

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE  
GROHMANN-TACNA**

**Facultad De Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia**

**ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
GEOLÓGICA – GEOTECNIA**

**MODELAMIENTO HIDRODINÁMICO PARA DETERMINAR ZONAS  
VULNERABLES EN EL CAUCE DEL RÍO SECO ZONA URBANA - TACNA**

**INFORME DE TESIS PRESENTADO POR:**

**EDGAR CHRISTIAN JHONATHAN TISNADO VALDIVIA**

Para optar el grado académico de:

**Ingeniero Geólogo - Geotecnista**

**TACNA-PERU**

**2013**

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN-TACNA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
GEOLÓGICA – GEOTECNIA

**“MODELAMIENTO HIDRODINÁMICO PARA DETERMINAR ZONAS  
VULNERABLES EN EL CAUCE DEL RÍO SECO ZONA URBANA - TACNA”**

Tesis sustentada y aprobada el 15 de Julio del 2013, integrada por el siguiente jurado:

PRESIDENTE



ING. LUIS A. CORNEJO NAVARRETTY

MIEMBRO – SECRETARIO



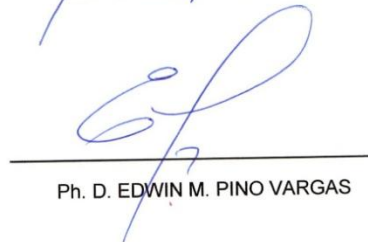
ING. FREDY C. CABRERA OLIVERA

MIEMBRO



ING. CARMEN R. ROMÁN ARCE

ASESOR DE TESIS



Ph. D. EDWIN M. PINO VARGAS

*A mis padres, hermana, mamá Chela,  
papá Felipe, papá Eusebio, Jeffrey y  
Jackie por su cariño y apoyo incondicional.*

## ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN.....	1
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	2
1.1 ASPECTOS GENERALES.....	3
1.1.1 UBICACIÓN.....	3
1.1.2 ACCESIBILIDAD.....	4
1.1.3 CLIMA.....	5
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
1.2.1 IDENTIFICACION DEL PROBLEMA.....	5
1.2.2 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	7
1.3 OBJETIVOS.....	7
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	7
1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	7
1.4 HIPÓTESIS PLANTEADA.....	8

<b>1.5 JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>10</b>
<b>2.1 REVISIÓN DE INVESTIGACIONES REALIZADAS.....</b>	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO III: MATERIAL Y MÉTODOS.....</b>	<b>14</b>
<b>3.1 GEOMORFOLOGÍA.....</b>	<b>14</b>
<b>3.1.1 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL.....</b>	<b>14</b>
<b>3.1.2 GEOMORFOLOGÍA LOCAL.....</b>	<b>16</b>
<b>3.2 GEOLOGÍA.....</b>	<b>20</b>
<b>3.2.1 GEOLOGÍA REGIONAL.....</b>	<b>20</b>
<b>3.2.2 GEOLOGÍA LOCAL.....</b>	<b>23</b>
<b>3.3 GEODINÁMICA.....</b>	<b>28</b>
<b>3.3.1 GEODINÁMICA INTERNA.....</b>	<b>28</b>
<b>3.3.2 GEODINÁMICA EXTERNA.....</b>	<b>31</b>
<b>3.4 EVALUACIÓN DE RIESGOS.....</b>	<b>34</b>
<b>3.4.1 PELIGROSIDAD SÍSMICA.....</b>	<b>40</b>

<b>3.5</b>	<b>GEOTECNIA</b> .....	<b>42</b>
<b>3.5.1</b>	<b>MECÁNICA DE SUELOS</b> .....	<b>43</b>
<b>3.5.2</b>	<b>CÁLCULO DE LA SOCAVACIÓN GENERAL</b> .....	<b>47</b>
<b>3.5.3</b>	<b>ESTABILIDAD DE TALUDES</b> .....	<b>50</b>
<b>3.6</b>	<b>EVALUACIÓN HIDROLÓGICA</b> .....	<b>57</b>
<b>3.6.1</b>	<b>CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DEL RÍO SECO</b> .....	<b>57</b>
<b>3.6.2</b>	<b>TOPOGRAFÍA DEL LECHO</b> .....	<b>60</b>
<b>3.6.3</b>	<b>HIDROLOGÍA</b> .....	<b>63</b>
<b>3.7</b>	<b>DESARROLLO DEL MODELO HIDRÁULICO</b> .....	<b>65</b>
<b>3.7.1</b>	<b>COMPONENTES DEL MODELO</b> .....	<b>66</b>
<b>3.7.2</b>	<b>ELABORACIÓN DEL MODELO Y SIMULACIÓN</b> .....	<b>68</b>
<b>3.7.3</b>	<b>RESULTADOS DE LA MODELACIÓN</b> .....	<b>72</b>
	<b>CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	<b>78</b>
<b>4.1</b>	<b>PRIMER ESCENARIO PERIODOS DE RETORNO PARA 500 Y 1000 AÑOS</b> .....	<b>78</b>

<b>4.2</b>	<b>SEGUNDO ESCENARIO MODIFICACIÓN DE LAS SECCIONES MÁS ESTRECHAS DONDE LOS MUROS HAN COLAPSADO.....</b>	<b>79</b>
<b>4.3</b>	<b>TERCER ESCENARIO MODIFICACIÓN DE LA SECCIÓN FINAL POR ACUMULACIÓN DE SEDIMENTO.....</b>	<b>86</b>
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>91</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>96</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>98</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura N°01.</b> Ubicación de la zona de estudio.....	3
<b>Figura N°02.</b> Imagen satelital de la zona de estudio.....	4
<b>Figura N°03.</b> Imagen en formato DEM de la zona de estudio.....	11
<b>Figura N°04.</b> Ubicación geomorfológica de la zona de estudio.....	16
<b>Figura N°05.</b> Mapa de distribución de isoaceleraciones.....	31
<b>Figura N°06.</b> Clasificación del peligro de nuestra zona de estudio.....	37
<b>Figura N°07.</b> Desgaste en el fondo en la margen de un río.....	47
<b>Figura N°08.</b> Calculo de la Socavación General.....	49
<b>Figura N°09.</b> Calculo del Factor de Seguridad.....	54
<b>Figura N°10.</b> Calculo de esfuerzos de una dovela representativa.....	55
<b>Figura N°11.</b> Erosión y sedimentación del meandro ubicado entre las progresivas 1+080 y 1+200.....	59
<b>Figura N°12.</b> Parte del plano topográfico desde progresivas 0+100 hasta 0+140.....	62
<b>Figura N°13.</b> Sección transversal de la progresiva 0+110.....	63
<b>Figura N°14.</b> Vista en planta del eje hidráulico utilizado en HEC-RAS.....	69

<b>Figura N°15.</b> Vista General del Modelo Desarrollado.....	70
<b>Figura N°16.</b> Parámetros T=50 años, sección transversal 0+000, tirante crítico 2,30 m.....	70
<b>Figura N°17.</b> Parámetros de simulación T=100 años, sección transversal 0+000, tirante crítico 2,55 m.....	71
<b>Figura N°18.</b> Parámetros de simulación T=50 años, sección transversal 1+730, tirante crítico. 2,84 m.....	71
<b>Figura N°19.</b> Parámetros de simulación T=100 años, sección transversal 1+730, tirante crítico. 3,29m.....	72
<b>Figura N°20.</b> Sección de flujo en la progresiva 0+640 periodo de retorno T=50 y T=100 años.....	75
<b>Figura N°21.</b> Parámetros de simulación T=50 años, sección transversal 0+640, tirante crítico 4,17 m.....	75
<b>Figura N°22.</b> Parámetros de simulación T=100 años, sección transversal 0+640, tirante crítico 4,55 m.....	76
<b>Figura N°23.</b> Sección de flujo, progresiva 0+670 para periodos de retorno de 50 y 100 años.....	80
<b>Figura N°24.</b> Parámetros de simulación T=50 años, sección transversal 0+670, tirante crítico 4,29 m.....	81

<b>Figura N°25.</b> Parámetros de simulación T=100 años, sección transversal 0+670, tirante crítico 4,69 m.....	81
<b>Figura N°26.</b> Sección de flujo modificada 0+670 incrementando 1,61 m, la base del lecho para periodos de retorno de 50 y 100 años.....	82
<b>Figura N°27.</b> Parámetros de simulación T=50 años, sección transversal 0+670 modificada, tirante crítico 5,45 m.....	81
<b>Figura N°28.</b> Parámetros de simulación T=100 años, sección transversal 0+670 modificada, tirante crítico 5,85 m.....	83
<b>Figura N°29.</b> Sección de flujo para la progresiva 0+680 para periodos de retorno de 50 y 100 años.....	83
<b>Figura N°30.</b> Parámetros de simulación T=50 años, sección transversal 0+680, tirante crítico 4,22 m.....	84
<b>Figura N°31.</b> Parámetros de simulación T=100 años, sección transversal 0+680, tirante crítico 4,62 m.....	84
<b>Figura N°32.</b> Sección de flujo modificada 0+680 incrementando 1,61 m, la base del lecho para periodos de retorno de 50 y 100 años.....	85
<b>Figura N°33.</b> Parámetros de simulación T=50 años, sección transversal 0+680 modificada, tirante crítico 5,24 m.....	85
<b>Figura N°34.</b> Parámetros de simulación T=100 años, sección transversal 0+680 modificada, tirante crítico 5,65 m.....	86

<b>Figura N°35.</b> Sección de flujo para la progresiva 1+730 para periodos de retorno de 50 y 100 años.....	87
<b>Figura N°36.</b> Parámetros de simulación T=50 años, sección transversal 1+730, tirante crítico 2,84 m.....	88
<b>Figura N°37.</b> Parámetros de simulación T=100 años, sección transversal 1+730, tirante crítico 3,29 m.....	88
<b>Figura N°38.</b> Sección modificada de flujo para la progresiva 1+730 para periodos de retorno de 50 y 100 años.....	89
<b>Figura N°39.</b> Parámetros de simulación T=50 años, sección modificada transversal 1+730, tirante crítico 4,46 m.....	89
<b>Figura N°40.</b> Parámetros de simulación T=100 años, sección modificada transversal 1+730, tirante crítico 4,90 m.....	90

## LISTA DE CUADROS

### Pág.

<b>Cuadro N°01.</b> Grados de Susceptibilidad y Valores de Intensidad.....	36
<b>Cuadro N°02.</b> Magnitudes, número de sismos y frecuencias.....	40
<b>Cuadro N°03.</b> Magnitudes, número de sismos, frecuencias y logaritmos de las frecuencias.....	41
<b>Cuadro N°04.</b> Periodo de retorno para sismos de gran magnitud.....	42
<b>Cuadro N°05.</b> Clasificación del Factor de Seguridad método de Bishop Simplificado.....	52
<b>Cuadro N°06.</b> Aceleración de la gravedad obtenida del software Crisis 2007.....	53
<b>Cuadro N°07.</b> Caudal Máximo y periodo de retorno.....	64

## **RESUMEN**

El presente trabajo pretende proporcionar información sobre modelación hidráulica para determinar las zonas vulnerables en el cauce del río Seco utilizando como herramienta básica el software HEC RAS de mucha utilidad para este tipo de investigaciones.

Este estudio realiza una breve exposición de las características del programa en su versión 4.1.0, a partir de un ejemplo real enfocando solamente al uso de las funciones básicas.

Los resultados de esta investigación demostraran las causas del colapso de muros de contención mediante una simulación de cauce natural además de brindar información complementaria de temas relacionados a parámetros físicos del terreno e hidrológicos de la zona de estudio.

Este estudio desarrolla el manejo de modelamiento hidrodinámico de una manera simple utilizando software libre.

## **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

La expansión urbana es un fenómeno que en los últimos años ha generado un crecimiento rápido y desordenado de varias ciudades en nuestro país, muchas veces este crecimiento ha llegado a ocupar espacios donde anteriormente circulaban corrientes naturales de ríos, zonas arenosas de desierto o cercanas al mar, zonas alejadas destinadas para rellenos sanitarios, laderas de cerros, etc.

En la actualidad este fenómeno ha generado mucha preocupación por que principalmente los periodos lluviosos y los movimientos sísmicos han evidenciado la vulnerabilidad y el riesgo que significa ocupar espacios que no están destinados para proyectar ciudades o terrenos de cultivo.

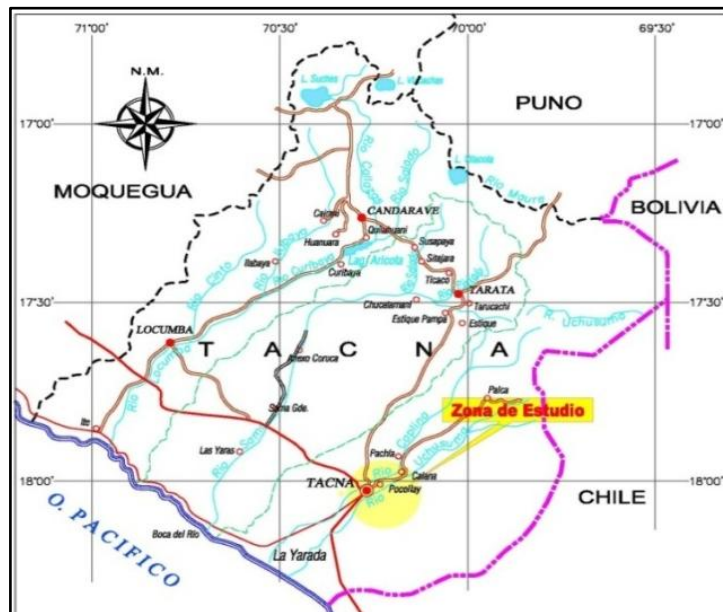
La necesidad de cuantificar y tener un registro detallado de la frecuencia y la intensidad de los fenómenos naturales y que estos pudieran significar un peligro para las zonas urbanas han motivado al desarrollo de este trabajo el cual pretende contribuir con un modelamiento hidráulico en el sector cercano a la zona urbana por donde discurre el río Seco y que bordea el cerro Arunta, ubicado en el distrito de Gregorio Albarracín en la provincia de Tacna, este modelamiento proporcionará información del comportamiento del río bajo condiciones extremas de descarga además de información de parámetros físicos del terreno que sirvan y beneficien a futuros proyectos de encauzamiento, muros de contención y defensas ribereñas.

## 1.1 ASPECTOS GENERALES

### 1.1.1 UBICACIÓN

La zona de estudio se encuentran ubicada en la coordenada geográfica - 18°1'49.78" latitud -70°14'18.41" longitud y UTM 368909E– 8006002N (Datum WGS 84) y altitudinalmente se ubica en la cota 558 m.s.n.m.

Políticamente se ubica en la región y provincia de Tacna, distrito Gregorio Albarracín Lanchipa. Ver Figura N°01.



**Figura N°01.**Ubicación de la zona de estudio.

### 1.1.2 ACCESIBILIDAD

El acceso principal a la zona de estudio es de aproximadamente 1,58 Km. desde la entrada al distrito Gregorio Albarracín Lanchipa y se inicia en el óvalo Cuzco siguiendo la avenida Collpa hasta llegar a la ruta del desvío hacia urbanización Los Delfines, el trayecto continua hasta llegar al cerco perimétrico del Cuartel Tarapacá, es en este punto donde comienza la evaluación del río Seco para el siguiente trabajo de tesis. Ver Figura N°2.



*Figura N°02. Imagen satelital de la zona de estudio.*

### **1.1.3 CLIMA**

El clima es del tipo desértico, con escasas precipitaciones pluviales que se presentan en forma de garúas durante los meses de invierno originadas por las densas neblinas que se levantan del litoral. Las lluvias anuales que norman el régimen de los ríos cercanos a la zona de estudio se producen durante el verano austral a lo largo de la región andina, desde alturas superiores a las 2,000 m.s.n.m.

Existen ciertas variaciones de temperatura a lo largo del valle Caplina y zonas cercanas a nuestra zona de estudio pero en general los meses de Enero y Febrero, tienen promedios de 20°C y 21°C respectivamente, son los más calurosos del año y los meses de Julio y Agosto, con promedios de 12.63°C y 12.10°C, son los más fríos (Fuente SENAMHI).

## **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.2.1 IDENTIFICACION DEL PROBLEMA**

Palomino (2005), refiere que todas las áreas urbanas donde el hombre intensifica sus actividades económicas y sociales son consideradas problemas ambientales. Todos los desastres naturales deterioran el entorno ambiental del hombre porque degradan la calidad de vida de sus habitantes, la calidad de los recursos naturales renovables existentes y producen un desequilibrio ecológico substancial, y el hecho hace de que dichas áreas se hagan vulnerables a la actividad de los diversos desastres naturales, también el propio hombre deteriora su

seguridad; así por ejemplo el abandono de andenería en ciertas zonas, el sobrepastoreo con ganado caprino y por consiguiente la desaparición de pastos, arbustos y suelos pueden acelerar los procesos de avenidas de huaycos u otros flujos torrenciales.

Medina (2009), manifiesta que el fenómeno de las inundaciones, de acuerdo con la características climáticas del lugar, puede estar presente en algunas zonas urbanas, suburbanas y rurales de un territorio, y sus efectos pueden ir progresivamente agravándose con impactos negativos de la vida y economía de la región debido entre otros aspectos, a la construcción de infraestructuras sociales de toda índole en el valle de inundación de los cauces, la disminución de la capacidad de evacuación de los cauces producto de la construcción de puentes en diferentes zonas de ellos, que los cauces se han ido progresivamente obstruyéndose como resultado de un permanente proceso de sedimentación. La sedimentación en gran medida es el resultado de los fenómenos de erosión que se debe, en algunos casos, a la falta de medidas para la conservación de la cobertura vegetal de las cuencas hidrográficas. En estas condiciones, los lechos de los ríos de las cuencas sufren un proceso continuo y progresivo de azolvamiento, lo cual por una parte disminuye la sección del cauce y reduce la capacidad del río para conducir grandes caudales, y por otra parte, provoca cambios en el curso de los afluentes ramales principales del sistema fluvial: La pobre protección de las laderas en algunas zonas de riesgo sometidas a las inundaciones, el insuficiente drenaje de los suelos de la zona alta de las cuencas

originado por la propia estructura de los mismos que infiltran poco y escurren casi toda la precipitación y la considerable obstrucción de los cauces en algunas zonas.

