservación de los surcos generados por la arroyada en el episodio anterior. De ese modo, en el episodio siguiente la arroyada no se concentra y las precipitaciones se transforman en flujos turbulentos con gran poder erosivo.
- **Cárcavas**, cuando se incrementa la frecuencia de los episodios de precipitación, los procesos de meteorización no disponen de tiempo suficiente para erosionar o rellenar los surcos generados por la escorrentía. En esas condiciones, la arroyada tiende a concentrarse, generando redes dendríticas de quebradas que confluyen en un colector principal y reciben la denominación de cárcavas. La formación de cárcavas implica una ampliación notable del área de captación y los episodios de

precipitación se traducen en cuantiosos caudales esporádicos que frecuentemente generan un abanico en la desembocadura de las quebradas en el colector principal.

- **Taludes y conos de detritos**, los conos de detritos son las acumulaciones discontinuas de materiales generados al pie de algunos escarpes como consecuencia de procesos de caída libre por simple gravedad, y los taludes de detritos son las formas generadas por la coalescencia de conos en el mismo lugar. En algunas regiones, por ejemplo en áreas de alta montaña, los desprendimientos suelen ser favorecidos por otros procesos, como la gelifracción.

### **Contexto Geológico**

Según la Cartografía Geológica en el cuadrángulo de Chancay (Palacios et. al, 1992), en el área de estudio se presenta las siguientes unidades geológicas (Figura 2).

- **Formación Atocongo (Ki-at)**. Se encuentra constituida de calizas y margas intercaladas con limolitas con tonalidades que van de gris a beige, presenta en algunas zonas una moderada metamorfización; esta unidad se encuentra intruida por las facies marginales del Batolito de la Costa, razón por la cual se puede observar algunas zonas la presencia de chert.
- **Formación Huarangal (Kim-h)**. Esta unidad pertenece al grupo Casma, se encuentra compuesta de una secuencia volcano-sedimentaria. En la parte inferior se encuentra constituida de calizas y rocas clásticas intercaladas con derrames volcánicos. En la parte superior es volcánica.
- **Formación Quilmaná (Kms-q)**. Se encuentran constituido por derrames andesíticos masivos poco estratificados de textura porfírica, destacan los fenos de plagioclasa de una pasta fina o microcristalina de coloración gris a gris verdosa.
- **Depósitos Aluviales pleistocenos (Qpl-al)**. Estos depósitos se constituyen por materiales polimícticos de tamaño variado que van desde arcillas hasta gravas moderadamente clasificadas. Están representados por acumulaciones aluviales desérticas provenientes de quebradas y afluentes que en la actualidad están secos; además, en muchos de estos se han producido huaycos en el pasado, los cuales originaron corrientes lodosas y huaycos.
- **Depósitos Aluviales holocenos (Qh-al)** Están constituidos por la acumulación de materiales en el lecho de ríos y en las paredes laterales de las quebradas, estando constituidas por materiales polimícticos de tamaño variado desde arcillas hasta gravas moderadamente clasificados.

### **Roca Ignea**

**Superunidad Santa Rosa.** Constituye cuerpos tonalítico-dioríticos y tonalítico-granodioríticos, se emplaza posterior a la Superunidad Patap que lo intruye con contactos definidos y casi verticales. Asimismo intruye a las secuencias del grupo Casma (Formación Huarangal). Los cuerpos de tonalita-diorita constituyen la parte central de esta superunidad con un marcado color oscuro. Los contactos entre las tonalitas claras y oscuras son gradacionales por disminución del cuarzo y aumento de los ferromagnesianos, especialmente clinopiroxenos pasando de tonalitas a dioritas.

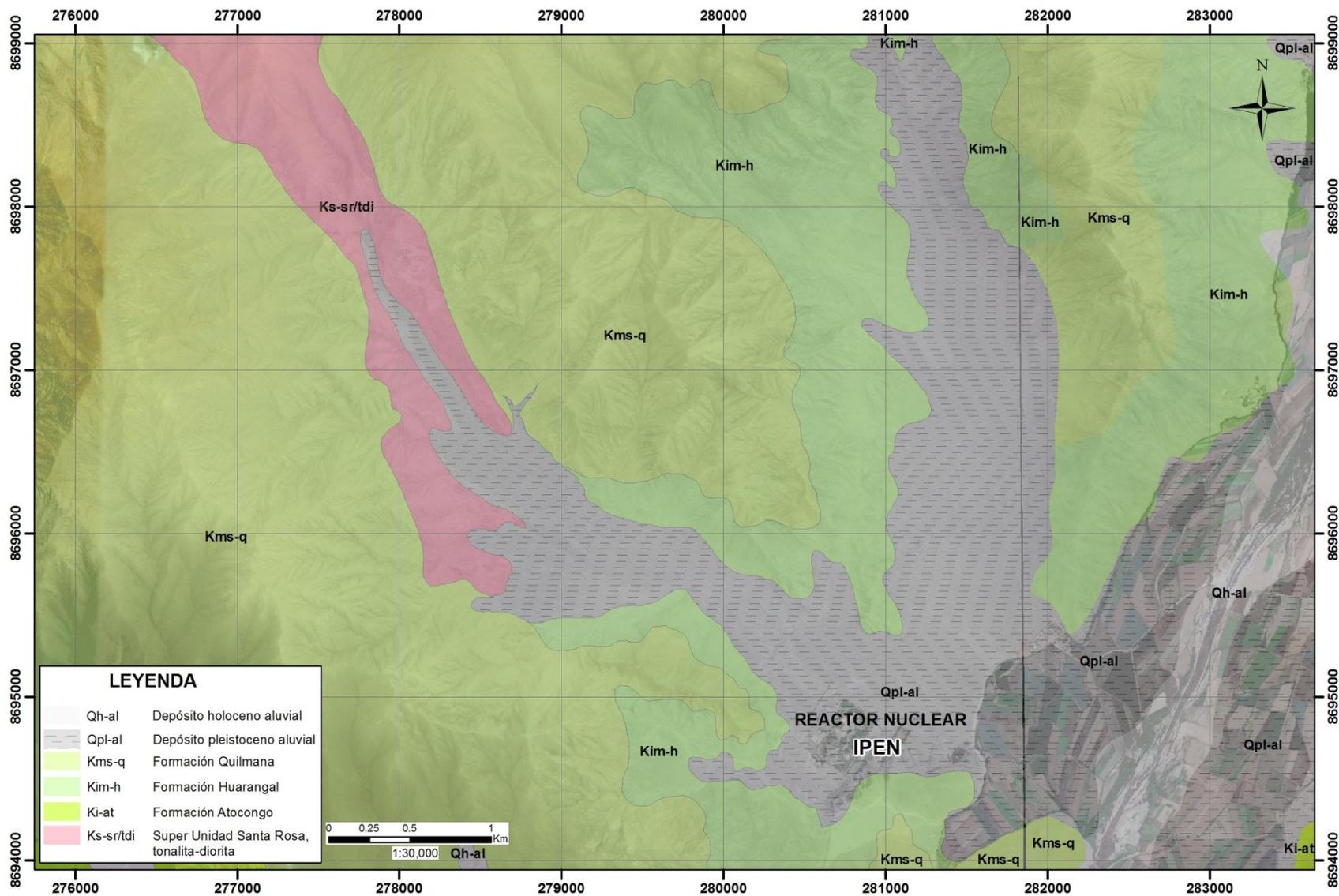


Figura 2. Mapa geológico

#### 4. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos que ocurren en la zona de estudio vienen a ser los flujos de detritos (Huaycos).

##### **Flujo de detritos (Debris flows)(Huaycos)**

Es un flujo muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados, no plásticos (Índice de plasticidad menor al 5%), que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada. Se inician como uno o varios deslizamientos superficiales de detritos en las cabeceras o por inestabilidad de segmentos del cauce en canales de pendientes fuertes. Los flujos de detritos incorporan gran cantidad de material saturado en su trayectoria al descender en el canal y finalmente los depositan en abanicos de detritos (Figura 3). Sus depósitos tienen rasgos característicos como albardones o diques longitudinales, canales en forma de “u”, trenes de bloques rocosos y grandes bloques individuales. Los flujos de detritos desarrollan pulsos usualmente con acumulación de bloques en el frente de onda. Como resultado del desarrollo de pulsos, los caudales pico de los flujos de detritos pueden exceder en varios niveles de magnitud a los caudales pico de inundaciones grandes. Esta característica hace que los flujos de detritos tengan un alto potencial destructivo.

La mayoría de los flujos de detritos alcanzan velocidades en el rango de movimiento extremadamente rápido, y por naturaleza son capaces de producir la muerte de personas (Hung, 2005).

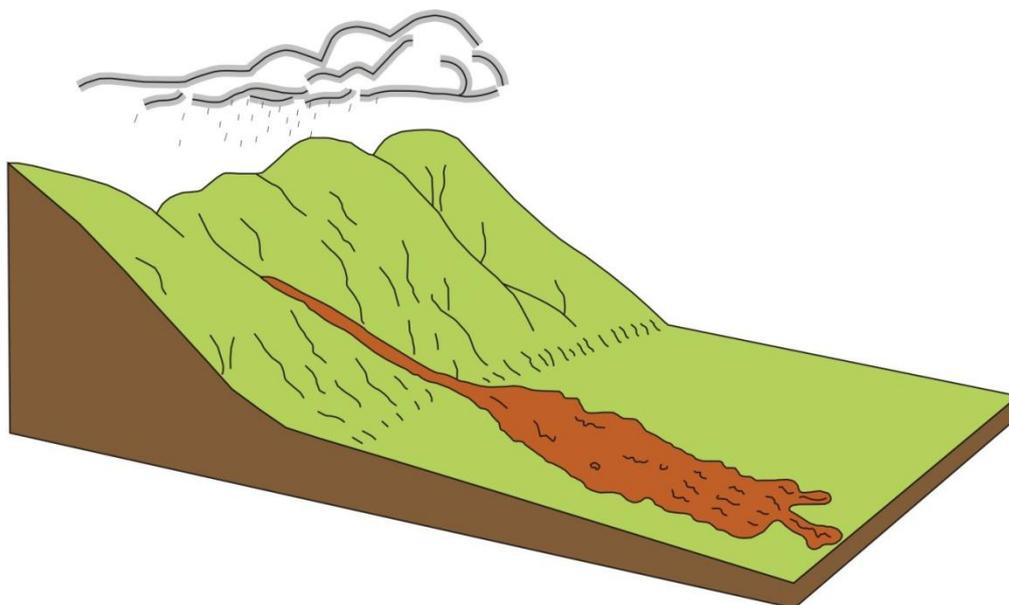


Figura 3. Esquema de flujos canalizado, según Cruden y Varnes (1996).

La Central Nuclear se encuentra emplazada sobre un abanico aluvial producto de antiguos flujos de detritos que descendieron de las quebradas circundantes (Figura 4), estos vienen afectando las instalaciones principalmente en épocas del fenómeno de El Niño, el cual producto de las precipitaciones pluviales activan las quebradas y generan flujos que afectan las instalaciones.