### **1.2.2 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA**

- **ÁMBITO SOCIAL:** El estudio se ubica en el área urbana, estando orientado al recorrido fluvial del río Seco, el cual se activa en periodos de lluvias o avenidas que se dan entre diciembre y marzo de los años húmedos.
- **ÁMBITO ESPACIAL:** El estudio se realizará en el distrito de Gregorio Albarracín, provincia y región de Tacna, tomando la zona urbana de la localidad de Tacna.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Usando el modelo hidrodinámico del río Seco en el tramo de la zona urbana de la ciudad de Tacna, determinar la vulnerabilidad de la zona de estudio considerando el comportamiento del río bajo condiciones extremas de descargas.

#### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Identificar el tramo del río Seco que comprende la zona urbana de la ciudad de Tacna.
- Medir y/o determinar en campo los parámetros hidráulicos que se requieren para llevar a cabo el modelamiento del río.

- Modelar el tramo encauzado del río Seco dentro de la zona urbana bajo condiciones extremas de descargas.
- Identificar la problemática y situación actual del sector urbano de la ciudad de Tacna, indicando la importancia de los proyectos de defensa ribereña.
- Identificar las causas de colapso de los muros de concreto existentes.

#### **1.4 HIPÓTESIS PLANTEADA**

La implementación del modelo hidrodinámico del cauce del río Seco en la zona urbana de la ciudad de Tacna, permitirá estudiar la vulnerabilidad del cauce a las avenidas máximas o extremas y establecer medidas de mitigación.

#### **1.5 JUSTIFICACIÓN**

Debido a las fuertes precipitaciones pluviales en los meses de Enero – Marzo, en la zona alta de la cuenca, la Municipalidad Distrital de Gregorio Albarracín desarrollo un programa de prevención de inundaciones en las márgenes del río Seco contemplando la posibilidad de desbordes del río afectando a las poblaciones asentadas en el mismo, el programa consistió en el encauzamiento del río Seco a través de muros de contención a lo largo de las márgenes del río, pero las precipitaciones han producido la reactivación del cauce y grados de socavación que han ocasionado el colapso de las estructuras colocadas en el borde del cauce.

Es motivo de la presente investigación, modelar el comportamiento hidráulico del río Seco en el tramo de la zona urbana de la ciudad de Tacna (Distrito Gregorio

Albarracín Lanchipa), para verificar los niveles de agua alcanzados bajo condiciones extremas de precipitaciones pluviales e indicar la importancia de los proyectos de defensa ribereñas.

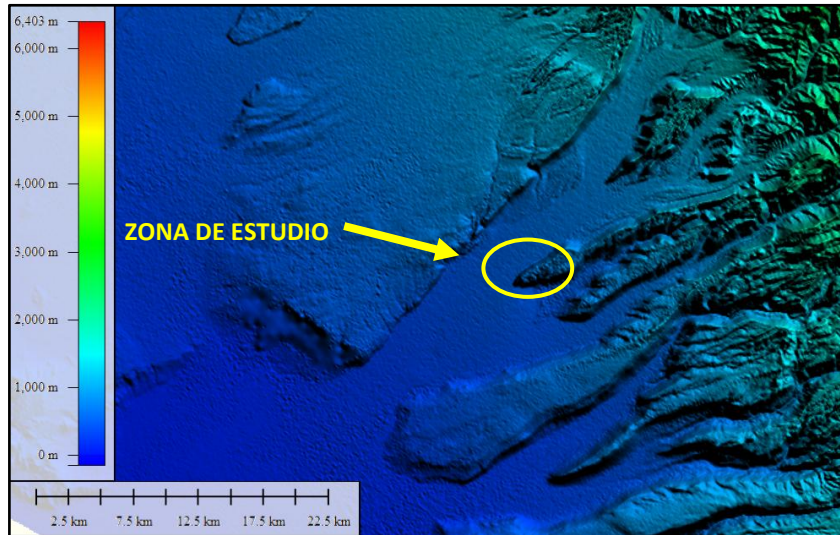
## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

En este capítulo se describen los trabajos, investigaciones y resultados obtenidos, relacionadas a este tema, los cuales nos sirven como referencia y ayuda para orientarnos, de esta manera manejar un criterio más adecuado que nos conduzca al mejor desarrollo posible de esta investigación.

### **2.1. REVISIÓN DE INVESTIGACIONES REALIZADAS**

La primera etapa fue la identificación y extensión de la zona de estudio esto fue posible gracias a imágenes satelitales de Google Earth en formato DEM (digital elevation model ver Figura N°03) para conocer la geomorfología y topografía referencial.

Esta topografía referencial (curvas de nivel cada 50m) extraída de la imagen satelital de la zona de estudio en formato DEM sirvió también para digitalizar el plano geológico regional.



**Figura N°03.** Imagen en formato DEM de la zona de estudio.

La geomorfología y geología regional del estudio y las zonas cercanas como la del sector del cerro Arunta, las zonas de cantera, terrazas aluviales donde se desarrollaron los sectores urbanos muy cercanos al lecho del río se complementó con el libro de “Geomorfología” de Derrau (1966), la publicación del “Primer Ciclo de Conferencias de Geomorfología” Laharie (1973) y “Geología del cuadrángulo de Tacna (37-V)” Wilson y García (1962).

Para desarrollar el modelo de simulación era imprescindible contar con el levantamiento topográfico a detalle con curvas de nivel cada metro o medio metro si fuera posible, se obtuvo el plano del levantamiento topográfico del año 2011 de la Subgerencia de Ingeniería y Obras de la Municipalidad Distrital Gregorio Albarracín Lanchipa, pero este trabajo no desarrolló las secciones esperadas que reflejen la forma del lecho del río para poder desarrollar un modelamiento, así que la

conclusión fue elaborar un nuevo levantamiento topográfico de la zona del lecho y los flancos del río entre el cerco perimétrico de cuartel Tarapacá hasta el puente de acceso a la zona de canteras, este estudio topográfico permitió conocer las dimensiones y la extensión del muro de contención existente en la zona de estudio.

La siguiente etapa fue tener una idea de cómo realizar un modelo hidrodinámico y gracias a la publicación de “HEC -RAS Ejemplos”. Villón (2009), se pudo conocer los diversos tipos de casos y ejemplos de modelos y escoger el que más se adecuara a nuestro estudio.

Conocidos los parámetros para desarrollar el modelamiento se necesitaba información histórica de máximas avenidas, caudales, periodos de retorno, coeficientes de rugosidad, etc. En general toda la información hidrológica de la zona de estudio fue posible gracias al estudio de Análisis de Máximas Avenidas e Inundaciones. Pino (2012) y el trabajo de Modelamiento Hidráulico HEC – RAS Caso Río Seco Arunta, Maestría En Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible Escuela de Post Grado de La Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Frisancho, Linares, Mamani, Tito, Feliciano y Solis (2012).

Para la etapa de interpretación de resultados del modelo hidrodinámico y evaluación de riesgos se contó con el estudio de Simulación Hidráulica Diseño y Elaboración de Presupuesto para Construcción de Defensas ribereñas en la Localidad de Ticapampa de la Municipalidad Distrital de Ilabaya 2008.

Se obtuvieron algunos parámetros físicos del suelo de cimentación de la zona de estudio, provenientes de los análisis de laboratorio de mecánica de suelos de las muestras extraídas de la excavación de calicatas en el lecho del río y en la margen derecha de talud natural, el cual quedó al descubierto por el colapso del muro de contención, de esta información fue posible calcular el grado de socavación general y estabilidad de taludes.

Para conocer el peligro que representan los movimientos sísmicos a las obras civiles, se consultó al estudio de “Peligro Sísmico en el Perú” Castillo y Alva (1993) el estudio contiene el mapa de distribución de isoaceleraciones del Perú para 10% de excedencia en 50 años, de esta manera se pudo ubicar la región de Tacna y los márgenes de aceleración de la zona de estudio.

## **CAPÍTULO III: MATERIAL Y MÉTODOS**

En este capítulo se obtendrá toda la información necesaria de temas relacionados a esta investigación como son: geomorfología, geología, geodinámica, evaluación de riesgos, geotecnia, evaluación hidrológica y finalmente desarrollo del modelo.

### **3.1 GEOMORFOLOGÍA**

#### **3.1.1 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL**

La zona de estudio se ubica geomorfológicamente en la unidad regional de las Pampas Costaneras (ver Figura N°04), y la subunidad de Valles y Quebradas, la cual está constituida por relieve con pendientes comprendidas entre 4% a 6% y altitudinalmente se encuentra ubicada entre los 200 a 1400 msnm. Esta unidad fue incidida por los ríos Caplina, Uchusuma y por una serie de quebradas durante la ocurrencia de las crisis climáticas, estas se instalaron siguiendo discontinuidades tectónicas y se han instalado en forma paralela en dirección NE a SW. Restos de la unidad geomorfológica Pampa Costanera, lo constituyen los cerros Arunta, Malos Nombres, Los Churcos, Hospicio Antiguo, etc.

En esta unidad geomorfológica, se encuentra emplazada nuestra zona de estudio, el río Seco está constituido con los aportes del río Uchusuma-Vilavilani, cuya pendiente es de aproximadamente 6%, el cauce actual, se ha emplazado sobre un cauce antiguo constituido por depósitos aluviales y luego de su confluencia con la

quebrada Cobani, discurre en una zona llana para luego acercarse al pie del cerro Arunta. También, de manera artificial, con los aportes del río Caplina, el cual fue desviado hacia el río Seco.

Las unidades geomorfológicas, de carácter local, encontradas en la zona de estudio y alrededores se identifican como: Terrazas fluviales desde primer orden hasta de tercer orden como las terrazas aluviales cercana a la zona de las Vilcas, un cono aluvial proveniente de la quebrada El Diablo al Este de la zona de estudio, laderas del cerro Arunta con inclinaciones variables entre 20 a 45° y planicie Huaylillas que se encuentran en la cima del cerro del mismo nombre.

La zona de estudio se desarrolla como parte del valle del río Caplina, a una altura entre 545 a 570 m.s.n.m, frente a la ladera sur del cerro Arunta.

La superficie del cerro Arunta forma una gran llanura denominada Planicie del Huaylillas y está cubierta por suelos residuales y arenas eólicas que le dan una tonalidad rosada - marrón clara.

La explotación de canteras ubicadas aguas abajo de nuestra zona de estudio, han formado depresiones en la morfología natural del terreno que derivan en la formación de grandes hoyos que influirían en la inundación de estos sectores y desvío del cauce normal, siendo un potencial peligro para la estructura existente (muro de contención) ya que modifican el nivel de base del río Seco.



**Figura N°04.** Ubicación geomorfológica de la zona de estudio.

### 3.1.2 GEOMORFOLOGÍA LOCAL

La descripción geomorfológica de la zona de estudio se dividirá en las siguientes partes:

- **GEOMORFOLOGÍA DE LA MARGEN IZQUIERDA DEL RÍO SECO**

La margen izquierda del río Seco es parte del pie de la ladera del cerro Arunta, el perfil de ladera tiene en la parte baja y en contacto con el cauce una pendiente promedio de 12° calificada como baja, incrementándose hacia arriba a una pendiente promedio 24° calificada como media, el principal agente modelador del relieve para esta margen lo constituye las variaciones climáticas extremas y el viento ver Foto N°01.



*Foto N°01. Fotografía tomada desde el lecho inactivo del río donde se puede apreciar la margen izquierda.*

- **GEOMORFOLOGÍA DEL LECHO DEL RÍO SECO**

Como se mencionó anteriormente este cauce pertenece a un río activo en época de lluvias.

En el cauce del río se puede distinguir los siguientes tipos de lechos:

- a. **Lecho mayor o lecho de inundación**, es toda zona que se inunda y que es el lecho que ocupa las máximas avenidas, este ha sido posteriormente modificado por los residuos sólidos echados por los pobladores y por las defensas ribereñas.

- b. **Lecho ordinario o aparente**, es la zona bien determinada entre las orillas ocupadas por materiales rodados por las aguas del río, modificado parcialmente por las obras de defensa ribereña.
- c. **Lecho de estiaje o canal de estiaje**, a menudo ocupa solo una pequeña parte del lecho aparente sobre todo en los casos de los ríos de régimen irregular este canal no está delimitado por márgenes claras divaga por el interior del lecho aparente. El río Seco, durante la época de estiaje no conduce agua.

En cuanto a la forma del río se le clasifica como meandriforme con una pendiente en declive longitudinal de 3,064% aguas abajo y presenta alteraciones de sinuosidad del lecho, ocasionadas por la construcción de defensas ribereñas



**Foto N°02.** Se aprecia la conformación de los diferentes tipos de lecho, A: Lecho Mayor o de inundación B: Lecho Ordinario o aparente C: Lecho o canal de estiaje.

- **GEOMORFOLOGÍA DE LA MARGEN DERECHA**

La geomorfología de esta zona está compuesta en la base del lecho por una pendiente promedio de  $28^\circ$  sobre la cual se aprecia la terraza aluvial y está constituida por acumulaciones de residuos sólidos, material generado por las construcciones cercanas y la del muro de contención, estos materiales modificaron la sinuosidad de la corriente del río alterando la zona convirtiéndola en altamente riesgosa ver Foto N°03.



*Foto N°03. Margen derecha constituido por los materiales descritos anteriormente.*

## **3.2 GEOLOGÍA**

### **3.2.1 GEOLOGÍA REGIONAL**

Las principales unidades litoestratigráficas y rocas de nuestra zona de estudio son las que pertenecen a las formaciones de edades que van desde el Plioceno a depósitos Cuaternarios recientes, la unidad más antigua en la zona de estudio es el sistema Plioceno, a continuación se describe desde la unidad más antigua a la más reciente:

- **Formación Huaylillas Miembro Superior (Nm-hu\_s)**, esta formación se encuentra yaciendo a la arenisca de la Formación Moquegua Superior y conformando predominantemente la parte del flanco izquierdo aguas abajo de la zona del cauce del río Seco denominada cerro Arunta, es netamente tobáceo y está constituido por tobas riolíticas y riocácicas de color rosáceo intercalados con delgados niveles de areniscas masivas de tonalidades beige clara.
- **Formación Millo (Nm-mi)**, Esta formación aflora esencialmente en el fondo de las quebradas a manera de zonas amplias y planas y sirven como base a los ríos Caplina, Sama y Hospicio su relación de piso está dada por el grado de erosión de la quebrada observándose que por las zonas de los cerros perdido y pirámide se encuentran yaciendo en contacto erosivo a la formación Moquegua superior, los actuales estudios demuestran que estos conglomerados denominados Calientes corresponderían a depósitos aluviales que conforman las evidencias de un fuerte levantamiento de la Cordillera Occidental suceso registrado con depósitos potentes de conglomerados denominados regionalmente como Formación Millo.

En la zona de estudios esta formación abarca la zona más elevada de cerro Arunta pasando el sector denominado Piedras Anchas también se logra distinguir en la parte más elevada cerro la Mesada hacia el SO de la zona de estudio pasando la quebrada del Diablo con contenido de limolitas y areniscas

de tonalidades rosáceas y beige claras, conglomerados polimicticos es decir rocas sedimentarias derivadas de varios tipos de roca.

- **Depósitos aluviales (Qh-al)**, Bajo esta denominación genérica se describen las terrazas fluviales, conos de deyección, ambientes deltaicos y las acumulaciones antiguas de arenas gravas y arcillas que se encuentran en los lechos de los ríos actuales los cuales forman principalmente las zonas agrícolas y urbanas de la zona de estudio.
- **Depósitos Eluviales (Qh-e)**, en el área de estudio estos depósitos se encuentran conformando gran parte de la ladera del cerro Arunta en el sector previo al lecho del río superficialmente presenta arenas cuarzosas y limosas con contenido de arcillas y partículas de caolín de tonalidades rosáceas y beige claras y tienen un espesor aproximado de metro a metro y medio.

La información de geología regional y la descripción de las principales unidades litoestratigráficas que conforman la zona de estudio se complementa con la digitalización de la zona de influencia del estudio del plano geológico regional a escala 1:50 000 del cuadrángulo de Tacna hoja 37-V fuente del Instituto Geológico Minero Metalúrgico INGEMMET y la información topográfica e hidrológica del Instituto Geográfico Nacional IGN, este trabajo abarca una extensión aproximada de 4300 ha y curvas de nivel cada 50 metros, el plano geológico regional de la zona de estudio se encuentra en los anexos.

### **3.2.2 GEOLOGÍA LOCAL**

Al inicio del trayecto y cerca al muro perimétrico del cuartel Tarapacá está constituido superficialmente por depósitos eólicos de tipo loess, tobas arenas finas, limos y arcillas de tonalidades rosáceas y se extienden hasta la parte más sinuosa del cauce natural.

Antes de llegar a la parte más sinuosa los materiales predominantes que conforman la ladera del cerro Arunta son las tobas compactadas y areniscas de tonalidades rosáceas y beige claras ver Foto N°04.

La corriente del río a trasportado los materiales descritos anteriormente erosionando la arenisca en el sector más sinuoso de la margen derecha.

Pasando la parte más sinuosa el trayecto se pueden identificar depósitos tecnógenos esto quiere decir acumulaciones formadas en el proceso de los trabajos de construcción del muro de contención de la margen derecha conformado por arenas trasportadas para elaboración de concreto, y se extienden hasta el final del trayecto en el puente que conduce a las canteras ver Foto N°05.



*Foto N°04. Se puede apreciar las areniscas.*



*Foto N°05. Se puede apreciar los depósitos tecnógenos y material de cantera.*

Las unidades litoestratigráficas superficiales predominantes en la zona de estudio son: La formación Huaylillas miembro superior, los depósitos cuaternarios conformados por: depósitos aluviales, eólicos, tecnógenos y fluviales. La descripción de estos depósitos se realizara a continuación desde la unidad más antigua a la más reciente.

- **Formación Huaylillas Miembro Superior (Nm-hu\_s)**

Como se había mencionado anteriormente esta formación se encuentra cubierta por una capa delgada de suelo eólico residual conformando predominantemente la parte del flanco izquierdo denominada cerro Arunta, es netamente tobáceo y está constituido por tobas riolíticas y riolíticas de color rosáceo intercalados con delgados niveles de areniscas masivas de tonalidades beige clara. Estos se ubican en la margen izquierda del río Seco.

- **Depósitos Aluviales (Qh-al)**

Estos depósitos están compuestos por horizontes de arenas, gravas y limos de tonalidades gris marrón y beige clara ocupando las márgenes del lecho ordinario del río.

Se distinguen las discordancias erosivas, que nos facilitan la diferenciación de los estratos de la margen izquierda en el lecho del río, en la parte superior limos, arenas y arcillas de 1,20 m de espesor de tonalidad beige claro, el parte central arenas compactadas de aproximadamente 0,9 m de espesor tonalidad gris clara y en la parte inferior bloques subredondeados, gravas, soportados en matriz de

arenas y limos arcillosos de 1,30 m de espesor, en estado compacto de tonalidad marrón. Ver foto N°06.