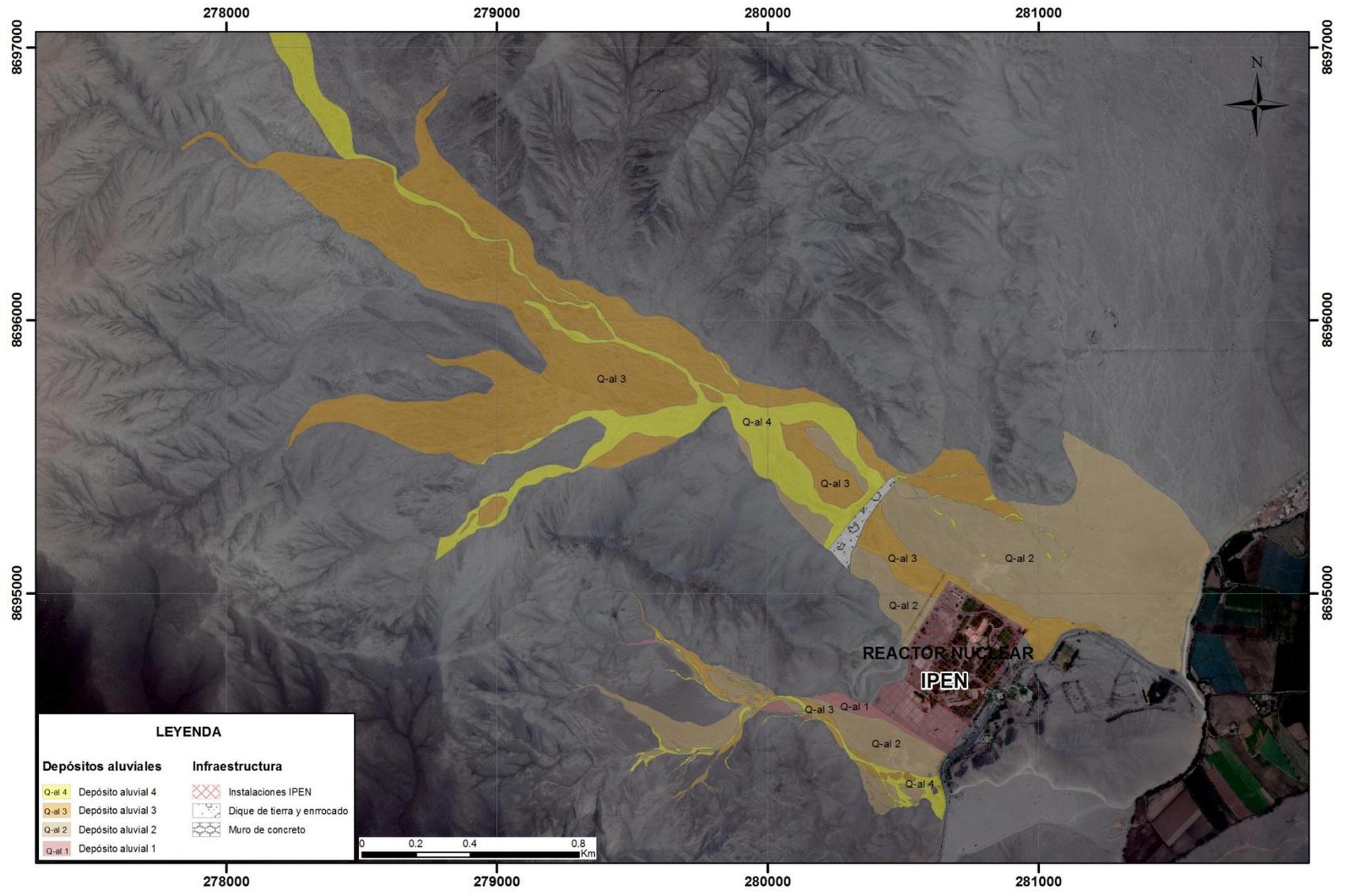


Figura 4. Mapa de identificación de depósitos aluviales.

La morfología que presenta las quebradas adyacentes a la Central Nuclear evidencia ciclos de aluvionamiento los cuales se dan en épocas de fenómeno de El Niño, superficialmente se observan amplias llanuras aluviales disectadas por flujos de detritos recientes (Figura 5).

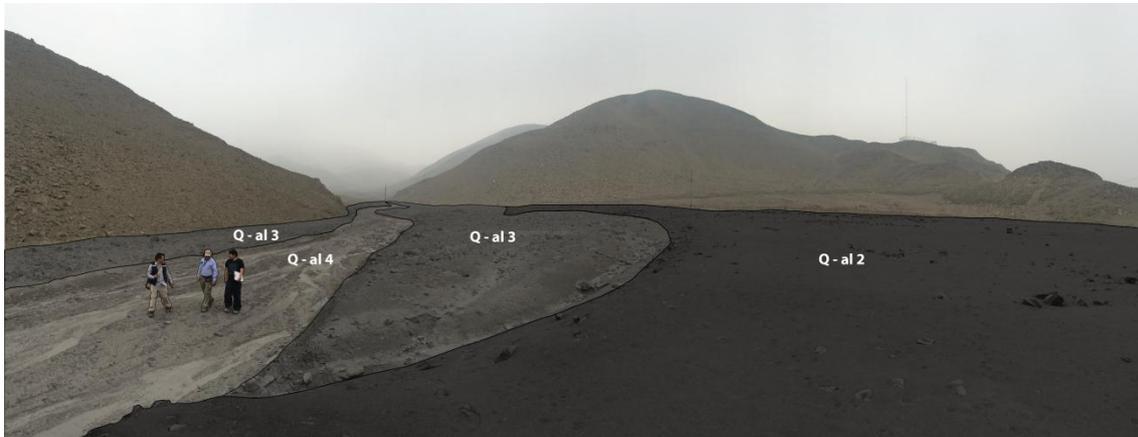


Figura 5. Se observa 3 eventos aluviónicos (Q-al 2, Q-al 3 y Q-al 4), el evento Q-al 3 corresponde al fenómeno de El Niño del año 1997 y Q-al 4 corresponde al año 2002.

En el área se realizó una columna estratigráfica cortando el depósito aluvial 2 (Q-al 2) donde se puede evidenciar depósitos aluviales mucho más antiguos (Figura 6), los cuales corresponden a fenómenos de El Niño pasados o a lluvias de trasvase.



Figura 6. Se observa tres depósitos aluviales antiguos al depósito Q-al2 que corresponden a eventos aluviónicos originados por las lluvias del fenómeno de El Niño o lluvias de trasvase.

## 5. OBRAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES

La Central Nuclear Oscar Miró Quesada de la Guerra fue afectada por huaycos pasados que ocurrieron durante el fenómeno de El Niño (1983 y 1997), esto conllevó a realizar algunas obras de protección como son:

**Dique de tierra y enrocado.** Esta obra se ubica a 400m al noroeste de las instalaciones de la Central Nuclear, fue construido debido a flujos que descendieron los años 1983 y 1997, los cuales afectaron las instalaciones. Posterior a estos eventos se construyó el dique que presenta las siguientes dimensiones 30m x 350m x 8.5m. (Figura 7), el cual respondió positivamente a huaycos que descendieron de la quebrada San Juan el año 2002 (Figura 8).



Figura 7. Se observa el dique construido para protección contra flujos de detritos. Sus dimensiones son 30 x 350 x 8.5m.



Figura 8. Se observa el dique construido y los depósitos retenidos del flujo de detritos que descendieron de la quebrada San Juan el año 2002.

**Muro de contención de concreto armado.** Esta obra se encuentra ubicada en las instalaciones de la Central Nuclear, fue construido para proteger el reactor que se ubica en el ingreso a dicha central. Este muro de contención se edificó alrededor de del reactor en forma de L, tiene una altura de 1.5 m (Figura 9). El año 2002 soporto el flujo de detritos que descendió de la quebrada, contuvo en parte el material que descendió evitando que el reactor sea destruido. Las marcas del flujo de detritos se puede observar en las paredes del reactor (Figura 10).



Figura 9. Se observa el muro de contención protegiendo el reactor, soporto en parte el flujo de detritos del año 2002.



Figura 10. Se observa el reactor y el flujo del 2002. La línea roja muestra el nivel donde llegó el flujo de detritos del año 2002.

## 6. PROPUESTAS DE OBRAS PARA MITIGACIÓN

Las medidas adoptadas en esta sección son orientadas en mitigar y controlar los efectos de los flujos de detritos determinados en la zona de estudio, que por su naturaleza estos fenómenos se caracterizan por el transporte masivo de materiales producto de la erosión de las laderas, siendo las soluciones estructurales transversales al eje del cauce las que ofrecen una solución simple y efectiva, encontrándose dentro de estas los diques, presas y muros disipadores de energía.