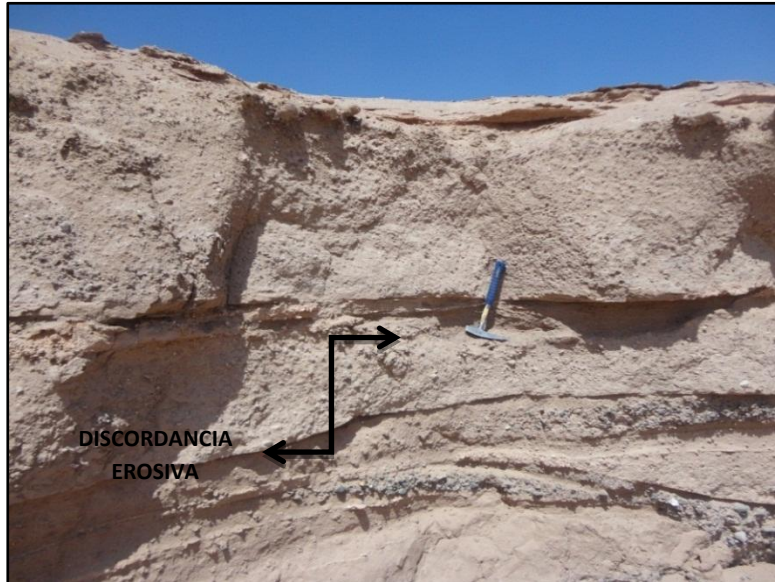
- **Depósitos fluviales (Qh-fl)**

Son acumulaciones de cantos rodados subredondeados y de baja esfericidad, gravas de diferente tamaño con arenas, gravas y limos de tonalidad gris clara ubicados en cauce principal del río.

- **Depósitos Tecnógenos (Qh-tec)**

Acumulaciones formadas por las actividades realizadas por el hombre como, desmonte mezclado con residuos sólidos, sobre estos depósitos se construyó el muro de contención en la margen derecha.

El basamento rocoso de la zona de estudio está conformado por arenisca de origen sedimentario de tonalidad beige clara y tobas compactadas de tonalidades rosáceas pertenecientes a la formación Huaylillas.



**Foto N°06.** Margen izquierda se puede observar el depósito aluvial.

La información de geología local y la descripción de las principales unidades litoestratigráficas que conforman la zona de estudio se han plasmado en los planos geológicos locales, para ello se han utilizado los planos topográficos a escala 1:1000, elaborados para la tesis; además se ha utilizado un GPS para la delimitación de las zonas de contacto en campo, una brújula y una pica ver Foto N°07.



*Foto N°07. Instrumentos utilizados en el mapeo geológico.*

### **3.3. GEODINÁMICA**

#### **3.3.1 GEODINÁMICA INTERNA**

El Perú está ubicado en una de las regiones de más alta actividad sísmica que existe en la Tierra; por lo tanto se encuentra expuesta a constantes fenómenos sísmicos de gran magnitud, que ocasionan pérdidas humanas y materiales.

El Sur del Perú, por su ubicación en el borde Occidental de Sudamérica se encuentra en el área de influencia del proceso de convergencia de las placas de Nazca y Sudamericana, caracterizada por su alta sismicidad y la ocurrencia eventual de sismos destructivos.

La sismicidad en el Perú puede ser dividida en dos grupos:

El primero y más importante, está asociado al proceso de subducción de la placa de Nazca por debajo de la Continental; esta libera el 90% de la energía sísmica anual, siendo generalmente el más frecuente y el de grandes magnitudes.

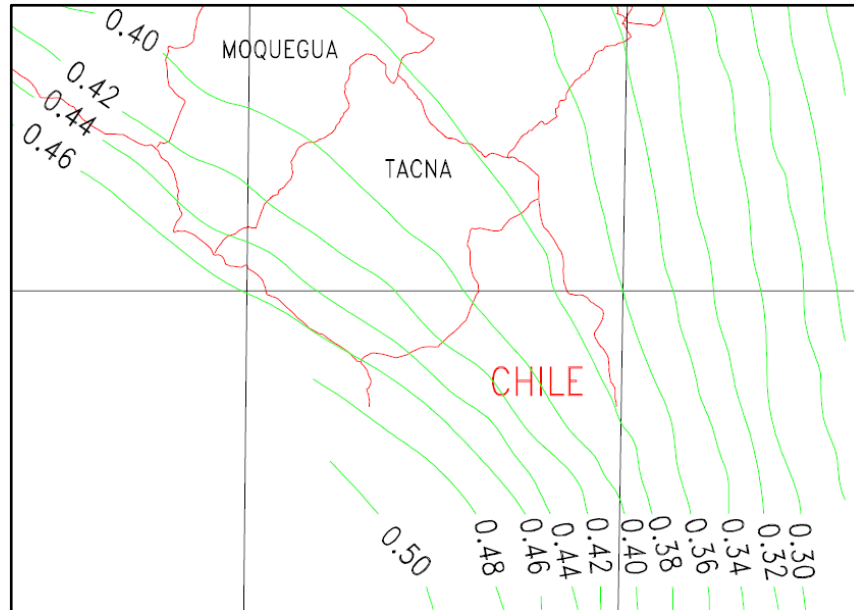
El segundo grupo, considera la sismicidad producida por deformación y está asociada a los fallamientos tectónicos activos existentes en el Perú; esta actividad sísmica es de menor frecuencia y de magnitudes moderadas.

Las características de la sismicidad del Perú, han sido descritas por diversos autores (Stauder, 1975; Bevis e Isacks, 1984; Tavera y Bufom, 1998) y entre las principales esta la relacionada con la distribución de los focos en superficie y en profundidad, la misma que ha sido clasificada en sismos con foco superficial ( $h < 60$  Km.) intermedios ( $60 < h \leq 350$  Km.) y profundos ( $h > 350$  Km.) nuestra zona de estudio se ubica en donde los **sismos son de foco de profundidad intermedia** ( $60 < h \leq 350$  Km.), la sismicidad del Perú se distribuye de manera irregular pudiendo definirse tres zonas:

- La primera zona se distribuye paralela a la línea de costa por debajo de  $9^{\circ}\text{S}$ .
- La segunda zona donde los sismos se localiza en el interior del continente (zona Norte y Centro) a lo largo de la Cordillera Oriental y zona Subandina.

- La tercera zona se localiza en la región Sur del Perú, siendo esta región la de mayor índice de sismicidad, en este tercer grupo se encuentra nuestra zona de estudio donde la profundidad máxima del foco llegó a los 300 Km.

Según el mapa de isoaceleraciones confeccionado por (Alva, J. y Castillo, J. 1993 ver Figura N°05) en nuestra zona de estudio se esperan aceleraciones entre 0.40 a 0.44 g. De acuerdo al Reglamento Nacional de Construcción Norma Técnica de Edificación E.030 el área de estudio según el mapa de zonificación sísmica se ubica en la zona 3 cuyo factor de zona es igual a 0.4 g, pero se toma para el presente análisis una aceleración de 0.2 g, que representa el 50% de este valor, pues se considera que esta zonificación resulta demasiado general, para un análisis local; este valor se deberá tener en cuenta para el diseño de las obras.



**Figura N°05.** Mapa de distribución de isoaceleraciones para 10% de excedencia en 50 años.

### 3.3.2 GEODINÁMICA EXTERNA

En nuestra zona de estudio los fenómenos de geodinámica externa han participado y participan en el modelado de la superficie terrestre como resultado de la interacción de agentes geodinámicos como el agua, el sol, la gravedad, el viento y los organismos vivos y que ocurren bajo diferentes modalidades o mecanismos dependiendo además de los factores geodinámicos como son factor litológico, estratigráfico, tectónico, topográfico, climatológico, hidrológico y antrópicos, son los siguientes:

## **A) PROCESOS DE EROSIÓN**

Los factores naturales que inciden en la ocurrencia del fenómeno de erosión de ladera en nuestra zona de estudio, son los climáticos (precipitaciones pluviales en menor medida para nuestro estudio, estacionales, escorrentía superficial de las aguas a través de cursos que disectan las laderas adyacentes a su cauce, terrenos en declive y planos principalmente la zona de acceso a nuestro estudio); pendiente natural de las laderas, gravedad, factores geológicos (litológicos o estructurales), etc.

Los factores antes mencionados actúan durante los procesos erosivos, y su producción son las manifestaciones de la erosión laminar, erosión eólica, erosión fluvial y erosión en cárcavas.

- **Erosión Fluvial.**

Producida en los ríos y quebradas como por ejemplo los ríos Caplina y Uchusuma, estos ingresos originan erosión en los flancos de los cauces de las quebradas y producen erosión lineal en los flancos de los ríos y quebradas y ocasionan el crecimiento lateral, conjuntamente causan un desgaste vertical en su base cortando las rocas sedimentarias de la Formación Millo, del Depósito Aluvial Antiguo y el cono aluvial profundizando su cauce, provocando derrumbes. Debido a la naturaleza deleznable de las formaciones geológicas antes mencionadas, el clima, han contribuido a acelerar el proceso erosivo

contribuyendo y aportando material de arrastre hacia los cauces constituido por gravas, arenas y limos con presencia de cantos rodados y bloques.

- **Erosión Eólica.**

El viento juega un papel preponderante en el modelado de la superficie terrestre y contribuyen en forma directa a la formación del relieve actual.

La erosión eólica ha desgastado parte de las unidades litológicas de la zona, modelando y desgastando las rocas formando colinas y morros, transportando material en suspensión para luego formar otras geoformas.

En nuestra área de estudio la erosión eólica es muy activa y actúa con mucha eficiencia en las rocas sedimentarias de la Formación Millo y en depósito de Aluviales Antiguos.

- **Erosión ocasionada por las precipitaciones Pluviales.**

El agua es uno de los principales elementos que intervienen en el proceso del modelado del relieve, pero en nuestro caso este proceso erosivo es esporádico contribuyendo con garuas en los meses de invierno.

## **B) PROCESOS DE DEPOSICIÓN**

Los procesos de deposición en nuestra zona de estudio datan del Mioceno y Plioceno, los procesos sedimentarios provocaron la deposición de materiales sobre la superficie terrestre (Formación Huaylillas).

Durante el Pleistoceno se produjo las crisis climáticas que originaron la deposición de sedimentos provenientes de la Cordillera. Estos sedimentos se depositaron en la Pampa Costanera.

Las quebradas depositan materiales en bancos, los depósitos coluviales constituyen otro tipo de deposición mecánica, son materiales heterogéneos transportados y acumulados por la acción de la gravedad al pie de los taludes, escarpas y laderas.

En la actualidad los procesos activos de deposición de los depósitos aluviales están relacionados con la presencia del Fenómeno de El Niño. Se puede observar que la quebrada por donde discurren los ríos Caplina y Uchusuma ha sido la que ha mostrado una gran actividad, ya que en las imágenes satelitales se observa que los sedimentos han interrumpido a los depósitos que alguna vez arrastraron las quebradas.

### **3.4 EVALUACIÓN DE RIESGOS**

Los procesos geodinámicos que afectan la superficie terrestre dan lugar a movimientos de diferente magnitud y características, que pueden constituir riesgos geológicos al afectar de forma directa e indirecta, a las actividades humanas.

Fenómenos como la erosión, disolución, movimientos sísmicos, erupciones volcánicas y precipitaciones pueden originar deslizamientos, desprendimientos, en las laderas, coladas de tierra, derrubios y derrumbes, etc. Estos movimientos del

terreno son el reflejo del carácter dinámico del medio geológico y la evolución natural del relieve, pero también pueden ser provocados por el hombre al interferir con la naturaleza y modificar sus condiciones.

La ingeniería geológica, como ciencia aplicada al estudio y solución de los problemas producidos por la interacción entre el medio geológico y la actividad humana, tiene una de las principales aplicaciones en la evaluación, prevención y mitigación de los riesgos geológicos, es decir, de los daños ocasionados por los procesos geodinámicos.

Los problemas ocasionados por la doble interacción entre el medio geológico y las actividades humanas hacen necesario el planteamiento de actuaciones adecuadas para conseguir un equilibrio entre las condiciones naturales y la ocupación del territorio, incorporando los métodos de prevención y mitigación de los riesgos geológicos a la planificación. Estas actuaciones deben partir del conocimiento de los procesos geodinámicos y del comportamiento geomecánico del terreno.

Para evitar o reducir los riesgos e incorporar la influencia de estos a la planificación y ocupación del territorio, es necesaria la evaluación de la peligrosidad y del riesgo.

Para la definición de estos términos la UNESCO promovió una reunión de expertos con el fin de proponer una unificación de definiciones. El informe de dicha reunión, *Natural Disasters and Vulnerability* (UNDRO, 1979) incluyó las siguientes definiciones:

- **Amenaza, Peligro o Peligrosidad (Hazard – H)**

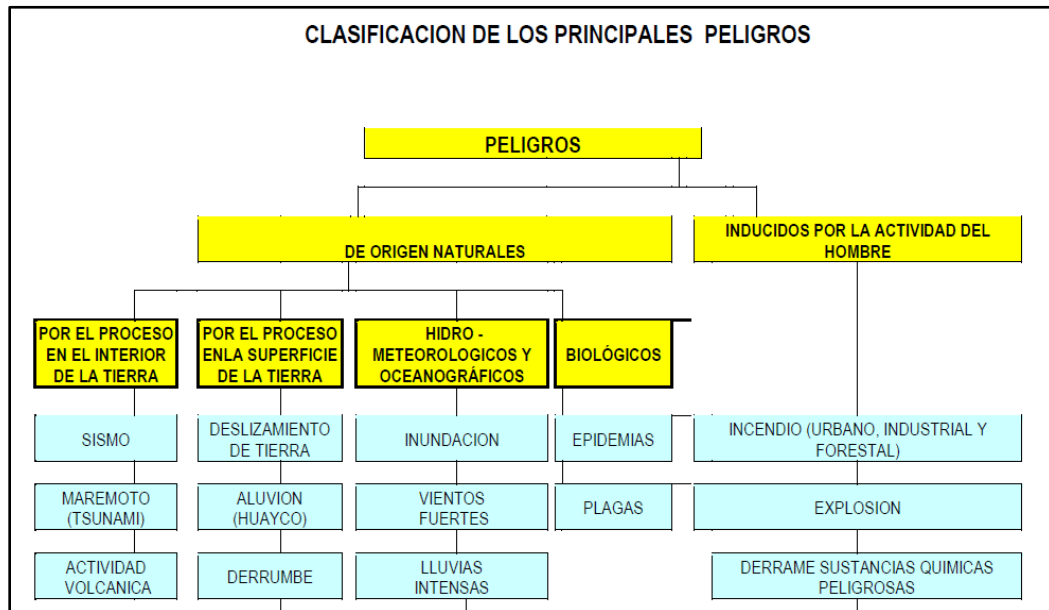
Es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente destructivo de una determinada intensidad, durante cierto periodo de tiempo y dentro de un área específica.

Para cuantificar la intensidad de peligrosidad de estos procesos geológicos se ha asignado valores de 0 a susceptibilidad nula y 100 a susceptibilidad alta, como se está utilizando el criterio de análisis general hemos dividido la susceptibilidad alta entre 3, obteniendo valores para susceptibilidad baja, media y alta (Ver cuadro N°01).

**Cuadro N°01.** Grados de Susceptibilidad y Valores de Intensidad.

<b>Susceptibilidad</b>	<b>Intensidad</b>
Baja	0,33
Media	0,66
Alta	0,99

De acuerdo al esquema de clasificación de los principales peligros del manual básico de estimación de riesgo del Instituto Nacional de Defensa Civil, nuestra zona de estudio está dentro del peligro por inundación en los procesos hidrometeorológicos de origen natural ver Figura N°6.



**Figura N°06.** Clasificación del peligro de nuestra zona de estudio

- **Vulnerabilidad, V**

Es el grado de daños o pérdidas potenciales en un elemento o conjunto de elementos como consecuencia de la ocurrencia de un fenómeno de intensidad determinada. Depende de las características del elemento considerado (no de su valor económico) y de la intensidad del fenómeno, suele evaluarse entre 0 (sin daño) y 1 (pérdida o destrucción total del elemento) o entre 0% y 100% de daños.

Este parámetro suele definirse mediante las funciones de vulnerabilidad, que pueden ser establecidas a partir de los daños o pérdidas que los procesos han ocasionado en el pasado y/o en base a hipótesis de las pérdidas potenciales que

ocasionarían los fenómenos si estos ocurrieran. En ambos casos hay que tener en cuenta la existencia de medidas actuales para la reducción o mitigación de los daños potenciales, que reducen la vulnerabilidad de los elementos expuestos.

La vulnerabilidad puede ser social estructural y económica, según los elementos que se pretenden considerar en su evaluación.

Los elementos expuestos pueden ser personas, bienes, propiedades, infraestructura, servicio, actividades económicas, etc., que pueden sufrir las consecuencias directas o indirectas de un proceso geológico en una determinada zona.

En la cuantificación del grado de vulnerabilidad se ha utilizado la propuesta por Varnes que propone una escala de 0 (sin daño) a 1 (pérdida total), y un valor intermedio de 0,5.

- **Riesgo, R, (risk)**

Este concepto incorpora consideraciones socio-económicas, y se define como las pérdidas potenciales debida a un fenómeno natural determinado (vidas humanas, pérdidas económicas directas e indirectas, daños a edificios o estructuras, etc.).

La evaluación del riesgo geológico resulta compleja por ser compleja la evaluación de los términos que lo definen. El riesgo se valúa a partir de la peligrosidad correspondiente a un determinado proceso (causa) y de los efectos del mismo sobre los elementos expuestos al peligro (edificios, infraestructuras, personas, bienes, etc.) pueden ser expresados por diferentes parámetros; vulnerabilidad, pérdidas, costes, exposiciones, etc. El riesgo está referido, como la peligrosidad, a un periodo de tiempo determinado, y se puede evaluar de forma determinista o probabilista.

Efectuaremos un análisis para la zona de estudio ubicado en sector del cauce del río Seco para la estimación del Riesgo.

<b>Elemento:</b> Cauce del Río Seco	90%
<b>Peligrosidad:</b> inundación:	0,99 (alta)
<b>Vulnerabilidad:</b>	1,0 (alta)

$$R=E*P*V$$

$$R= 90*0.99*1.0$$

$$R= 89,1\%$$

Así tenemos que la zona del cauce del Río Seco en el área reconocida como peligrosidad alta al proceso geológico de erosión fluvial y reactivación del cauce en época de lluvias 89,1% de la zona se encuentra bajo riesgo, las zonas susceptibles son: márgenes del río, zona urbana y el sector del puente de acceso principal a las canteras.