Las medidas recomendadas se incluyen en la Figura 11 (ubicación referencial) y son las siguientes:

### **Diques**

Son estructuras transversales, están orientados a la retención de la mayor cantidad posible de materiales, sólidos o líquidos. Dentro de los diques tenemos aquellos completamente cerrados, semi-huecos o de retención selectiva.

#### **- Diques de mampostería**

Estructura sólida hecha a base de concreto y roca que está sujeta a flexión por tener que soportar empujes horizontales de diversos materiales. Es una estructura continua que de forma activa o pasiva produce un efecto estabilizador sobre una masa del terreno.

Son en realidad diques de gravedad, ya que resisten la fuerza del agua debido a su peso. Esta tipología de dique se suelen destinar para cauces en los que el lecho es de roca, total o parcialmente.

Al ser hecho de concreto no permiten el paso de los fluidos por lo cual se debe considerar en su diseño la presencia de chorreras para librar poro-presiones del material retenido (Fotografía 1)



Fotografía 1. Dique de mampostería

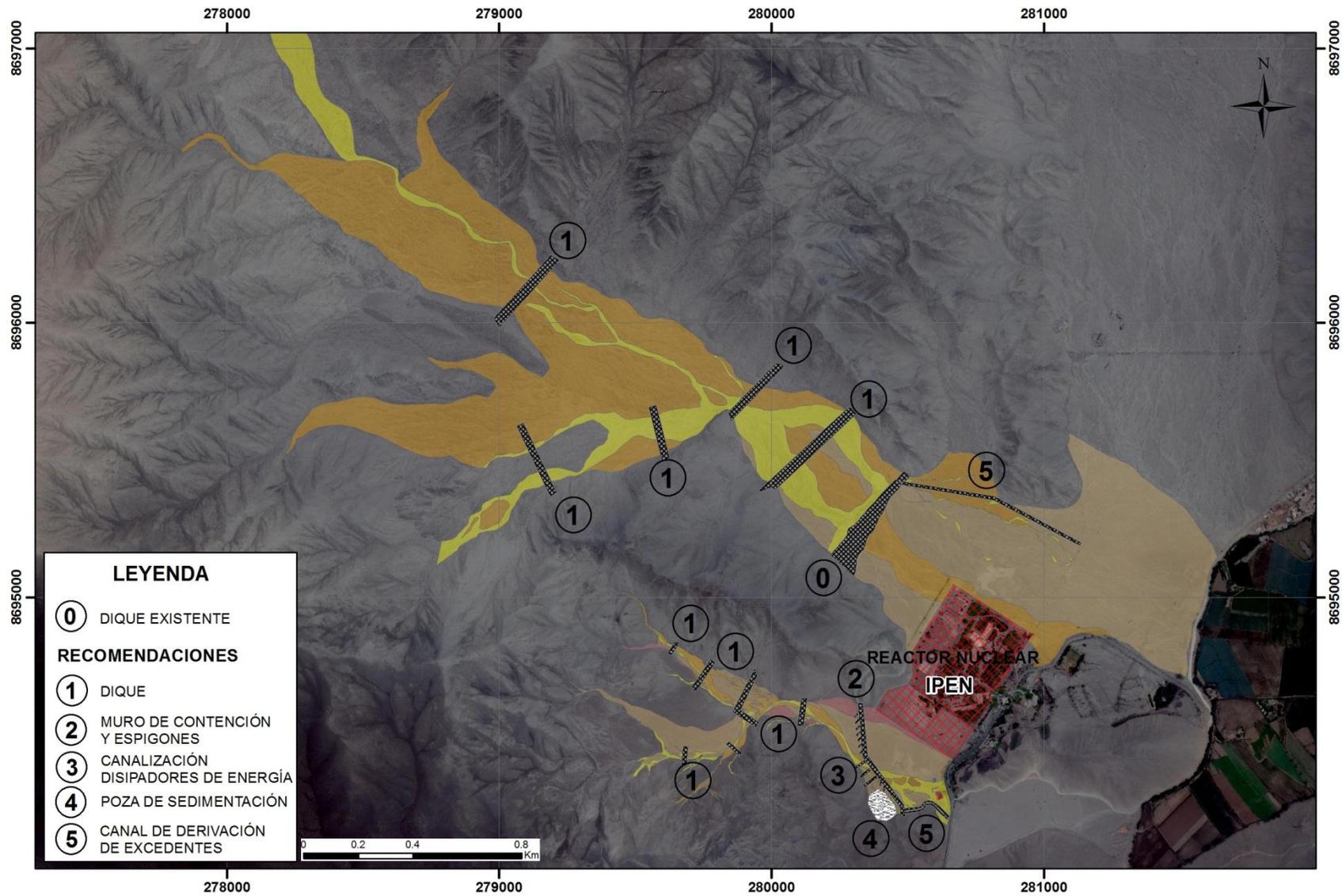


Figura 11. Propuestas de obras para mitigación.

## - Dique de gaviones

Estructura de gravedad permanentes que consiste en una caja de forma rectangular de malla hexagonal de triple torsión, elaborada con alambre galvanizado. Los gaviones se rellenan con piedra de cantera o cualquier material similar que se pueda obtener del entorno próximo a la obra, Como criterio o norma general, los gaviones serán de 1,00 x 1,00 x 1,00 metros, estos pueden presentar diferentes diseños el cual debes er elegido de acuerdo con las necesidades (Figura 12).

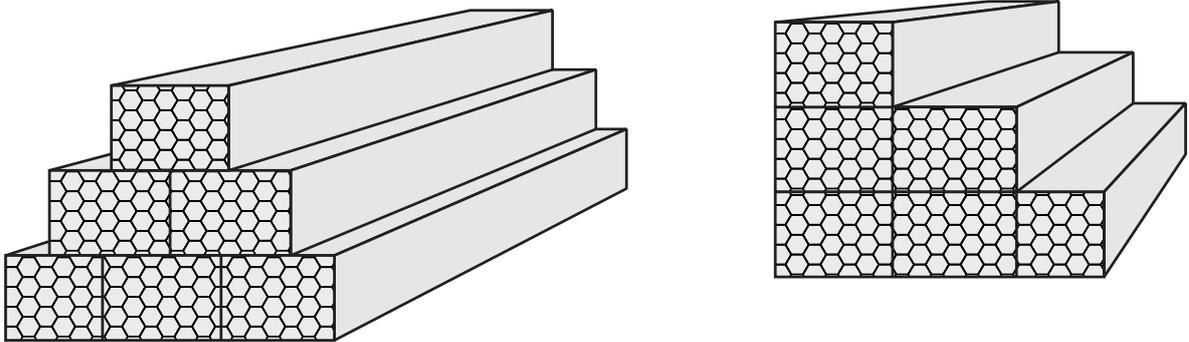


Figura 12. Perfiles más comunes de muros de gaviones para la retención de flujos.