### 3.4.1 PELIGROSIDAD SÍSMICA

El objetivo principal en este tema es hallar la **Ecuación de Peligrosidad Sísmica** y el tiempo de retorno para sismos de gran magnitud para la zona de estudio.

Para este propósito se contó con dataciones históricas de sismos registrados en la región Tacna entre el año 1972 hasta el año 2012, y de estos 40 años transcurridos se obtuvieron los siguientes resultados ver cuadro N°02.

**Cuadro N°02.** Magnitudes, número de sismos y frecuencias. Radio 700 Km. Fuente, NEIC: Earthquake Search Results.

MAGNITUDRICHTER(M)	NÚMERO DE SÍSMOS	FRECUENCIA (N)
3	1057	26,425
3,5	3002	75,05
4	4948	123,7
4,5	3066	76,65
5	1187	29,675
5,5	637	15,925
6	87	2,175
6,5	48	1,2
7	10	0,25
7,5	6	0,15
8	3	0,075

La frecuencia **N** se obtuvo con el número de sismos registrados entre los 40 años, para hallar la ecuación de peligrosidad tomamos como referencia la teoría de zonas sismogénicas que utiliza la expresión de Gutenberg y Richter:

$$\mathbf{LogN = a + b}$$

Dónde:

M: Magnitud expresada en la escala de Richter.

a, b: Parámetros que dependen de la sismicidad de la zona.

Para calcular los parámetros a y b se tabulan los valores de la magnitud M y los valores logarítmicos de la frecuencia N, ver cuadro N°3.

**Cuadro N°03.** Magnitudes, número de sismos, frecuencias y logaritmos de las frecuencias.

MAGNITUD RICTER (M)	NÚMERO DE SÍSMOS	FRECUENCIA (N)	Log (N)
3	1057	26,425	1,4220
3,5	3002	75,05	1,8754
4	4948	123,7	2,0924
4,5	3066	76,65	1,8845
5	1187	29,675	1,4724
5,5	637	15,925	1,2021
6	87	2,175	0,3375
6,5	48	1,2	0,0792
7	10	0,25	-0,6021
7,5	6	0,15	-0,8239
8	3	0,075	-1,1249

Se realiza una gráfica de dispersión de puntos de los valores de M vs Log(N) para calcular una regresión lineal y obtener los parámetro a y b.

Los resultados de la regresión lineal nos indican que,  $a=4,34653$  y  $b=-0,66109$  entonces la ecuación de peligrosidad sísmica para la zona del Río Seco será:

$$\text{Log}(N) = 4,34653 - 0,66109(M)$$

Los resultados de periodo de retorno para sismos de gran magnitud en la zona de estudio se resumen en el cuadro N°04:

**Cuadro N°04.**Periodo de retorno para sismos de gran magnitud.

MAGNITUD RICHTER (M)	PERIODO DE RETORNO EN AÑOS
6,5	36
7	76
7,5	164
8	350

### 3.5 GEOTECNIA

La zona donde se realizó el estudio está conformada según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, por gravas arenosas pobremente graduadas (GP) y en el flanco izquierdo por areniscas y tobas. La densidad relativa varía entre 92% para la zona del cauce y 78% para el talud que conforma el muro de protección en la margen derecha.

Los suelos existentes en la zona de estudio en su mayoría están conformados gravas arenosas pobremente graduadas, color pardo grisáceo, con fracción gruesa de formas redondeadas y textura semi lisa (GP); la fracción fina no tiene plasticidad, por lo que se ha estudiado sobre la base de ensayos de densidad relativa, con cuyos resultados se ha determinado el ángulo de fricción interna del suelo; que ha sido calculado según el criterio de Meyerhof para suelos granulares con menos de 5 % de finos.

### **3.5.1 MECÁNICA DE SUELOS**

- **Fase de campo**

Las pruebas de campo y excavación de la calicata y trinchera realizadas, se encuentran ubicadas entre las progresivas Km. 0+470 y Km. 0+480, en la coordenada 368648E– 8005620N (Datum WGS 84) y en la cota 554 m.s.n.m.

Se realizaron dos pruebas de densidad natural de campo en el lecho del río y la margen derecha del río, ver Fotos N°08 y N°09.



**Foto N° 08** Vista donde se observa el ensayo de densidad in situ en la base del lecho del río profundidad del hoyo 0,15 m.



**Foto N°09** Vista donde se observa el ensayo de densidad natural de campo en la margen derecha, profundidad del hoyo 0,16m.

Además, se realizó la excavación de una calicata en el lecho del río de 1,20 m. de largo por 1,00 m. de ancho y profundidad 1,50 m., ver Foto N°10, también se realizó la excavación de una trinchera en la margen derecha del talud natural en un pequeño sector que ha quedado descubierto por el colapso del muro de contención tal como se puede observar en la Foto N°11, una vez concluidos los trabajos de excavación se procedió a la extracción de muestras representativas de la calicata y la trinchera, se tomaron fotografías y se registraron las coordenadas.



**Foto N°10.** Vista de la calicata C-1 conformada por gravas arenosas mal graduadas color pardo grisáceo en el fondo.



**Foto N°11.** Vista donde las líneas amarillas indican la excavación y recolección de muestra T-1 de la margen derecha

- **Fase de laboratorio:** En esta etapa se realizaron los siguientes ensayos:

para la base del lecho de río

- ✓ Análisis granulométrico ASTM D - 422
- ✓ Densidad relativa ASTM- D1556
- ✓ Peso específico material retenido en la malla N°4 ASTM D-854
- ✓ Peso específico material pasante malla N°4 ASTM D-854

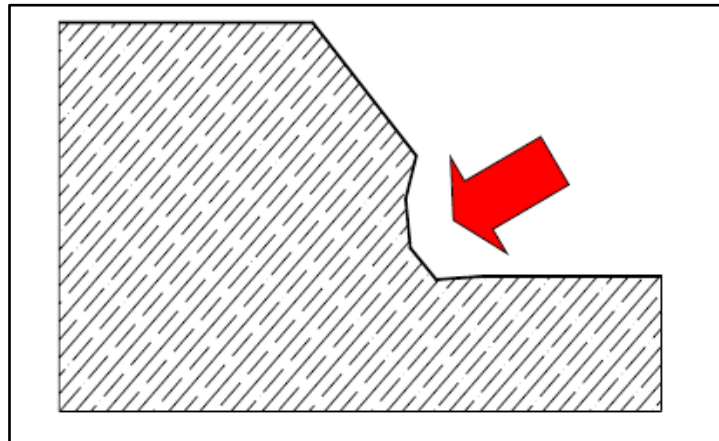
Para la margen derecha

- ✓ Análisis granulométrico ASTM D - 422
- ✓ Densidad relativa ASTM- D1556
- ✓ Peso específico material retenido en la malla N°4 ASTM D-854
- ✓ Ensayo de densidades máximas y mínimas ASTM - D4254

En los anexos se tiene los datos y formatos de laboratorio de mecánica de suelos para cada ensayo descrito.

### 3.5.2 CÁLCULO DE LA SOCAVACIÓN GENERAL

Se entiende por socavación general al desprendimiento y desgaste del fondo de un río que se produce por erosión debido al aumento de la capacidad de arrastre de material sólido que en ese momento adquiere la corriente como consecuencia de una mayor velocidad, ver figura N°07.



*Figura N°07. Desgaste en el fondo en la margen de un río.*

Esta es una de las principales causas del colapso de los muros de contención en nuestra zona de estudio y para cuantificar la profundidad que produce el desgaste en el fondo del río se realizó el ensayo de análisis granulométrico (diámetro de las partículas correspondiente al 50% en la curva granulométrica 49 mm) y densidad in situ en la base del lecho del río ( $2,193 \text{ gr/cm}^3$ ), estos parámetros son necesarios

para utilizar el método propuesto por List Van Levediev el más usado en nuestro país para suelos granulares, se tiene la siguiente ecuación:

$$H_s = \left[ \frac{\alpha h^{5/3}}{0,68\beta D_m^{0,28}} \right]^{1/1+z}$$

Dónde:

$H_s$ : Profundidad de socavación

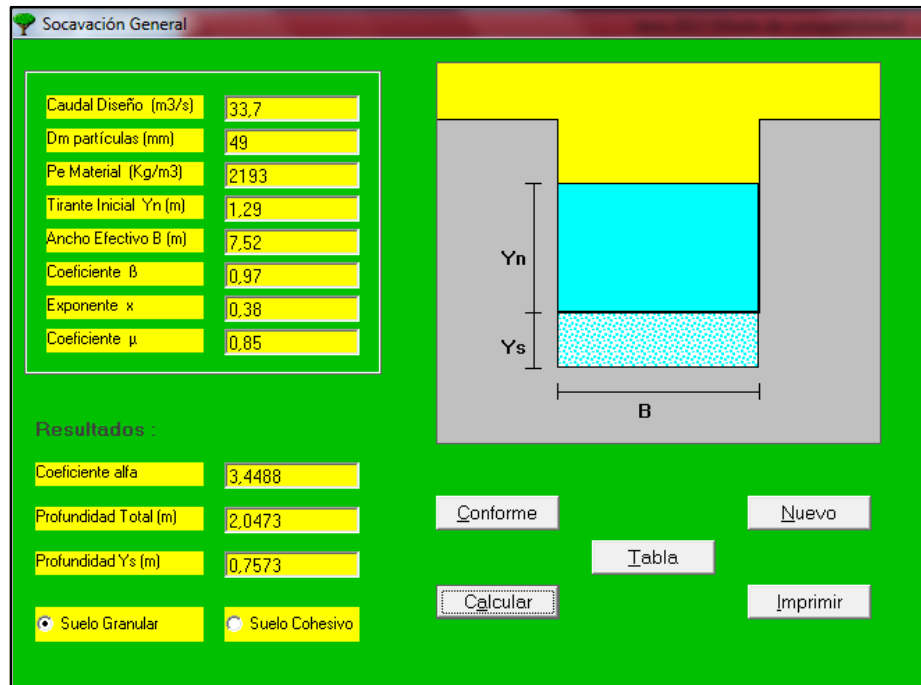
$h$ : tirante de agua

$D_m$ : Diámetro medio de las partículas

$\beta$  : Coeficiente por tiempo de retorno

$Z$ : Exponente que depende  $D_m$  para suelos granulares

$\alpha$  : coeficiente alfa relación directamente proporcional con el caudal de diseño e inversamente proporcional con el producto de la longitud de la base y el coeficiente de contracción  $\mu$ .



**Figura N°08.**Calculo de la Socavación General mediante el software Bocatoma.

Los resultados de la Figura N°08 muestran los datos utilizados para nuestra zona de estudio obteniendo 0,7573 m de profundidad de socavación general.



*Foto N°12. Grado de Socavación General en campo es 0,84 m. en promedio.*

La Foto N°12 muestra la socavación producida en campo de 0,84 m., este valor no difiere mucho del obtenido por calculo con la ecuación de List Van Levediev para suelos granulares.

### **3.5.3 ESTABILIDAD DE TALUDES**

La interacción del hombre con los taludes naturales y artificiales, requieren de condiciones de seguridad aceptables, para que exista una normal convivencia con la naturaleza. De no ocurrir esto puede suceder la inestabilidad en los taludes por diversas causas, de ahí un tratamiento geotécnico para conocer los posibles mecanismos de inestabilidad, condiciones de seguridad y posible prevención para disminuir los riesgos contra estos fenómenos.

La margen derecha del río Seco en general se le clasifica como gravas arenosas pobremente graduadas (GP) y presentan una densidad natural de 2,159 gr/cm<sup>3</sup>, para determinar el ángulo de fricción interna ( $\emptyset$ ) a partir de la densidad relativa ( $D_r = 78\%$ ) y por ser un suelo granular estos parámetros se relacionan con la teoría de Meyerhof por medio de las siguientes expresiones:

- ✓ **Para suelos granulares con más de 5% de arena fina y limo**

$$\emptyset = 25 + 0,15D_r$$

- ✓ **Para suelos granulares con menos de 5% de arena fina y limo**

$$\emptyset = 30 + 0,15D_r$$

Para nuestro caso suelos granulares con menos del 5% de arena fina el ángulo de fricción interna será:  $\emptyset = 41,7^\circ$ .

En la margen derecha no existe nivel freático, y de acuerdo a la evaluación de la estabilidad de taludes propuesta por el método de dovelas de Bishop Simplificado se tiene la siguiente ecuación:

$$FS = \frac{\sum [c'b + (W - ub) \tan \emptyset / ma]}{\sum W \text{sen} \alpha}$$

Dónde:

$$ma = \cos \alpha + \left( 1 + \frac{\tan \alpha \tan \emptyset}{FS} \right)$$

b: Ancho de la dovela

W: Peso de la dovela

C', Ø: Parámetros de resistencia del suelo

u: Presión de poros en la base de cada dovela

$\alpha$ : Ángulo del radio y la vertical de cada dovela

En la zona de estudio es necesario considerar el valor de la aceleración de la gravedad para un periodo de 50 años; el análisis de geodinámica interna ubica a nuestra zona de estudio dentro de 0,4 a 0,44%g, estos valores son muy referenciales si se trabaja con estos, en el análisis de estabilidad de taludes se considera el factor de seguridad como muy vulnerable entre 1,08 a 1,02 y el valor mínimo para que no se produzca colapso debe ser mayor a 1,5 según método de dovelas de Bishop Simplificado ver Cuadro N°05.

**Cuadro N°05.** Clasificación del Factor de Seguridad método de Bishop Simplificado.

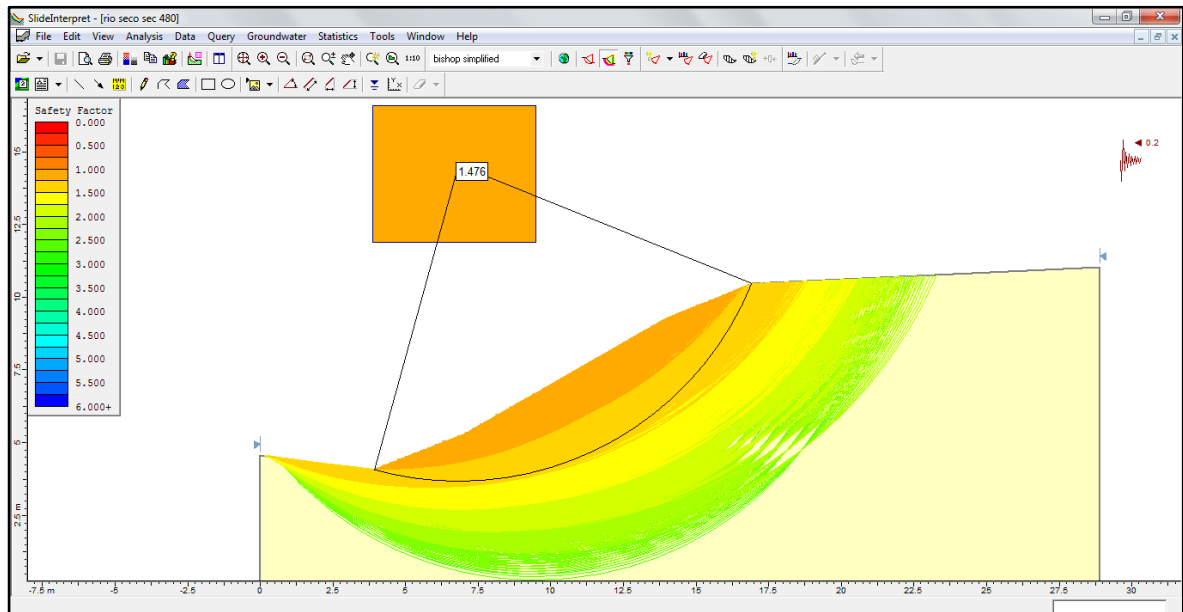
Factor de seguridad FS	Criterio	Color
1,0 < FS < 1,25	Vulnerable muy alta	Red
1,25 < FS < 1,5	Vulnerable alta	Brown
1,5 < FS < 2,0	Vulnerable moderada	Yellow
2,0 < FS < 3,0	Vulnerable baja	Green
FS > 3,0	Vulnerable muy baja	Blue

Entonces el valor más conservador para la aceleración de la gravedad en nuestra zona de estudio es 0,2%g, según el Reglamento Nacional de Construcción Norma Técnica de Edificación E.030 para estructuras tipo muro de contención y defensa ribereña, corroborado mediante el software Crisis 2007 ingresando las coordenadas UTM de ubicación de la zona de estudio ver cuadro N°06.

**Cuadro N°06.** Aceleración de la gravedad obtenida del software Crisis 2007.

PELIGRO SÍSMICO SECTOR RÍO SECO - CERRO ARUNTA							
ZONA	COORDENADAS (WGS 84)		PERIODO DE RETORNO (años)				
			50	100	200	500	1000
RÍO SECO	Este(m)	Norte(m)	Aceleración Máxima Esperada (%g)				
	368909	8006002	0,20	0,25	0,31	0,40	0,48

El resultado del cálculo de factor de seguridad de la ecuación de Bishop Simplificado y considerando los parámetros de ángulo de fricción interna ( $\phi = 41,7^\circ$ ), densidad natural ( $2,159 \text{ gr/cm}^3$ ) en condiciones seudoestáticas de aceleración de la gravedad 0,2 %g para suelos granulares mediante el software Slide 5.0 es 1,476 considerado como vulnerable alto, ver Figura N°09.



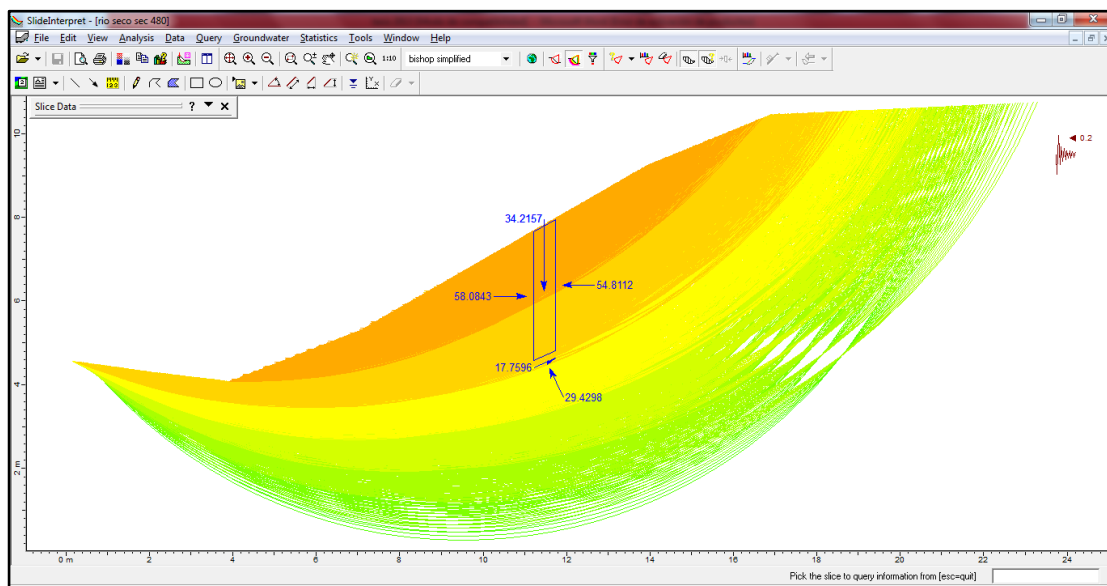
**Figura N°09.** Cálculo del Factor de Seguridad mediante software Slide 5.0.