Teniendo como principales beneficios:

- La flexibilidad, los muros de gaviones permiten cierta deformacional ser sometido a presiones, comportamiento que los diferencia de los muros convencionales.
- La permeabilidad , ya que al estar constituidos por bloques de roca permiten el flujo de agua a través de la estructura, evitando así la generación de presiones hidrostáticas en la parte trasera del muro (Fotografía 2).
- No requieren cimentación.
- Su costo de elaboración es relativamente bajo.



Fotografía 2. Muro de gaviones en pleno proceso constructivo.

- **Presa de gaviones**

Esta estructuras construidas en base a gaviones, son usadas para disminuir la velocidad de los flujos de detritos y su poder erosivo, permitiendo la retencion de los materiales traidos por el flujo estabilizando de esta forma el fondo de la cárcava, ya que evita su crecimiento en profundidad y anchura (Figura 13, Fotografía 3 y 4).

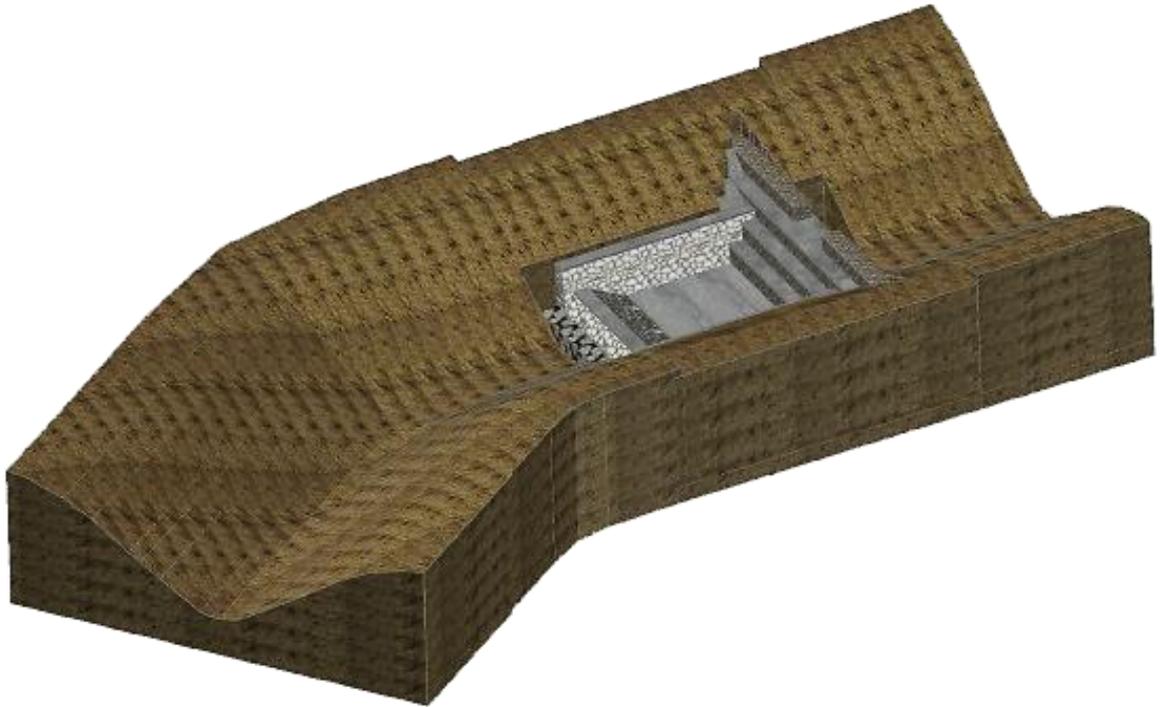


Figura 13. Esquema del diseño de una presa de gaviones



Fotografía 2. Presa gaviones utilizada para controlar flujo de detritos.



Fotografía 4. Construcción de una presa de gaviones

#### **Muro de contención con gaviones**

Se realizan exclusivamente para controlar la erosión lateral causada por el agua. Se utilizan gaviones que se rellenan con roca; las dimensiones son de 1,00 x 1,00 x 1,00 m, se complementa con colchonetas de gaviones para evitar el socavamiento y deterioro del muro (Fotografía 5).



Fotografía 5. Ejemplo de construcción de muro con gaviones y colchoneta de gaviones para evitar el socavamiento y conservar el muro.

### **Canales de derivación**

Es un sistema de estructuras utilizada para desviar las corrientes de agua naturales y artificiales y tienen como objetivo principal proteger el cauce evitando su erosión por el agua. Puede ser construido de roca o concreto (Fotografía 6).

Actualmente el uso de gaviones como elemento estructural del canal está siendo muy difundido por las ventajas y características que proporcionan dentro de estas podemos citar:

- **FLEXIBILILIDAD:** El gavión una vez relleno con piedra sufre deformaciones, y aun así continúa sin perder eficiencia en el caso de presentarse una falla en el suelo.
- **PERMEABILIDAD:** El gavión relleno, no contiene aglutinantes ni cementantes, por lo que quedan huecos o intersticios. Disipa la energía del agua, Disminuye los empujes hidrostáticos. Permite tener saneados los terrenos aledaños a las estructuras.
- **RESISTENCIA:** Proporciona dominio en todos los esfuerzos de compresión, tensión y torsión.
- **DURABILIDAD:** La materia prima del Gavión, esta provista de un recubrimiento que logra retrasar los efectos del medio ambiente sobre el acero. Por su triple torsión no se desarma en caso de ruptura accidental o intencional. Resiste la Corrosión.
- **INSTALACION FACIL Y ECONÓMICA:** No requiere mano de obra especializada, uso de herramienta básica.



Fotografía 6. Canalización de cauce teniendo como elemento estructural celda de gaviones.

Otras técnicas de canalización puede consideradas mediante el uso de colchonetas cuyas características y ventajas son similares a las de los gaviones. La colchoneta es un contenedor de piedra, considerado estructuralmente como una armadura con la cual se logran condiciones de resistencia equilibrada, provisto con celdas internas uniformemente repartidas, con alturas y aberturas de malla menores a las utilizadas en el gavión (Fotografía 7 y 8).



Fotografía 7. Canalización de cauce teniendo como elemento estructural celda de Colchonetas.