La Figura N°09, muestra el cálculo del factor de seguridad en la sección transversal de la progresiva 0+480 en la margen derecha donde se realizó el ensayo de densidad in situ.

Los resultados también muestran cálculo de los esfuerzos en kilonewtons, de una dovela representativa, ver FiguraN°10, estos resultados son:

- Peso de la dovela 34,22 KN
- Fuerza resultante Lado derecho 54,81 KN
- Fuerza resultante lado izquierdo 58,08 KN
- Fuerza normal de la base 29,43 KN
- Fuerza de corte de la base 17,76 KN

Estos resultados por lo menos se deberían cuadruplicar o quintuplicar para tener una idea referencial de los esfuerzos de la margen derecha.



**Figura N°10.** *Calculo de esfuerzos de una dovela representativa de la sección transversal en la progresiva 0+480.*

Con este análisis se ha demostrado una causa más del colapso de los muros de contención en la margen derecha ver Foto N°13 por no efectuar un adecuado programa de encausamiento y limpieza del lecho del río en época de estiaje y ejecutar construcciones sin realizar estudios básicos en este caso geotécnicos.



**Figura N°13.**Colapso de muro progresiva 0+480 margen derecha.

### 3.6. EVALUACIÓN HIDROLÓGICA

#### 3.6.1 CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DEL RÍO SECO

Las características geomorfológicas del río Seco, entre el cerco perimétrico del cuartel Tarapacá hasta el puente de acceso a la zona de canteras, con una longitud 1752,97 m son las siguientes:

La pendiente promedio en declive del cauce del río es de 3,064%, el cual se encuentra constituido granulométricamente por: 39,9% de clastos mayores a 3", 40,3% entre 6,3 cm a 4,8 cm y 19,8% menores a 4,8 cm, por lo tanto se trata de suelos socavables, según Chow (1959) reporta valores del coeficiente n de Manning entre 0,017 (margen derecha), 0,025 (margen izquierda), con una media de 0,020 (zona de cauce).

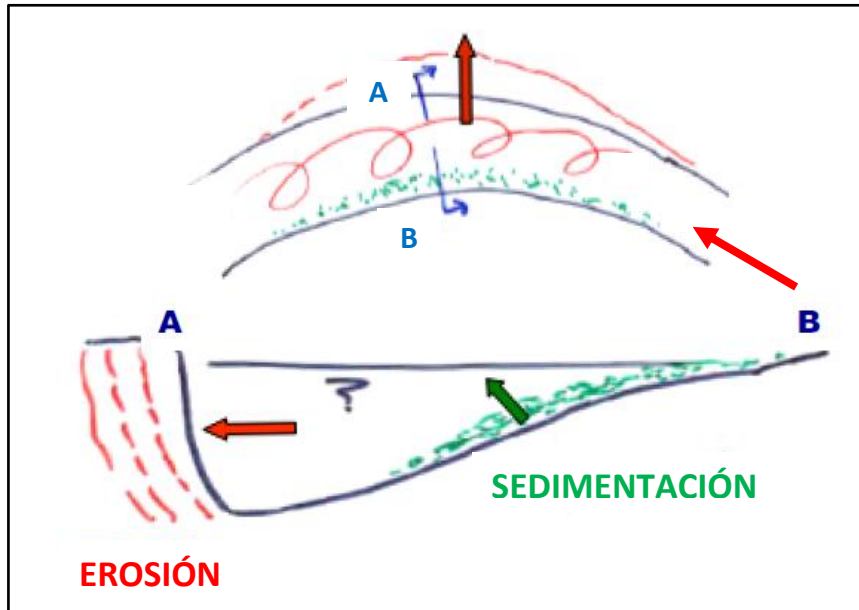


**Foto N°14.** Río Seco constituido por una capa de depósitos fluviales donde predominan los materiales menores a 3".

El río Seco, en época de avenida, no llega a ocupar la sección completa del cauce, ver Foto N°14, los meandros erosionan las márgenes, entre las progresivas 1+080 y 1+200 se observa la parte más cóncava (margen izquierda ver Foto N°15) por encontrarse bordeando el cerro Arunta en esta parte la fuerza de arrastre ha erosionado la roca arenisca y produce sedimentación (ver figura N°11), mientras que la parte convexa (margen derecha ver Foto N°15) también sufre la fuerza de la corriente provocando erosión (ver figura N°11) y afectando las defensas ribereñas.



**Foto N°15.** Mecanismo de erosión y sedimentación del meandro ubicado entre las progresivas 1+080 y 1+200.



**Figura N°11.** Erosión y sedimentación del meandro ubicado entre las progresivas 1+080 y 1+200.

En la orilla derecha, los hilillos de agua, cambian de dirección y se dirigen hacia la orilla izquierda (ver Foto N°15), donde se produce el desgaste de la roca arenisca de la margen izquierda la cual es erosionada fácilmente porque están expuestos al incremento de fuerza de la corriente por la influencia de la pendiente al pasar la zona cóncava ver Foto N°16.



*Foto N°16. Se observa la roca arenisca en la margen izquierda erosionada por la fuerza de la corriente.*

### **3.6.2 TOPOGRAFÍA DEL LECHO**

Como se había mencionado anteriormente se necesitaba un levantamiento topográfico al detalle el cual refleje la forma más precisa posible de las márgenes y el lecho del río para poder realizar el modelamiento ver Foto N°17.



**Foto N°17.** Se observa el levantamiento topográfico en campo de los asistentes y el topógrafo en la zona de las márgenes y el lecho.

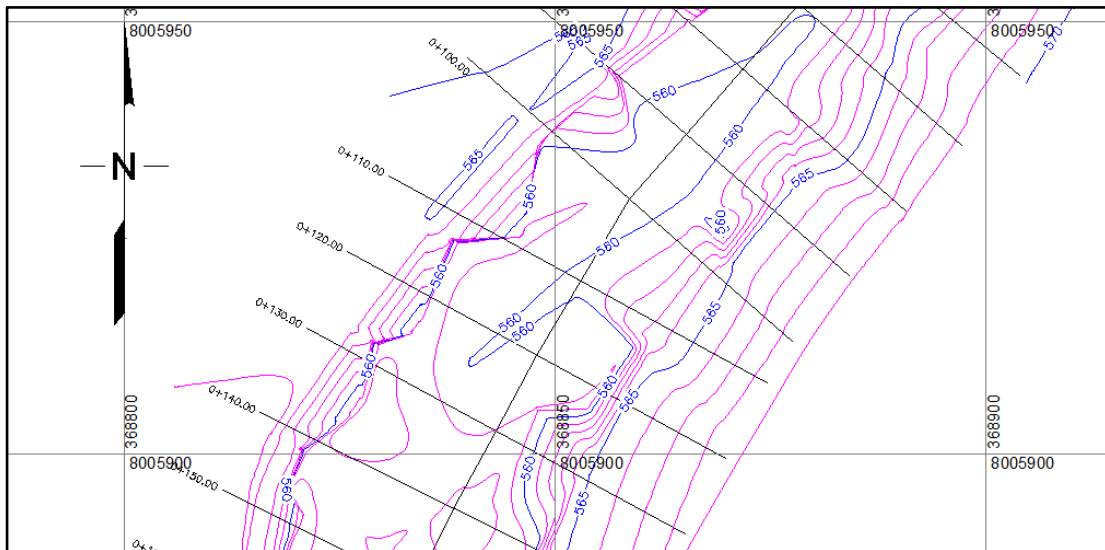
El trabajo fue realizado usando el equipo de estación total marca TRIMBLE modelo 3600 DR ver Foto N°18, con la proyección cartográfica Universal Transversal de Mercator (UTM) y el datum de referencia WGS 84.



**Foto N°18.** Se observa equipo de estación total marca TRIMBLE modelo 3600 DR.

Los resultados de este trabajo fueron la obtención de 1740 puntos distribuidos en los dos márgenes y el lecho del río, con una extensión de aproximadamente 8.92 Hectáreas, desde el cerco perimétrico del cuartel Tarapacá siguiendo el trayecto del lecho del río hasta el puente de acceso a la zona de canteras 1,74 km aproximadamente.

Las curvas de nivel obtenidas tienen una separación de 5 m para las curvas principales y 1m para las curvas secundarias ver figura N°12, también se obtuvo 174 secciones transversales ver Figura N°13, ubicadas en las progresivas cada 10 m a lo largo del lecho del río requisito indispensable para realizar el modelamiento.



**Figura N°12.** Parte del plano topográfico desde la progresivas 0+100 hasta 0+140.

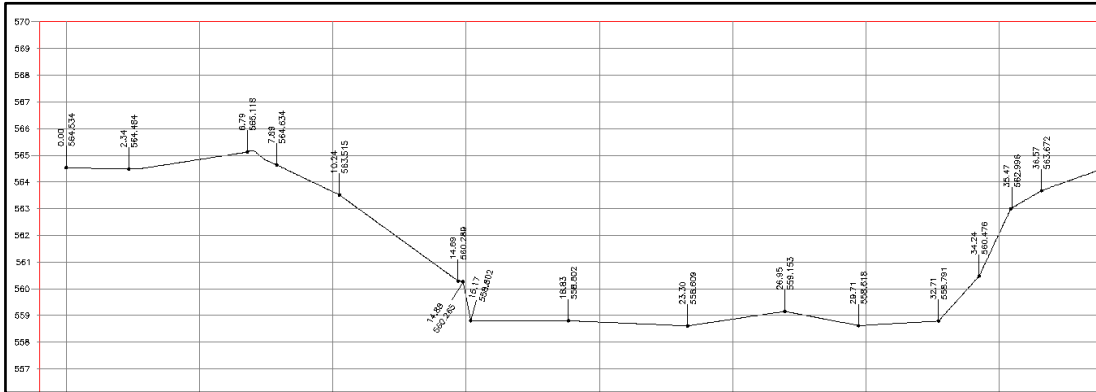


Figura N°13. Sección transversal de la progresiva 0+110.

### 3.6.3 HIDROLOGÍA

- **CAUDAL MÁXIMO DE DISEÑO.**

Pino (2012), Análisis de Máximas Avenidas e Inundaciones, analizó y calculó los caudales máximos anuales reportados en la estación Bocatoma Calientes cuyo periodo de registro es de 1959 al 2011, para diferentes períodos de retorno utilizando los métodos estadísticos de Gumbel I, LogNormal, LogNormal Tres Parámetros y LogPearson III ver cuadro N°07.

**Cuadro N°07. Caudal Máximo y periodo de retorno.**

RETURN PERIOD	GUMBEL I		LOGNORMAL		THREE PARAMETER LOGNORMAL		LOG PEARSON III MAX. LIKELIHOOD		LOG PEARSON III MOMENTS	
	FLOOD ESTIMATE	ST. ERROR PERCENT	FLOOD ESTIMATE	ST. ERROR PERCENT	FLOOD ESTIMATE	ST. ERROR PERCENT	FLOOD ESTIMATE	ST. ERROR PERCENT	FLOOD ESTIMATE	ST. ERROR PERCENT
1.005	-1.1		.8		.9		1.0		1.0	
1.050	.9		1.6		1.6		1.7		1.7	
1.250	3.2		2.9		2.9		2.9		2.9	
2.000	6.2		5.5		5.4		5.3		5.2	
5.000	10.2	8.75	10.2	12.00	10.2	12.30	10.0	12.60	10.1	13.10
10.000	12.9	8.89	14.2	13.90	14.3	14.70	14.2	15.40	14.5	16.40
20.000	15.5	9.07	18.6	15.80	18.9	17.40	19.2	19.30	19.9	20.90
50.000	18.8	9.28	25.2	18.20	25.9	21.10	27.0	25.50	28.7	28.20
100.0	21.3	9.41	30.8	19.80	32.0	23.70	34.1	30.70	37.1	34.30
200.0	23.8	9.53	37.1	21.40	38.8	26.20	42.5	36.20	47.1	40.80
500.0	27.1	9.66	46.5	23.40	49.1	29.50	55.8	43.70	63.6	49.80
1000.0	29.6	9.74	54.7	24.80	58.1	31.80	68.0	49.80	79.3	57.10
2000.0	32.1	9.81	63.4	26.20	67.8	34.10	81.8	55.80	97.5	64.20
5000.0	35.4	9.89	75.9	27.80	81.8	36.80	103.0	63.60	126.0	73.60
10000.0	37.8	9.95	86.7	29.00	94.0	38.80	122.0	69.80	153.0	81.10

Los resultados para todos los modelos estadísticos consultados para la zona de estudio muestran que el método de los momentos reporta valores mayores que los demás modelos y por el otro lado el método de valores extremos tipo I o Gumbel I, reporta valores muy por debajo de los demás, por tanto según las distribuciones estadísticas teóricas de ajuste, podemos establecer que los resultados validos serían los de la distribución LogNormal, LogNormal 3P y LogPearson III.

Finalmente, concluido el análisis de eventos extraordinarios, resulta que el caudal a utilizar en el modelo hidráulico debe ser para periodos de retorno de 50 y 100 años 28,7 m<sup>3</sup>/s y 37,1 m<sup>3</sup>/s respectivamente a los que se le debe incrementar un aporte estimado en la confluencia con la quebrada Uchusuma, de 5 m<sup>3</sup>/s, Pino (2012), Análisis de Máximas Avenidas e Inundaciones.

En tal sentido los caudales finales serán:

$$T=50 \text{ años } Q_{\max}= 33,7 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$T=100 \text{ años } Q_{\max}= 42,1 \text{ m}^3/\text{s}$$

### **3.7 DESARROLLO DEL MODELO HIDRÁULICO**

Para elaborar el modelo hidráulico se toma en cuenta los caudales máximos estimados y los ejes hidráulicos para la crecida correspondiente al periodo de retorno de 50 y 100 años. Para esto se realizó un levantamiento topográfico del área involucrada, lo cual permitió la obtención de perfiles y secciones transversales del Río Seco en el área de estudio.

Para la obtención del eje hidráulico se utilizó el software HEC-RAS 4.1.0 (River Analysis System) desarrollado por el Hydrologic Engineering Center (HEC) del U.S. Army Corps of Engineers (USACE). Este programa permite simular flujos unidimensionales permanentes y no permanentes, transporte de sedimentos, cálculos de lecho móvil y modelado de la temperatura del agua, todo esto tanto para cauces naturales como artificiales. HEC-RAS es el sucesor y reemplazo del programa HEC-2 (USACE, 1991) y de varias versiones especializadas de HEC-2. Este software mejora de las capacidades de HEC-2 y proporciona capacidades adicionales para la modelación de cauces.

### 3.7.1 COMPONENTES DEL MODELO

Para la elaboración del modelo se tiene en cuenta los siguientes componentes básicos propios de la zona de estudio:

- Topografía, los resultados de este trabajo fueron:
  - ✓ 1740 puntos distribuidos en las dos márgenes y el lecho del río.
  - ✓ Área 8.92 Hectáreas.
  - ✓ Longitud del lecho 1,74 km.
  - ✓ Curvas de nivel 5 m de separación para las curvas principales y 1m para las curvas secundarias.
  - ✓ 174 secciones transversales en cada progresiva separación cada 10 m en el lecho del río.
- Material: El lecho Río Seco en el tramo en estudio está compuesto predominantemente de gravas arenosas pobremente graduadas en el margen derecho, arenas finas y areniscas en la margen izquierda y en la base de la zona del lecho está compuesta por material fluvial 39,9% de clastos mayores a 3", 40,3% entre 6,3 cm a 4,8 cm y 19,8% menores a 4,8 cm en toda su longitud.
- Pendiente del Río: De acuerdo a la topografía realizada el desnivel entre el punto de inicio y el final del tramo de Río Seco es de 48,18 m en 1740 m por lo tanto se tiene una pendiente de 3,064%.

- Pérdidas por fricción: La ecuación utilizada para evaluar las pérdidas friccionales es la de Manning (1889):

$$S_f = \left(\frac{Q}{k}\right)^2$$

Dónde:

$S_f$ : Pendiente representativa de la línea de energía para un tramo de longitud

Q: Caudal de diseño

K: coeficiente de permeabilidad

Ecuación ampliamente utilizada en la modelación hidráulica, tanto de canales como de corrientes naturales,

La ecuación (Promedio de conductividades) es la usada por defecto en el programa HEC-RAS

$$\overline{S_f} = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2}\right)^2$$

Dónde:

$\overline{S_f}$ : Pendiente promedio de la línea de energía para un tramo de longitud

$Q_1, Q_2$ : Caudales de diseño entre tramo de longitud

$K_1, K_2$ : coeficientes de permeabilidad entre tramo de longitud

- Pendiente de la línea de energía (m/m).

$$S = \frac{V^2 * n^2}{R^{4/3}}$$

V: Velocidad media del flujo (m/s).

R: Radio Hidráulico (m).

n: Coeficiente de Rugosidad de Manning.

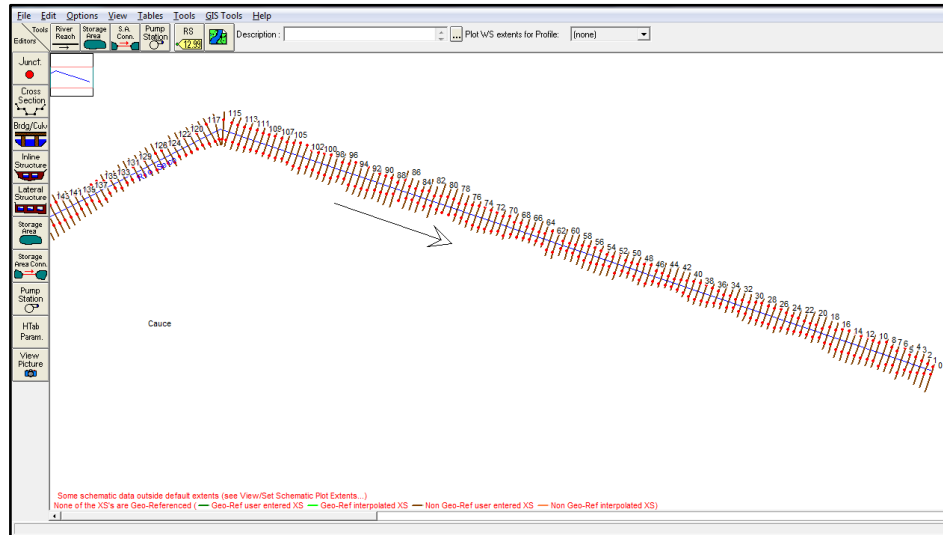
- Coeficiente de Rugosidad: Como ya se mencionó los materiales son tipo GP. Para este material Chow (1959) reporta valores del coeficiente n de Manning entre 0,017 y 0,025, con una media de 0,020.