Fotografía 8. Colchonetas de piedra y gaviones para la protección de erosión lateral y/o socavamiento.

### Espigones o venas

Los espigones son estructuras relativamente sólidas alargadas que se colocan para desviar la corriente de agua o controlar el arrastre de materiales del fondo (Figura 14). Un espigón es una estructura construida a un ángulo con la dirección de flujo, anclada en la orilla del canal y con una cabeza para el manejo del flujo en la punta.

El objetivo del espigón es desviar la corriente del río alejándola de zonas críticas para prevenir la erosión de la orilla y establecer un canal más estable.

Los espigones se emplean para protección de las riberas de los ríos, en el caso del golpeo de las corrientes del río contra los taludes de las riberas. Se coloca generalmente a intervalos de dos a cuatro veces la longitud de las secciones individuales. Se recomienda un mínimo de tres espigones para resultados efectivos (Figura 15).

Son estructuras transversales en ángulo con el fin de reducir la erosión del banco local redirigiendo el flujo desde el banco del centro del canal (Fotografía 9).

Los espigones pueden ser permeables o impermeables en el sentido que pueden permitir o no el paso del agua a través de ellos. Los espigones permeables son más efectivos en los ríos que tienen mayor cantidad de carga de fondo y altas concentraciones de sedimentos, debido a que estos espigones facilitan la sedimentación.

Los espigones impermeables son más efectivos cuando se requiere mantener una profundidad de cauce, debido a que la socavación es mayor y por lo tanto el cauce va a tener una mayor profundidad.

Este tipo de estructuras han demostrado ser muy rentables en su construcción y eficientes en su propósito de control de la erosión, favoreciendo además la revegetación de los márgenes del cauce.

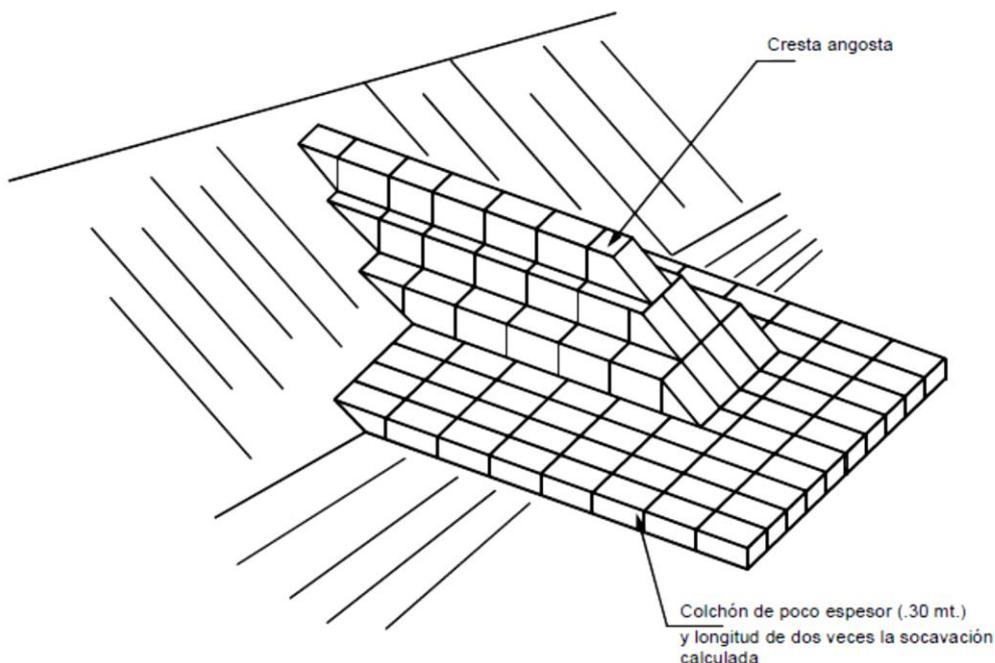
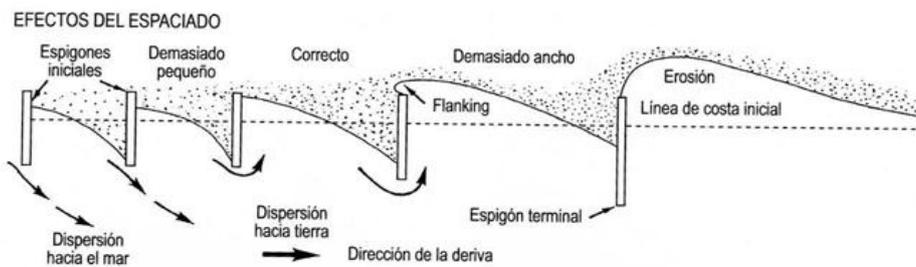


Figura 14. Esquema de construcción de un espigón.



a)



b)

Figura 15. a) Se observa la disposición de espigones a lo largo de un río. b) El grafico muestra los efectos que genera el espaciado entre espigones.



Fotografía 9. Vista de espigones usados en el re direccionamiento del flujo.

## Poza de sedimentación

La poza de sedimentación sirve para retener y almacenar los sedimentos de flujos de detritos. Tiene por finalidad retener el flujo y evitar mayores desastres aguas abajo (Figura 16, Fotografía 10).

Se debe tener en cuenta las condiciones geológicas, topográficas, así como los materiales utilizados en su construcción.

- Condiciones Geológicas: Es necesario conocer el tipo de terreno del lugar y cual es su capacidad portante para determinar el tipo de construcción más adecuada.
- Condiciones topográficas: Conocer la morfología de la cuenca para saber la capacidad de almacenamiento del vaso, y evaluar con diferentes volúmenes.
- Materiales de Construcción: Pueden ser gaviones, presas de tierra con geomembrana o de concreto armado.