Consideraciones hidráulicas:

- Distancia total: 1,74 Km.
- Número de Secciones: 174.
- Coeficiente de Rugosidad de Manning: 0,017 - 0,020 - 0,025, Chow (1959).
- Caudal máximo periodo de retorno 50 años: 33,7 m<sup>3</sup>/s, Pino (2012).
- Caudal máximo periodo de retorno 100 años: 42,1m<sup>3</sup>/s, Pino (2012).

### **3.7.2 ELABORACIÓN DEL MODELO Y SIMULACIÓN**

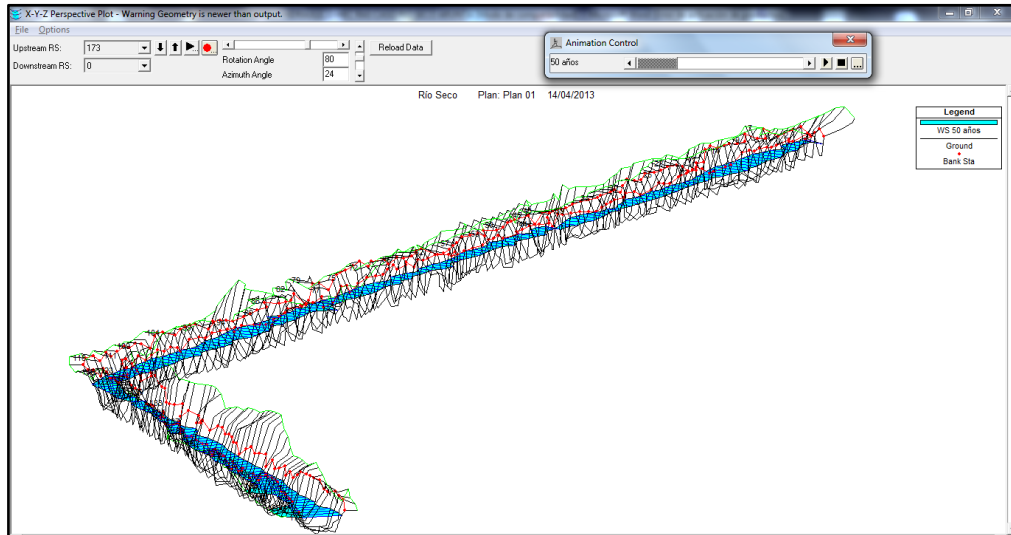
El modelo considera las propiedades geométricas y de rugosidad del río ya mencionadas, (forma de secciones, trazado en planta, longitud entre secciones y coeficiente de rugosidad de Manning). Las secciones transversales y su ubicación en planta fueron obtenidas a partir de la topografía realizada.



**Figura N°14.** Vista en planta del eje hidráulico utilizado en HEC-RAS.

Las Figuras N°14 y N°15 muestran el modelo hidráulico desarrollado usando HEC-RAS. En los anexos se muestra los perfiles del flujo para la condición de flujo permanente para todo el tramo del lecho estudiado. Asimismo se muestra todos los puntos de ubicación de las secciones flujo que sirvieron para confeccionar el modelo de simulación hidráulica.

De los múltiples resultados que son posibles obtener de la modelación, el más relevante para este estudio es la altura que tiene el flujo en las condiciones modeladas.



**Figura N°15.** Vista General del Modelo Desarrollado.

En las Figuras N°16, N°17, N°18 y N°19 se muestran los parámetros utilizados en la simulación hidráulica para periodos de retorno  $T=50$  y  $T=100$  años al inicio y final del trayecto progresivas 0+000 y 1+730.

Cross Section Output						
File Type Options Help						
River:	Río Seco	Profile:	50 años			
Reach:	Cauce	RS:	0	Plan:	Plan 01	
Plan: Plan 01 Río Seco Cauce RS: 0 Profile: 50 años						
E.G. Elev (m)	565.34	Element	Left OB	Channel	Right OB	
Vel Head (m)	0.74	Wt. n-Val.		0.020		
W.S. Elev (m)	564.60	Reach Len. (m)				
Crit W.S. (m)	564.60	Flow Area (m <sup>2</sup> )		8.82		
E.G. Slope (m/m)	0.005138	Area (m <sup>2</sup> )		8.82		
Q Total (m <sup>3</sup> /s)	33.70	Flow (m <sup>3</sup> /s)		33.70		
Top Width (m)	5.97	Top Width (m)		5.97		
Vel Total (m/s)	3.82	Avg. Vel. (m/s)		3.82		
Max Chl Dpth (m)	2.30	Hydr. Depth (m)		1.48		
Conv. Total (m <sup>3</sup> /s)	470.1	Conv. (m <sup>3</sup> /s)		470.1		
Length Wtd. (m)		Wetted Per. (m)		8.01		
Min Ch El (m)	562.30	Shear (N/m <sup>2</sup> )		55.49		
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)	2142.06	0.00	0.00	
Frcn Loss (m)		Cum Volume (1000 m <sup>3</sup> )				
C & E Loss (m)		Cum SA (1000 m <sup>2</sup> )				

**Figura N°16.** Parámetros  $T=50$  años, sección transversal 0+000, tirante crítico 2,30 m.

Cross Section Output

File Type Options Help

River: Río Seco Profile: 100 años

Reach: Cauce RS: 0 Plan: Plan 01

Plan: Plan 01 Río Seco Cauce RS: 0 Profile: 100 años

		Element	Left OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	565.69	Wt. n-Val		0.020	
Vel Head (m)	0.84	Reach Len. (m)			
W.S. Elev (m)	564.85	Flow Area (m2)		10.36	
Crit W.S. (m)	564.85	Area (m2)		10.36	
E.G. Slope (m/m)	0.005155	Flow (m3/s)		42.10	
Q Total (m3/s)	42.10	Top Width (m)		6.28	
Top Width (m)	6.28	Avg. Vel. (m/s)		4.07	
Vel Total (m/s)	4.07	Hydr. Depth (m)		1.65	
Max Chl Dpth (m)	2.55	Conv. (m3/s)		586.3	
Conv. Total (m3/s)	586.3	Wetted Per. (m)		8.59	
Length Wtd. (m)		Shear (N/m2)		60.92	
Min Ch El (m)	562.30	Stream Power (N/m s)	2142.06	0.00	0.00
Alpha	1.00	Cum Volume (1000 m3)			
Frctn Loss (m)		Cum SA (1000 m2)			
C & E Loss (m)					

Figura Nº17. Parámetros de simulación  $T=100$  años, sección transversal 0+000, tirante crítico 2,55 m.

Cross Section Output

File Type Options Help

River: Río Seco Profile: 50 años

Reach: Cauce RS: 173 Plan: Plan 01

Plan: Plan 01 Río Seco Cauce RS: 173 Profile: 50 años

		Element	Left OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	567.15	Wt. n-Val		0.020	
Vel Head (m)	0.01	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
W.S. Elev (m)	567.14	Flow Area (m2)		69.12	
Crit W.S. (m)	565.28	Area (m2)		69.12	
E.G. Slope (m/m)	0.000038	Flow (m3/s)		33.70	
Q Total (m3/s)	33.70	Top Width (m)		32.50	
Top Width (m)	32.50	Avg. Vel. (m/s)		0.49	
Vel Total (m/s)	0.49	Hydr. Depth (m)		2.13	
Max Chl Dpth (m)	2.84	Conv. (m3/s)		5501.9	
Conv. Total (m3/s)	5501.9	Wetted Per. (m)		34.42	
Length Wtd. (m)	10.00	Shear (N/m2)		0.74	
Min Ch El (m)	564.30	Stream Power (N/m s)	2892.78	0.00	0.00
Alpha	1.00	Cum Volume (1000 m3)	0.00	78.71	0.04
Frctn Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	0.01	30.49	0.10
C & E Loss (m)	0.00				

Figura Nº18. Parámetros de simulación  $T=50$  años, sección transversal 1+730, tirante crítico 2,84 m.

Cross Section Output				
File Type Options Help				
River:	Río Seco	Profile:	100 años	
Reach:	Cauce	RS:	173	Plan: Plan 01
Plan: Plan 01 Río Seco Cauce RS: 173 Profile: 100 años				
E. G. Elev (m)	567.60	Element	Left OB	Channel
Vel Head (m)	0.01	Wt. n-Val.		0.020
W.S. Elev (m)	567.58	Reach Len. (m)	10.00	10.00
Crit W.S. (m)	565.37	Flow Area (m2)		84.01
E. G. Slope (m/m)	0.000034	Area (m2)		84.01
Q Total (m3/s)	42.10	Flow (m3/s)		42.10
Top Width (m)	35.06	Top Width (m)		35.06
Vel Total (m/s)	0.50	Avg. Vel. (m/s)		0.50
Max Chl Dpth (m)	3.29	Hydr. Depth (m)		2.40
Conv. Total (m3/s)	7236.8	Conv. (m3/s)		7236.8
Length Wtd. (m)	10.00	Wetted Per. (m)		37.15
Min Ch El (m)	564.30	Shear (N/m2)		0.75
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)	2892.78	0.00
Fricn Loss (m)	0.00	Cum Volume (1000 m3)	0.06	91.54
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	0.26	32.44
				0.15

**Figura N°19.** Parámetros de simulación  $T=100$  años, sección transversal 1+730, tirante crítico, 3,29 m.

### 3.7.3 RESULTADOS DE LA MODELACIÓN

Este punto se basa exclusivamente en el control de posibles inundaciones producidas por el desborde del río Caplina a lo largo de su recorrido desde el borde del Cuartel Tarapacá hasta aguas abajo de la curva del río en las inmediaciones del Distrito Gregorio Albarracín Lanchipa. Toda esta problemática es resuelta en el trabajo a través de futuras defensas ribereña y encauzamiento sobre ambas márgenes de los río, mejorando las técnicas utilizadas en el proyecto anterior, que a simple vista no ha logrado su cometido, lo que puede ser corroborado por el deterioro de los muros de encauzamiento que se encuentran actualmente en la zona de estudio.

Los caudales máximos determinados con métodos estadísticos método de Los Momentos LogPerson III, Análisis de Máximas Avenidas e Inundaciones Pino (2012), reflejan un caudal de:

$$T= 50 \text{ años} \quad Q_{\max}= 33,7 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$T= 100 \text{ años} \quad Q_{\max}= 42,1 \text{ m}^3/\text{s}$$

La zona que compromete el cauce y la terraza fluvio-aluvial del río tiene un grado de peligro Muy Alto; el cual, está influenciado por la magnitud y ocurrencia de caudales sobre dichos ríos (especialmente avenidas con un periodo de retorno mayor a 50 años) y que originarían intensos procesos de inundación sobre las áreas asentadas en la planicie de inundación del río.

La alteración de las relaciones del hombre con su medio ocurre principalmente por la presencia de fenómenos que perturban el equilibrio del clima y del medio ambiente en general. El fenómeno de “El Niño” constituye uno de tales eventos que con mayor severidad afecta dicho equilibrio, ya que modifica radicalmente variables como las de temperaturas extremas y las precipitaciones pluviales con su secuela de avalanchas y crecidas que ocasionan inundaciones, erosión del suelo, destrucción de taludes y obras de defensa así como la modificación de los cauces, etc. El presente trabajo se basa exclusivamente en el control de probables inundaciones y modificaciones de cauce producidos por el desborde del río Caplina a lo largo del tramo estudiado, problemática que es agudizada también, por

procesos geomorfológicos de hidráulica fluvial, debido a la constante migración y movilidad del río así como intensos procesos de erosión flujos de lodos que llegan al curso principal desde las quebradas y/o torrentes.

Cabe indicar que para efectos de la determinación de la avenida de análisis en una situación de desastre, se ha considerado lo siguiente: De acuerdo a la normatividad en EUA dadas por la U.S. Federal Emergency Management Agency - FEMA (Referencia: Hidrología Aplicada, Mc Graw Hill, Ven Te Chow, pág. 533) se debe adoptar la crecienta con un periodo de retorno de 100 años como base para tomar medidas de gestión de las planicies de inundación.

Para ambos casos, se puede notar que la sección transversal crítica es la que se ubica en la progresiva 0+640 (ver figura N°20), a partir de la cual se presenta el proceso de aparente alteración del cauce natural inferido, según la simulación hidráulica efectuada y sobre la cual se deben tomar las previsiones del caso.

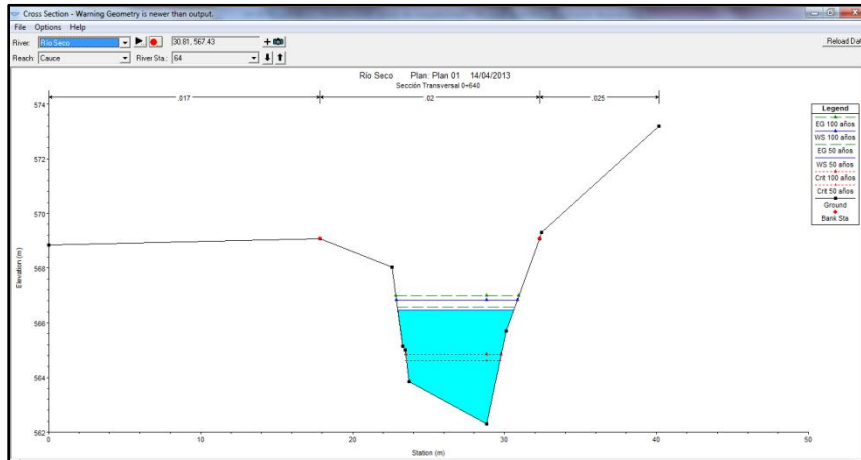


Figura N°20. Sección de flujo en la progresiva 0+640 periodo de retorno  $T=50$  y  $T=100$  años.

Cross Section Output

File Type Options Help

River: Río Seco Profile: 50 años

Reach: Cauce RS: 64 Plan: Plan 01

Plan: Plan 01 Río Seco Cauce RS: 64 Profile: 50 años

E.G. Elev (m)	566.59	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.12	Wt. n-Val.		0.020	
W.S. Elev (m)	566.46	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (m)	564.61	Flow Area (m <sup>2</sup> )		21.60	
E.G. Slope (m/m)	0.000476	Area (m <sup>2</sup> )		21.60	
Q Total (m <sup>3</sup> /s)	33.70	Flow (m <sup>3</sup> /s)		33.70	
Top Width (m)	7.62	Top Width (m)		7.62	
Vel Total (m/s)	1.56	Avg. Vel. (m/s)		1.56	
Max Chl Dpth (m)	4.17	Hydr. Depth (m)		2.83	
Conv. Total (m <sup>3</sup> /s)	1544.3	Conv. (m <sup>3</sup> /s)		1544.3	
Length W/d. (m)	10.00	Wetted Per. (m)		12.63	
Min Ch El (m)	562.30	Shear (N/m <sup>2</sup> )		7.99	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)	1922.30	0.00	0.00
Frctn Loss (m)	0.00	Cum Volume (1000 m <sup>3</sup> )		23.16	
C & E Loss (m)	0.02	Cum SA (1000 m <sup>2</sup> )		9.79	

Figura N°21. Parámetros de simulación  $T=50$  años, sección transversal 0+640, tirante crítico 4,17 m.

Plan: Plan.01 Río Seco Cauce RS: 64 Profile: 100 años	
E.G. Elev (m)	566.99
Vel Head (m)	0.15
W.S. Elev (m)	566.84
Crit W.S. (m)	564.85
E.G. Slope (m/m)	0.000528
Q Total (m3/s)	42.10
Top Width (m)	7.96
Vel Total (m/s)	1.71
Max Chl Dpth (m)	4.55
Conv. Total (m3/s)	1831.5
Length Wtd. (m)	10.00
Min Ch El (m)	562.30
Alpha	1.00
Frctn Loss (m)	0.00
C & E Loss (m)	0.02
Element	
Wt. n-Val.	0.020
Reach Len. (m)	10.00
Flow Area (m2)	24.55
Area (m2)	24.55
Flow (m3/s)	42.10
Top Width (m)	7.96
Avg. Vel. (m/s)	1.71
Hydr. Depth (m)	3.08
Conv. (m3/s)	1831.5
Wetted Per. (m)	13.47
Shear (N/m2)	9.44
Stream Power (N/m s)	1922.30
Cum Volume (1000 m3)	0.01
Cum SA (1000 m2)	0.04

**Figura N°22.** Parámetros de simulación  $T=100$  años, sección transversal 0+640, tirante crítico 4,55 m.

De las Figuras N°21 y N°22 se muestra el cambio respectivo de las condiciones de flujo para  $T=50$  y  $T=100$  en la cual los tirantes de agua no llegan a superar los bordes del río y las defensas ribereñas construidas actualmente.

Pero la vista en planta del plano de identificación de zonas vulnerables que se encuentran en los anexos, se observa que en algunas zonas del lecho aparentemente los tirantes de agua superarían la altura de los bordes de río y las defensas rivereñas construidas actualmente produciendo fenómenos de inundación, **no se produce inundación** para periodos de retorno de 50 y 100 años, la interpretación más adecuada de estos resultados sería que en esas zonas se estaría alterando el cauce natural inferido por esa razón en las zonas donde se altera el cauce inferido se produce el colapso de los muros.

Las 174 secciones con los parámetros de simulación del modelo hidráulico y tirantes críticos se muestran en los anexos. Según los resultados de la simulación hidráulica

se reporta que tanto para un periodo de retorno de 50 y 100 años no se produce el fenómeno de inundación.