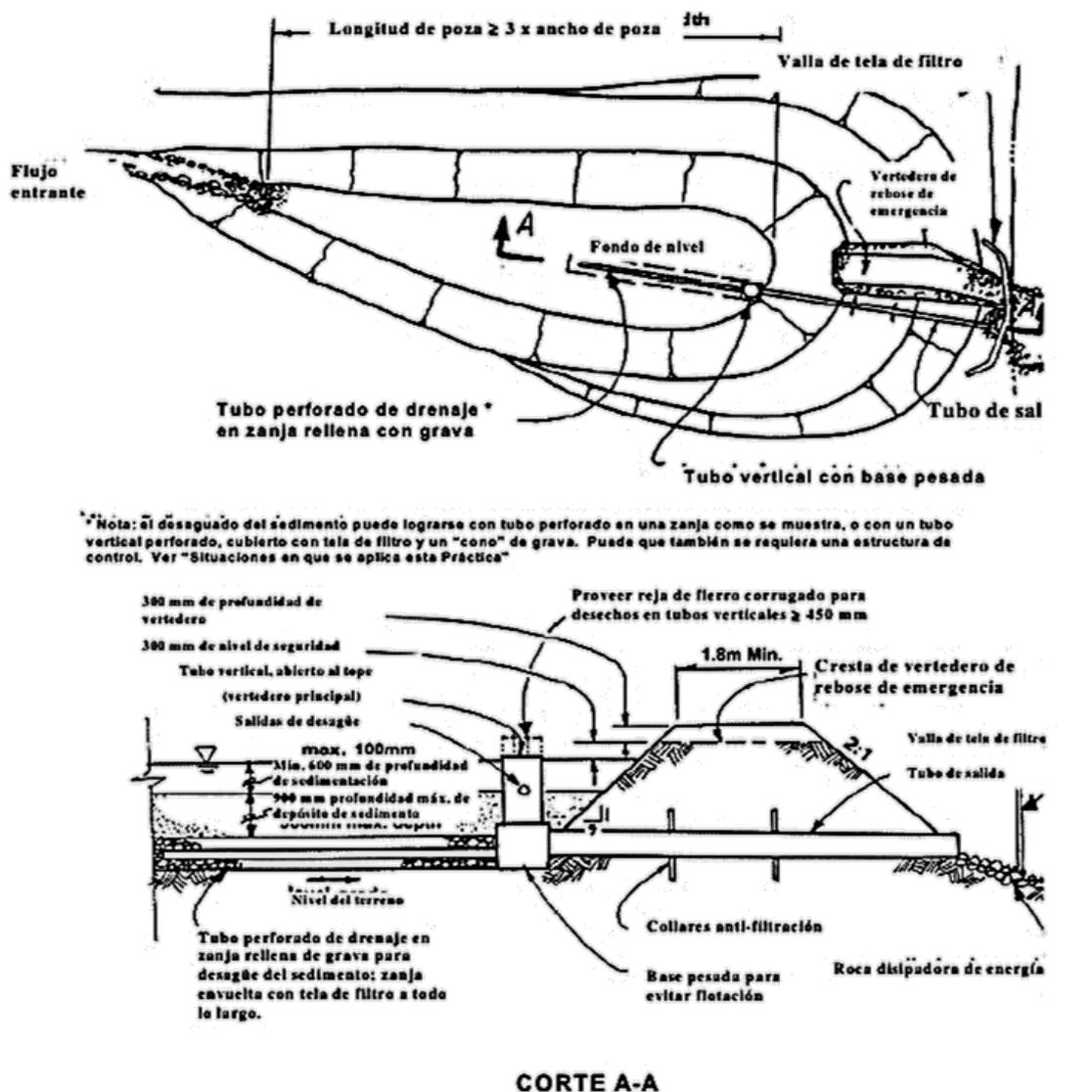


Figura 16. Diseño de poza de sedimentación.



Fotografía 10. Poza de sedimentación de tierra.

## 7. CONCLUSIONES

- El Reactor Nuclear Oscar Miró Quesada de la Guerra, se ubica en un área de Susceptibilidad Media a Alta a peligros geológicos por inundaciones, siendo afectado por eventos aluviónicos ocurridos durante el fenómeno de El Niño de los años 1983 y 1997, también se registraron flujos de detritos del año 2002 y 2009 reactivadas con la presencia de lluvias intensas.
- Las unidades geomorfológicas que se evidencian en la zona evaluada son de origen deposicional, presentan superficies llanas, donde los cauces se ensanchan y la pendiente es baja.
- El sustrato rocoso es de mala calidad, las rocas se encuentran meteorizadas y fracturadas. Son rocas cretáceas que corresponden a las formaciones Huarangal y Quilmana. En las quebradas y el valle se encuentran depósitos aluviales del Pleistoceno y Holoceno.
- La Central Nuclear se encuentra emplazada sobre un abanico aluvial producto de flujos de detritos antiguos reactivados en épocas del fenómeno de El Niño, el cual producto de las precipitaciones pluviales activan las quebradas y generan daños a las instalaciones.
- La cartografía de los depósitos aluviales y la columna estratigráfica pone en evidencia antiguos flujos de detritos que descendieron de las quebradas arrastrando grandes cantidades de material lo que indica que estas son quebradas activas. Al ser esta una zona árida, los flujos corresponden a fenómenos de El Niño pasados o a lluvias de trasvase.
- A partir de la evaluación de informes anteriores realizados por INGEMMET y otros autores, el inventario y cartografiado de peligros geológicos a inundaciones en el sector y el mapa de susceptibilidad a peligros geológicos por inundación, se concluye que la zona de estudio presenta una condición de Alta susceptibilidad a generar flujo de detritos (Huaycos) presentando un Alto Peligro en la zona. Esto constituye un Alto Riesgo para los trabajadores y las instalaciones de la Central Nuclear y que se encuentra asentado en el abanico.

## **8. RECOMENDACIONES**

Las recomendaciones principales están abocadas a los flujos de detritos:

1. Se debe de completar la construcción del dique antiguo, con gaviones o concreto armado y realizar drenajes para excedentes (agua). (Ver Anexos).
2. Construir diques en las quebradas aguas arriba de la Central Nuclear, con la finalidad de contener los flujos de detritos (Huaycos) que descienden de estas, evitando que estas ocasionen daños a la infraestructura de la Central. (Ver Capítulo 6 y Anexos).
3. Construir Muros de contención con gaviones para controlar los flujos de detritos provenientes de las quebradas y proteger la Central Nuclear. (Ver Capítulo 6 y Anexos).
4. Construir espigones para desviar los flujos de detritos, alejarlos de las zonas críticas para prevenir la erosión de los muros de contención y establecer un canal más estable (Ver Capítulo 6).
5. Construir Canales de derivación con disipadores de energía para desviar los flujos de detritos y llevarlos a una poza de acumulación de sedimentos. (Ver Capítulo 6).
6. Construir una poza de sedimentación para retener y almacenar los sedimentos de flujos de detritos. Esta obra puede ser diseñada con gaviones o concreto armado (Ver Capítulo 6).
7. Construir Canales de derivación de excedentes (agua) con dirección a un drenaje principal o río. Estos pueden ser de gaviones o de concreto armado.
8. Construir un muro de protección ante huaycos delante del container de Ingemmet y el Reactor Nuclear ubicados al ingreso a las instalaciones. (Anexos)
9. Todas las recomendaciones técnicas vertidas en el presente informe, tienen que ser diseñadas e implementadas por personal especializado.