Entonces las zonas vulnerables, susceptibles a alteraciones de cauce y donde se produce el colapso de defensas ribereñas se encuentran ubicadas en las siguientes progresivas de la margen derecha:

- ✓ De 0+000 a 0+030
- ✓ De 0+160 a 0+210
- ✓ De 0+420 a 0+520
- ✓ De 0+600 a 1+230
- ✓ De 1+370 a 1+730

Y en la margen izquierda:

- ✓ De 1+540 a 1+730

## **CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Para esta etapa se propusieron tres escenarios el primero una proyección de tiempo mucho más prolongado para periodos de retorno de 500 años y duplicando este valor ósea un periodo milenario, el segundo escenario propuesto fue la modificación de las secciones más estrechas donde los muros colapsados y ubicados en la base del lecho fluvial podrían modificar los tirantes críticos, el cauce y ver si producirían una probable colmatación, el tercer escenario la modificación de la sección final por arrastre de sedimento para analizar el riesgo que afectaría al puente de acceso a las canteras.

### **4.1 PRIMER ESCENARIO PERIODOS DE RETORNO PARA 500 Y 1000 AÑOS.**

La inquietud nació por saber cuál sería el tiempo para que el cauce provoque un desborde catastrófico en la zona urbana y conocer parámetros de simulación para estos periodos prolongados y como afectarían a las dos márgenes del río.

Pero para realizar esta simulación, también tendríamos que modificar los caudales máximos de diseño, para realizar esta proyección contamos con caudales obtenidos para periodos de 50 y 100 años y con la ayuda de una regresión polinómica se obtuvo la siguiente relación:

$$T = 5,9524Q - 150,6$$

Dónde:

**T:** Periodo de retorno en años.

**Q:** Caudal máximo de diseño en m<sup>3</sup>/s.

Entonces para nuestra simulación los caudales de diseño serán 109,3 m<sup>3</sup>/s para un periodo de retorno de 500 años y 193,3 m<sup>3</sup>/s para un periodo de retorno de 1000 años.

Los resultados de esta nueva simulación demuestran que con los caudales proyectados para periodos de retorno de 500 y 1000 años se produce colmatación y desborde en casi todo el trayecto de la zona del lecho afectando a los dos márgenes del río Seco en los anexos también se muestran las secciones transversales y los tirantes críticos para cada progresiva con un espaciamiento de 10 m.

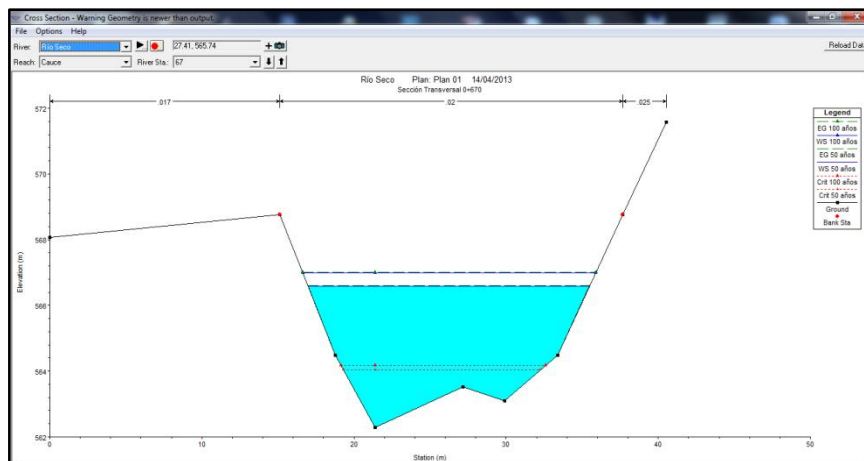
#### **4.2 SEGUNDO ESCENARIO MODIFICACIÓN DE LAS SECCIONES MÁS ESTRECHAS DONDE LOS MUROS HAN COLAPSADO**

Se ha identificado en las visitas a campo la peligrosidad de los muros colapsados en las zonas más estrechas y se ha propuesto para este caso la modificación de las secciones donde los muros colapsados incrementarían el tirante crítico ver Foto N°19.

Las zonas identificadas son las progresivas 0+670 y 0+680, ver Figuras N°23 y N°29, se estimaron un incremento de fondo del lecho de acuerdo a la medida del muro colapsado 1,61 m aproximadamente.



**Foto N°19.** La vista muestra el colapso de los muros en la zona del lecho inactivo progresivas 0+670 y 0+680 se calculó un incremento de base de lecho de 1,61m.



**Figura N°23.** Sección de flujo para la progresiva 0+670 para periodos de retorno de 50 y 100 años.

Cross Section Output					
File Type Options Help					
River:	Río Seco	Profile:	50 años		
Reach:	Cauce	RS:	67	Plan: Plan 01	
Plan: Plan 01 Río Seco Cauce RS: 67 Profile: 50 años					
E.G. Elev (m)	566.60	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.02	Wt. n-Val		0.020	
W.S. Elev (m)	566.58	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (m)	564.03	Flow Area (m2)		52.36	
E.G. Slope (m/m)	0.000051	Area (m2)		52.36	
Q Total (m3/s)	33.70	Flow (m3/s)		33.70	
Top Width (m)	18.50	Top Width (m)		18.50	
Vel Total (m/s)	0.64	Avg. Vel. (m/s)		0.64	
Max Chl Dpth (m)	4.29	Hydr. Depth (m)		2.83	
Conv. Total (m3/s)	4730.1	Conv. (m3/s)		4730.1	
Length Wtd. (m)	10.00	Wetted Per. (m)		21.56	
Min Ch El (m)	562.29	Shear (N/m2)		1.21	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)	1940.48	0.00	0.00
Frctn Loss (m)	0.00	Cum Volume (1000 m3)		24.12	
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)		10.16	

Figura N°24. Parámetros de simulación  $T=50$  años, sección transversal 0+670, tirante crítico 4,29 m.

Cross Section Output					
File Type Options Help					
River:	Río Seco	Profile:	100 años		
Reach:	Cauce	RS:	67	Plan: Plan 01	
Plan: Plan 01 Río Seco Cauce RS: 67 Profile: 100 años					
E.G. Elev (m)	567.01	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.03	Wt. n-Val		0.020	
W.S. Elev (m)	566.99	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (m)	564.19	Flow Area (m2)		59.97	
E.G. Slope (m/m)	0.000054	Area (m2)		59.97	
Q Total (m3/s)	42.10	Flow (m3/s)		42.10	
Top Width (m)	19.25	Top Width (m)		19.25	
Vel Total (m/s)	0.70	Avg. Vel. (m/s)		0.70	
Max Chl Dpth (m)	4.69	Hydr. Depth (m)		3.12	
Conv. Total (m3/s)	5737.5	Conv. (m3/s)		5737.5	
Length Wtd. (m)	10.00	Wetted Per. (m)		22.66	
Min Ch El (m)	562.29	Shear (N/m2)		1.40	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)	1940.48	0.00	0.00
Frctn Loss (m)	0.00	Cum Volume (1000 m3)	0.01	27.98	
C & E Loss (m)	0.01	Cum SA (1000 m2)	0.04	10.71	

Figura N°25. Parámetros de simulación  $T=100$  años, sección transversal 0+670, tirante crítico 4,69 m.

Ahora compararemos resultados de efectuar la modificación de la sección:

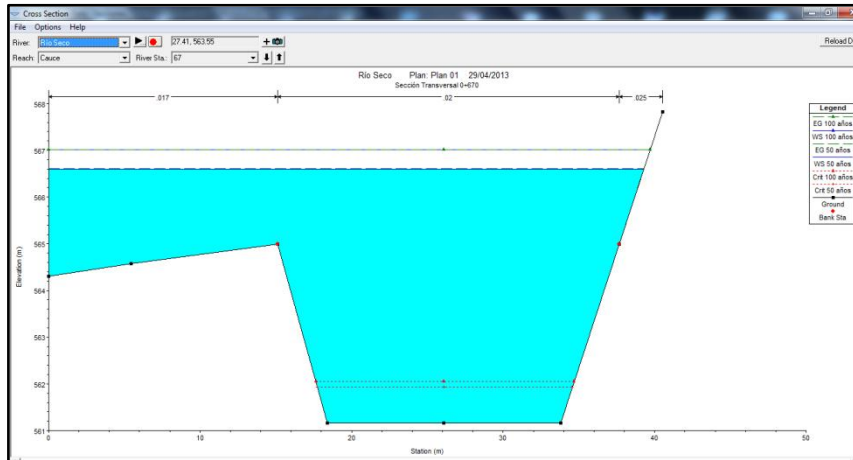


Figura N°26. Sección de flujo modificada 0+670 incrementando 1,61 m, la base del lecho para periodos de retorno de 50 y 100 años.

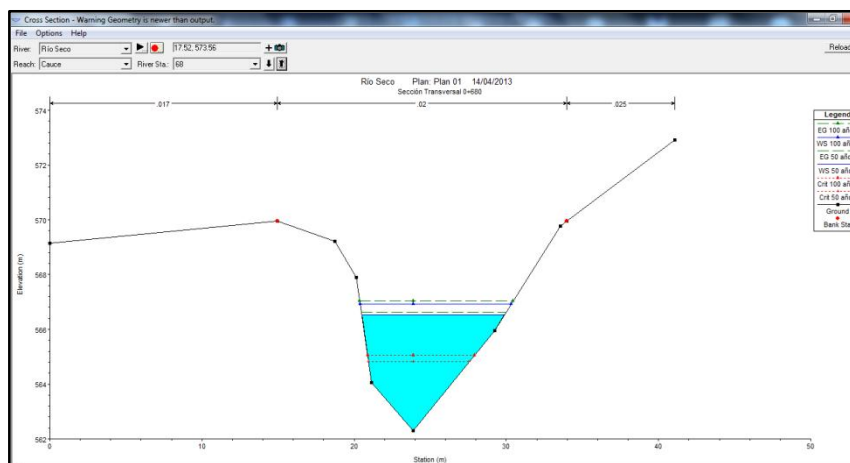
Cross Section Output						
File Type Options Help						
River:	Río Seco	Profile:	50 años			
Reach:	Cauce	RS:	67	Plan:	Plan 01	
Plan: Plan 01 Río Seco Cauce RS: 67 Profile: 50 años						
		Element	Left OB	Channel	Right OB	
E.G. Elev (m)	566.61	Wt. n-Val	0.017	0.020	0.025	
Vel Head (m)	0.00	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00	
W.S. Elev (m)	566.60	Flow Area (m2)	29.34	108.98	1.30	
Crit W.S. (m)	561.93	Area (m2)	29.34	108.98	1.30	
E.G. Slope (m/m)	0.000004	Flow (m3/s)	4.93	28.70	0.07	
Q Total (m3/s)	33.70	Top Width (m)	15.13	22.54	1.62	
Top Width (m)	39.29	Avg. Vel. (m/s)	0.17	0.26	0.06	
Vel Total (m/s)	0.24	Hydr. Depth (m)	1.94	4.83	0.80	
Max Chl Dpth (m)	5.45	Conv. (m3/s)	2441.1	14204.7	35.8	
Conv. Total (m3/s)	16681.6	Wetted Per. (m)	17.44	25.89	2.28	
Length Wtd. (m)	10.00	Shear (N/m2)	0.07	0.17	0.02	
Min Ch El (m)	561.16	Stream Power (N/m s)	1940.48	0.00	0.00	
Alpha	1.08	Cum Volume (1000 m3)	0.15	24.41	0.01	
Frctn Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	0.08	10.18	0.01	
C & E Loss (m)	0.01					

Figura N°27. Parámetros de simulación T=50 años, sección transversal 0+670 modificada, tirante crítico 5,45 m.

Cross Section Output					
File Type Options Help					
River:	Río Seco	Profile:	100 años		
Reach:	Cauce	RS:	67	Plan: Plan 01	
Plan: Plan 01 Río Seco Cauce RS: 67 Profile: 100 años					
E.G. Elev (m)	567.01	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.00	Wt. n-Val	0.017	0.020	0.025
W.S. Elev (m)	567.01	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (m)	562.05	Flow Area (m2)	35.50	118.15	2.04
E.G. Slope (m/m)	0.000005	Area (m2)	35.50	118.15	2.04
Q Total (m3/s)	42.10	Flow (m3/s)	7.09	34.87	0.14
Top Width (m)	39.70	Top Width (m)	15.13	22.54	2.03
Vel Total (m/s)	0.27	Avg. Vel. (m/s)	0.20	0.30	0.07
Max Chl Dpth (m)	5.85	Hydr. Depth (m)	2.35	5.24	1.01
Conv. Total (m3/s)	19620.8	Conv. (m3/s)	3302.4	16253.1	65.4
Length Wtd (m)	10.00	Wetted Per. (m)	17.85	25.89	2.86
Min Ch El (m)	561.16	Shear (N/m2)	0.09	0.21	0.03
Alpha	1.08	Stream Power (N/m s)	1940.48	0.00	0.00
Frcn Loss (m)	0.00	Cum Volume (1000 m3)	0.18	28.27	0.01
C & E Loss (m)	0.01	Cum SA (1000 m2)	0.11	10.73	0.01

**Figura N°28.** Parámetros de simulación  $T=100$  años, sección transversal 0+670 modificada, tirante crítico 5,85 m.

Entonces tenemos que el valor del tirante crítico se incrementa aproximadamente 1,16 m para periodos de 50 y 100 años, produciendo colmatación y desborde para las sección en la progresiva 0+670, ver Figuras N°26.



**Figura N°29.** Sección de flujo para la progresiva 0+680 para periodos de retorno de 50 y 100 años.

Cross Section Output					
File Type Options Help					
River:	Río Seco	Profile:	50 años		
Reach:	Cauce	RS:	68	Plan: Plan 01	
Plan: Plan 01 Río Seco Cauce RS: 68 Profile: 50 años					
E.G. Elev (m)	566.63	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.11	Wt. n-Val.		0.020	
W.S. Elev (m)	566.52	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (m)	564.81	Flow Area (m2)		22.92	
E.G. Slope (m/m)	0.000411	Area (m2)		22.92	
Q Total (m3/s)	33.70	Flow (m3/s)		33.70	
Top Width (m)	9.37	Top Width (m)		9.37	
Vel Total (m/s)	1.47	Avg. Vel. (m/s)		1.47	
Max Chl Dpth (m)	4.22	Hydr. Depth (m)		2.45	
Conv. Total (m3/s)	1661.4	Conv. (m3/s)		1661.4	
Length Wtd. (m)	10.00	Wetted Per. (m)		13.14	
Min Ch El (m)	562.30	Shear (N/m2)		7.04	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)	1967.31	0.00	0.00
Frctn Loss (m)	0.00	Cum Volume (1000 m3)		24.50	
C & E Loss (m)	0.03	Cum SA (1000 m2)		10.30	

Figura N°30. Parámetros de simulación  $T=50$  años, sección transversal 0+680, tirante crítico 4,22 m.

Cross Section Output					
File Type Options Help					
River:	Río Seco	Profile:	100 años		
Reach:	Cauce	RS:	68	Plan: Plan 01	
Plan: Plan 01 Río Seco Cauce RS: 68 Profile: 100 años					
E.G. Elev (m)	567.04	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.13	Wt. n-Val.		0.020	
W.S. Elev (m)	566.92	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (m)	565.05	Flow Area (m2)		26.74	
E.G. Slope (m/m)	0.000424	Area (m2)		26.74	
Q Total (m3/s)	42.10	Flow (m3/s)		42.10	
Top Width (m)	9.92	Top Width (m)		9.92	
Vel Total (m/s)	1.57	Avg. Vel. (m/s)		1.57	
Max Chl Dpth (m)	4.62	Hydr. Depth (m)		2.69	
Conv. Total (m3/s)	2043.9	Conv. (m3/s)		2043.9	
Length Wtd. (m)	10.00	Wetted Per. (m)		14.14	
Min Ch El (m)	562.30	Shear (N/m2)		7.87	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)	1967.31	0.00	0.00
Frctn Loss (m)	0.00	Cum Volume (1000 m3)		0.01	28.41
C & E Loss (m)	0.03	Cum SA (1000 m2)		0.04	10.86

Figura N°31. Parámetros de simulación  $T=100$  años, sección transversal 0+680, tirante crítico 4,62 m.

Ahora compararemos resultados de efectuar la modificación de la sección:



The screenshot shows the 'Cross Section Output' window with the following parameters: River: Río Seco, Profile: 100 años, Reach: Cauce, RS: 68, Plan: Plan 01.

Plan: Plan 01 Río Seco Cauce RS: 68 Profile: 100 años					
Element	Value	Left OB	Channel	Right OB	
E.G. Elev (m)	567.02				
Vel Head (m)	0.01	0.017	0.020	0.025	
W.S. Elev (m)	567.00				
Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00	10.00	
Crit W.S. (m)	562.76				
Flow Area (m2)	21.88	72.23	1.78		
Area (m2)	21.88	72.23	1.78		
Flow (m3/s)	6.87	35.01	0.22		
Top Width (m)	36.38	14.95	18.59	2.84	
Avg. Vel. (m/s)	0.44	0.31	0.48	0.12	
Hydr. Depth (m)	5.65	1.46	3.89	0.63	
Conv. Total (m3/s)	9383.6	1532.2	7802.4	49.0	
Wetted Per. (m)	10.00	16.84	22.75	3.11	
Shear (N/m2)	561.36	0.26	0.63	0.11	
Stream Power (N/m s)	1.10	1967.31	0.00	0.00	
Cum Volume (1000 m3)	0.00	0.47	29.22	0.03	
Cum SA (1000 m2)	0.00	0.26	10.93	0.03	

**Figura N°34.** Parámetros de simulación  $T=100$  años, sección transversal 0+680 modificada, tirante crítico 5,65 m.

Entonces tenemos que el valor del tirante crítico se incrementa aproximadamente 1,03 m para periodos de 50 y 100 años, produciendo colmatación y desborde para la sección en la progresiva 0+680 ver Figura N°32.

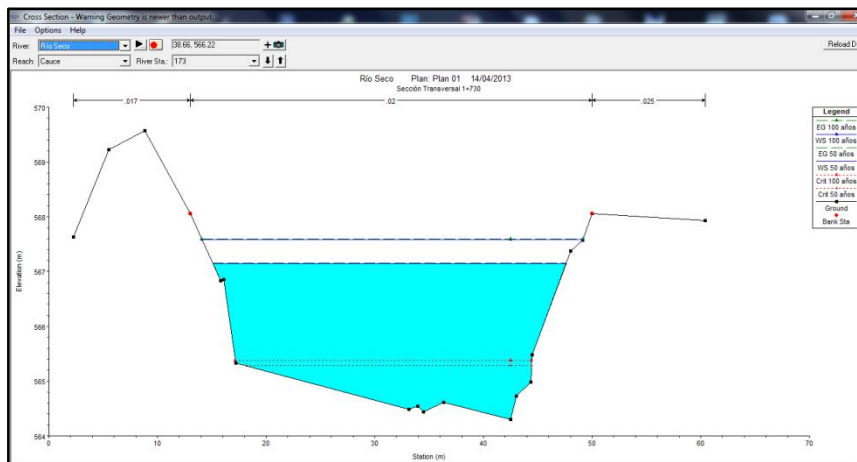
#### 4.3 TERCER ESCENARIO MODIFICACIÓN DE LA SECCIÓN FINAL POR ACUMULACIÓN DE SEDIMENTO

Al igual que el escenario anterior se propone la modificación de la sección final del tramo por acumulación de sedimento, queda claro que todo lo que discurre en el cauce no es agua pero de alguna manera y a pesar de las alteraciones del cauce logra discurrir, en el caso de la sección final existe un puente (ver Foto N°20) el cual podría obstaculizar el desenvolvimiento del torrente o si no generar a lo largo del tiempo acumulación de materiales aluviales y sedimentar la superficie del cauce produciendo un incremento del tirante y afectando el acceso principal a la zona de canteras donde también existe expansión urbana.