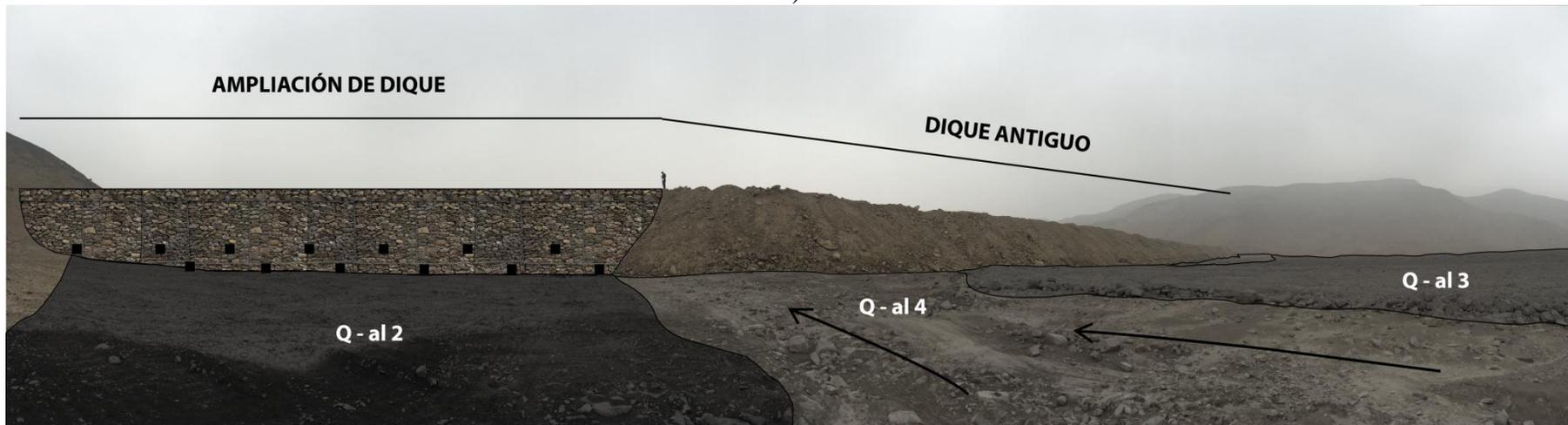
## **BIBLIOGRAFÍA**

- Cruden, D.M. & Varnes, D.J. (1996). Landslide types and processes, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslides investigation and mitigation: Washington D.C, National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 247, p. 36-75.
- Hungr, O. 2005. Classification and Terminology. En GEMMA 2007. Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas. Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. Publicación Geológica Multinacional 4, 404 p., Vancouver.
- Palacios O., Caldas J. y Vela Ch. (1992) Geología de los Cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica. Bol. N° 43, INGEMMET Serie A, 163p.
- Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007), Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, N° 4, 432 p.
- Villacorta, S.; Nuñez, S.; tatard, L.; Pari, W. & Fídel, L. (2015) Peligros geológicos en el área de Lima Metropolitana y la región Callao, INGEMMET. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 59, 156 p.

# **ANEXOS**



a)



b)

Anexo 1. Ampliación y cierre de dique. a) Se observa el dique antiguo. b) Se observa un modelo para el cierre del dique, con sumideros para que discurran los excedentes (agua).



Anexo 2. Modelo para la construcción de dique y la propuesta para su ubicación a 350m aguas arriba del dique antiguo, la construcción puede ser con gaviones o mampostería; estos con sumideros para que discurran los excedentes (agua).



Anexo 3. Modelo para la construcción de dique y muro de contención, las construcciones puede ser con gaviones o mampostería. El dique debe de tener sumideros para que discurran los excedentes (agua) y el muro de contención debería de ir reforzado con espigones para controlar los flujos de detritos (huaycos) futuros.



Anexo 4. Modelo para la construcción muro de contención, para la protección de los container de Ingemmet y el Reactor que se ubica en el ingreso a las instalaciones Estos servirán para controlar los flujos de detritos (huaycos) futuros.

## LISTADO DE FOTOGRAFÍAS Y FIGURAS

### FOTOGRAFÍAS

- Fotografía 2. Dique de mampostería.  
Fotografía 2. Muro de gaviones en pleno proceso constructivo.  
Fotografía 3. Presa gaviones utilizada para controlar flujo de detritos.  
Fotografía 4. Construcción de una presa de gaviones  
Fotografía 5. Ejemplo de construcción de muro con gaviones y colchoneta de gaviones para evitar el socavamiento y conservar el muro.  
Fotografía 6. Canalización de cauce teniendo como elemento estructural celda de gaviones.  
Fotografía 7. Canalización de cauce teniendo como elemento estructural celda de Colchonetas.  
Fotografía 8. Colchonetas de piedra y gaviones para la protección de erosión lateral y/o socavamiento.  
Fotografía 9. Vista de espigones usados en el re direccionamiento del flujo.  
Fotografía 10. Poza de sedimentación de tierra.

### FIGURAS

- Figura 1. Mapa de ubicación de la zona evaluada.  
Figura 2. Mapa geológico.  
Figura 3. Esquema de flujos canalizado, según Cruden y Varnes (1996).  
Figura 4. Mapa de identificación de depósitos aluviales.  
Figura 5. Se observa 3 eventos aluvionicos (Q-al 2, Q-al 3 y Q-al 4), el evento Q-al 3 corresponde al fenómeno de El Niño del año 1997 y Q-al 4 corresponde al año 2002.  
Figura 6. Se observa tres depósitos aluviales antiguos al depósito Q-al2 que corresponden a eventos aluvionicos originados por las lluvias del fenómeno de El Niño o lluvias de Trabase.  
Figura 7. Se observa el dique construido para protección contra flujos de detritos. Sus dimensiones son 30 x 350 x 8.5m  
Figura 8. Se observa el dique construido y los depósitos retenidos del flujo de detritos que descendieron de la quebrada el año 2002.  
Figura 9. Se observa el muro de contención protegiendo el reactor, soporte en parte el flujo de detritos del año 2002.  
Figura 10. Se observa el reactor y el flujo del 2002. La línea roja muestra el nivel donde llego el flujo de detritos del año 2002.  
Figura 11. Propuestas de obras para mitigación.  
Figura 42. Perfiles más comunes de muros de gaviones para la retención de flujos.  
Figura 13. Esquema del diseño de una presa de gaviones  
Figura 14. Esquema de construcción de un espigón.  
Figura 15. a) Se observa la disposición de espigones a lo largo de un río. b) El grafico muestra los efectos que genera el espaciado entre espigones.  
Figura 16. Diseño de poza de sedimentación.