Entonces la sección sería la ubicada en la progresiva 1+730 (ver Figura N° 35), a continuación observaremos la sección de flujo y los parámetros hidráulicos para periodos de 50 y 100 años.



**Foto N°20.** Vista donde se aprecia el puente de acceso a la zona de canteras



**Figura N°35.** Sección de flujo para la progresiva 1+730 para periodos de retorno de 50 y 100 años.

Cross Section Output

File Type Options Help

River: Río Seco Profile: 50 años

Reach: Cauce RS: 173 Plan: Plan 01

Plan: Plan 01 Río Seco Cauce RS: 173 Profile: 50 años

		Element	Left OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	567.15	Wt. n-Val		0.020	
Vel Head (m)	0.01	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
W.S. Elev (m)	567.14	Flow Area (m <sup>2</sup> )		69.12	
Crit W.S. (m)	565.28	Area (m <sup>2</sup> )		69.12	
E.G. Slope (m/m)	0.000038	Flow (m <sup>3</sup> /s)		33.70	
Q Total (m <sup>3</sup> /s)	33.70	Top Width (m)		32.50	
Top Width (m)	32.50	Avg. Vel. (m/s)		0.49	
Vel Total (m/s)	0.49	Hydr. Depth (m)		2.13	
Max Chl Dpth (m)	2.84	Conv. (m <sup>3</sup> /s)		5501.9	
Conv. Total (m <sup>3</sup> /s)	5501.9	Wetted Per. (m)		34.42	
Length Wtd. (m)	10.00	Shear (N/m <sup>2</sup> )		0.74	
Min Ch El (m)	564.30	Stream Power (N/m s)	2892.78	0.00	0.00
Alpha	1.00	Cum Volume (1000 m <sup>3</sup> )	0.00	78.71	0.04
Frctn Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m <sup>2</sup> )	0.01	30.49	0.10
C & E Loss (m)	0.00				

Figura N°36. Parámetros de simulación  $T=50$  años, sección transversal 1+730, tirante crítico 2,84 m.

Cross Section Output

File Type Options Help

River: Río Seco Profile: 100 años

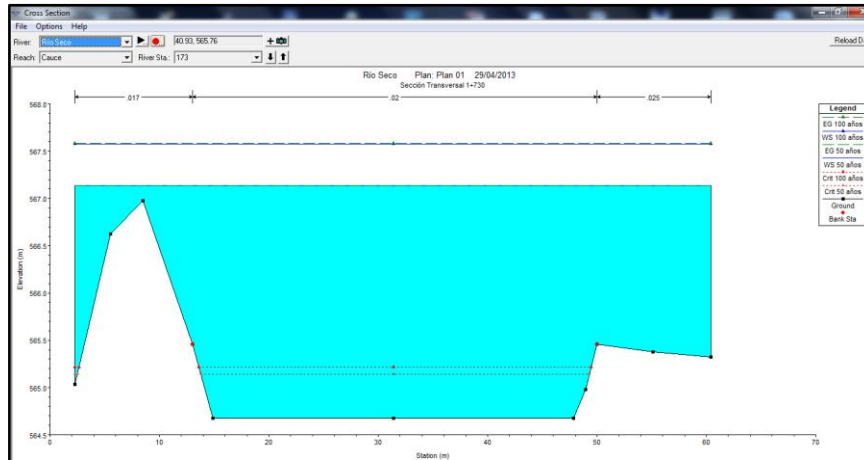
Reach: Cauce RS: 173 Plan: Plan 01

Plan: Plan 01 Río Seco Cauce RS: 173 Profile: 100 años

		Element	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	567.60	Wt. n-Val	0.020	
Vel Head (m)	0.01	Reach Len. (m)	10.00	10.00
W.S. Elev (m)	567.58	Flow Area (m <sup>2</sup> )		84.01
Crit W.S. (m)	565.37	Area (m <sup>2</sup> )		84.01
E.G. Slope (m/m)	0.000034	Flow (m <sup>3</sup> /s)		42.10
Q Total (m <sup>3</sup> /s)	42.10	Top Width (m)		35.06
Top Width (m)	35.06	Avg. Vel. (m/s)		0.50
Vel Total (m/s)	0.50	Hydr. Depth (m)		2.40
Max Chl Dpth (m)	3.29	Conv. (m <sup>3</sup> /s)		7236.8
Conv. Total (m <sup>3</sup> /s)	7236.8	Wetted Per. (m)		37.15
Length Wtd. (m)	10.00	Shear (N/m <sup>2</sup> )		0.75
Min Ch El (m)	564.30	Stream Power (N/m s)	2892.78	0.00
Alpha	1.00	Cum Volume (1000 m <sup>3</sup> )	0.06	91.54
Frctn Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m <sup>2</sup> )	0.26	32.44
C & E Loss (m)	0.00			0.15

Figura N°37. Parámetros de simulación  $T=100$  años, sección transversal 1+730, tirante crítico 3,29 m.

Ahora compararemos resultados de efectuar la modificación de la sección:



**Figura N°38.** Sección modificada de flujo para la progresiva 1+730 para periodos de retorno de 50 y 100 años.

La Figura N°38 muestra la sección modificada con un incremento de la base del lecho de 3,60 m.

Obteniéndose los siguientes parámetros de simulación:

Cross Section Output					
File Type Options Help					
River:	Río Seco	Profile:	50 años		
Reach:	Cauce	RS:	173		
Plan: Plan 01 Río Seco Cauce RS: 173 Profile: 50 años					
		Element	Left OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	567.14	Wt. n-Val	0.017	0.020	0.025
Vel Head (m)	0.00	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
W.S. Elev (m)	567.14	Flow Area (m2)	30.88	163.67	39.04
Crit W.S. (m)	563.14	Area (m2)	30.88	163.67	39.04
E.G. Slope (m/m)	0.000001	Flow (m3/s)	3.48	26.52	3.70
Q Total (m3/s)	33.70	Top Width (m)	10.73	37.02	10.40
Top Width (m)	58.15	Avg. Vel. (m/s)	0.11	0.16	0.09
Vel Total (m/s)	0.14	Hydr. Depth (m)	2.88	4.42	3.75
Max Chl Dpth (m)	4.46	Conv. (m3/s)	2879.7	21928.1	3062.2
Conv. Total (m3/s)	27870.0	Wetted Per. (m)	15.47	37.32	14.21
Length Wtd. (m)	10.00	Shear (N/m2)	0.03	0.06	0.04
Min Ch El (m)	562.68	Stream Power (N/m s)	2892.78	0.00	0.00
Alpha	1.10	Cum Volume (1000 m3)	0.61	79.71	0.26
Frctn Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	0.36	30.56	0.19
C & E Loss (m)	0.00				

**Figura N°39.** Parámetros de simulación  $T=50$  años, sección modificada transversal 1+730, tirante crítico 4,46 m.

The screenshot shows a software window titled 'Cross Section Output'. At the top, there is a menu bar with 'File', 'Type', 'Options', and 'Help'. Below the menu bar, there are several input fields: 'River' set to 'Río Seco', 'Profile' set to '100 años', 'Reach' set to 'Cauce', 'RS' set to '173', and 'Plan' set to 'Plan 01'. Below these fields, a header row indicates 'Plan: Plan 01', 'Río Seco', 'Cauce RS: 173', and 'Profile: 100 años'. The main area contains a table with two columns of data. The left column lists various hydraulic parameters, and the right column lists the same parameters broken down by 'Element', 'Left OB', 'Channel', and 'Right OB'.

Plan: Plan 01		Río Seco Cauce RS: 173 Profile: 100 años			
E.G. Elev (m)	567.58	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.00	Wt. n-Val	0.017	0.020	0.025
W.S. Elev (m)	567.58	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (m)	563.21	Flow Area (m2)	35.62	180.01	43.62
E.G. Slope (m/m)	0.000002	Area (m2)	35.62	180.01	43.62
Q Total (m3/s)	42.10	Flow (m3/s)	4.59	32.89	4.62
Top Width (m)	58.15	Top Width (m)	10.73	37.02	10.40
Vel Total (m/s)	0.16	Avg. Vel. (m/s)	0.13	0.18	0.11
Max Chl Dpth (m)	4.90	Hydr. Depth (m)	3.32	4.86	4.19
Conv. Total (m3/s)	32891.2	Conv. (m3/s)	3584.7	25695.5	3611.0
Length W/d. (m)	10.00	Wetted Per. (m)	15.91	37.32	14.65
Min Ch El (m)	562.68	Shear (N/m2)	0.04	0.08	0.05
Alpha	1.10	Stream Power (N/m s)	2892.78	0.00	0.00
Frctn Loss (m)	0.00	Cum Volume (1000 m3)	0.81	92.50	0.35
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	0.61	32.49	0.25

**Figura N°40.** Parámetros de simulación  $T=100$  años, sección modificada transversal 1+730, tirante crítico 4,90 m.

Entonces tenemos que el valor del tirante crítico se incrementa aproximadamente 1,60 m y 2,06 m para periodos de 50 y 100 años, produciendo colmatación y afectando seriamente al puente.

## CONCLUSIONES

- El modelo hidrodinámico del río Seco, permitió determinar las zonas vulnerables de el área de estudio considerando el comportamiento del río a través de la simulación.
- Se pudo Identificar el tramo del río Seco que comprende la zona urbana de la ciudad de Tacna.
- Se obtuvo toda la información necesaria para determinar en campo los parámetros hidráulicos que se requieren para llevar a cabo el modelamiento del río.
- Se pudo modelar el tramo encauzado del río Seco dentro de la zona urbana bajo condiciones extremas de descargas.
- Se identificó la problemática y situación actual de la zona de estudio y sugerir la estructura más adecuada (gaviones) para defensa ribereña de la margen derecha del río.
- Se identificó las principales causas de colapso de los muros de concreto existentes, estas son:
  - ✓ Alteración de cauce natural.
  - ✓ Grado de Socavación en la base de los muros de contención.
  - ✓ Construcción de los muros de contención encima de terreno inestable.

- Geomorfológicamente y a nivel regional la zona de estudio se ubica en la unidad regional de las Pampas Costaneras y subunidad de Valle, también se pudo identificar las características de la geomorfología regional de la zona de estudio.
- Geomorfológicamente y a nivel local se describió la zona de estudio, los márgenes, la forma y tipos de lecho (mayor o de inundación, ordinario o aparente y canal de estiaje)
- Geológicamente y a nivel regional las principales unidades litoestratigráficas identificadas en la zona de estudio son la Formación Huaylillas Miembro Superior (Nm-hu\_s), Formación Millo (Nm-mi), Depósitos aluviales (Qh-al) y Depósitos Eluviales (Qh-e).
- Geológicamente y a nivel local las principales unidades litoestratigráficas identificadas son Formación Huaylillas Miembro Superior (Nm-hu\_s), Depósitos Aluviales (Qh-al), Depósitos fluviales (Qh-fl) y Depósitos Tecnógenos (Qh-tec).
- El elevado caudal produce colapso de los muros existentes en la margen derecha y también fracturas en la arenisca en la margen izquierda, pasando la zona más sinuosa del trayecto.
- En cuanto a la geodinámica externa el principal proceso erosivo para nuestra zona de estudio es la erosión fluvial. La evaluación de riesgos para la zona de estudio nos indica que 89,1% de la zona se encuentra bajo riesgo, las zonas susceptibles son: márgenes del río, zona urbana y el sector del puente de acceso principal a las canteras.

- De estudios similares, se pudo identificar los parámetros de la geodinámica interna 0,2 g de aceleración para de la región Tacna los sismos son de foco de profundidad intermedia ( $60 < h \leq 350$  Km.) valores que se deben de tomar en cuenta para nuestra zona de estudio.
- Los periodos de retorno para sismos de gran magnitud en la zona de estudio son 36 años para sismos de 6,5; 76 años para sismos de 7; 164 años para sismos de 7,5 y 350 años para sismos de grado 8 escala de Richter.
- Los datos de trabajos de excavaciones, Mecánica de Suelos nos indican una densidad de campo del lecho del río es  $2,193 \text{ gr/cm}^3$  y tamaño medio de diámetro de las partículas aproximadamente 49 mm.
- El grado de socavación general promedio seria 0,735 m y el observado en campo es 0,84m.
- La margen derecha del río Seco en general se le clasifica como gravas arenosas pobremente gradadas **GP**.
- Los muros fueron construidos sobre terreno deleznable sueltos y mezclados con desmonte y residuos sólidos.
- Del análisis de Estabilidad de Taludes se ha obtenido un factor de seguridad de 1,48 en condiciones pseudoestáticas considerado como **inestable**, según el método de Bishop Simplificado para la margen derecha.
- De acuerdo al estudio topográfico se obtuvieron las siguientes características del terreno: Extensión del área 8,92 Hectáreas, desde el cerco perimétrico del cuartel

Tarapacá hasta el puente de acceso a la zona de canteras una longitud de 1,74 km aproximadamente, pendiente promedio de  $S = 0,03064$ , desnivel entre el punto de inicio y el final del tramo de Río Seco es de 48,18 m y 174 secciones transversales cada 10 m. en cada progresiva.

- Del análisis hidrológico de estudio de Máximas avenidas e Inundaciones, Pino (2012) los caudales de diseño en el modelo hidráulico debe ser para periodos de retorno de 50 y 100 años  $28,7 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $37,1 \text{ m}^3/\text{s}$  a los que se le debe incrementar un aporte estimado en la confluencia con la quebrada Uchusuma, de  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ . En tal sentido los caudales finales serán:  $T=50$  años  $Q_{\text{max}}= 33,7 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $T=100$  años  $Q_{\text{max}}= 42,1 \text{ m}^3/\text{s}$
- De los resultados del modelo hidrodinámico se tiene que el flujo para  $T=50$  y  $T=100$ , los tirantes de agua no producen inundación y desborde del río y las defensas ribereñas construidas actualmente.
- Se reporta que tanto para un periodo de retorno de 50 y 100 años las zonas vulnerables son:

Progresivas de la margen derecha:

- ✓ De 0+000 a 0+030
- ✓ De 0+160 a 0+210
- ✓ De 0+420 a 0+520
- ✓ De 0+600 a 1+230
- ✓ De 1+370 a 1+730

Y en la margen izquierda:

✓ De 1+540 a 1+730

- Los resultados la simulación demuestran para que los caudales de diseño proyectados para periodos de retorno de 500 y 1000 años producen colmatación y desborde en casi todo el trayecto de la zona del lecho afectando a los dos márgenes del río Seco.
- Los resultados de las modificaciones de secciones por modificación de las secciones más estrechas donde los muros han colapsado indican que en la parte del donde el lecho es más angosto y existen muros caídos tenemos que el valor del tirante crítico se incrementa aproximadamente 1,03 m para periodos de 50 y 100 años, produciendo colmatación y desborde para la sección en la progresiva 0+680.
- Los resultados de la modificación de la sección final por acumulación de sedimento demuestran que la sección final eleva el valor del tirante crítico en aproximadamente 1,60 m y 2,06m para periodos de 50 y 100 años respectivamente, produciendo colmatación y afectando seriamente al puente.
- Y finalmente se llega a la conclusión general de que gracias al modelamiento hidrodinámico se pueden planificar las alternativas más adecuadas para el manejo de proyectos de defensa ribereñas.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda un estudio geológico estructural de la margen izquierda para identificación de fallas y fracturas con ayuda de mapeo geodinámico en esta parte del lecho, este trabajo no consideró las consecuencias por colmatación y desprendimiento de arenas y rocas de la ladera del cerro Arunta.
- De la información de geotecnia generada para este estudio (Mecánica de Suelos, Cálculo de La Socavación General y Estabilidad de Taludes) se recomienda un nuevo plan de limpieza de cauce respetando la forma del lecho natural además de sugerir el reemplazo de los muros de contención por gaviones para defensas ribereñas.
- Está disponible la información del ensayo de densidades máximas y mínimas ASTM - D4254 de Mecánica de Suelos realizado en la margen derecha entre las progresivas 0+470 y 0+480, además de los parámetros necesarios para calcular la Capacidad Portante se recomienda realizar este cálculo para tener una idea de las cargas que se pueden aplicar al terreno.
- Se recomienda adoptar medidas de prevención, en la zona del puente de acceso a las canteras, ya que se ha estimado un riesgo de 89,10% calificado como alto, aparentemente en la zona del lecho del río en época de estiaje presenta un riesgo moderado pero hay que considerar los periodos de retorno y posible reactivación del cauce en época de avenidas, con la ayuda de las herramientas tecnológicas e información hidrológica de la zona de estudio ahora

es posible simular los periodos de retorno en años para diferentes caudales y calcular parámetros que deberíamos tomar en cuenta para diseño de obras y accesos.

- Se recomienda un plan de concientización y manejo de residuos sólidos para los pobladores que habitan en la zona urbana cercana a nuestra zona de estudio.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Geomorfología, M. Derrau 1966.
- Primer Ciclo de Conferencias de Geomorfología, R. Laharie 1973.
- Geología del cuadrángulo de Tacna (37-V), J. Wilson y W. García 1962.
- Plano topográfico del muro de contención ribera río Seco - sector Arunta Subgerencia de Ingeniería y Obras, Municipalidad distrital Gregorio Albarracín Lanchipa 2011.
- Hec-Ras Ejemplos, M. Villón B. 2009.
- Análisis de Máximas Avenidas e Inundaciones. E. Pino V. 2012.
- Modelamiento Hidráulico Hec Ras Caso Río Seco Arunta, Maestría En Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible Escuela De Post Grado Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, F. Frisancho, M.A. Linares, E.M. Mamani, D. Tito, L. Feliciano, J.Solis, 2012.
- Simulación Hidráulica Diseño y Elaboración de Presupuesto para Construcción de Defensas en la Localidad de Ticapampa Municipalidad Distrital de Ilabaya 2008.