

**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

Profesor Patrocinante : Álvaro Suazo Schwencke



**ANÁLISIS DE LOS EFECTOS  
HIDRÁULICOS PROVOCADOS POR  
LOS TSUNAMIS EN EL CAUCE DEL  
ESTERO DICHATO**

Proyecto de título presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de  
Ingeniero Civil.

**VÍCTOR PABLO SALAZAR PALMA**

**CONCEPCIÓN, MAYO DE 2014**

## ÍNDICE

RESUMEN.....	1
ABSTRACT .....	2
1 Introducción .....	3
1.1 Objetivos de la Investigación .....	4
1.1.1 Objetivo General.....	4
1.1.2 Objetivos específicos .....	4
1.2 Los tsunamis como definición .....	5
1.3 Zona de estudio. ....	7
1.3.1 Dichato.....	7
1.3.2 Áreas de inundación y destrucción.....	7
1.4 Proceso de sedimentación. ....	9
2 Metodología .....	11
2.1 Selección de zonas de muestreo de sedimentos .....	11
2.2 Procedimiento de extracción de muestras en el cauce .....	12
2.3 Clasificación de sedimentos depositados .....	13
2.4 Determinación de la Materia Orgánica.....	14
2.5 Morfología .....	14
2.6 Determinación de la capacidad hidráulica del estero.....	16
3 Resultados y Análisis .....	17
3.1 Análisis Granulométrico de los Sedimentos Depositados.....	17
3.2 Materia Orgánica de los Sedimentos Depositados .....	21
3.3 Análisis morfológico. ....	22
3.4 Capacidad hidráulica. ....	24
4 Conclusiones y Recomendaciones .....	26

Referencias .....	28
-------------------	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Plano de inundación. (Gobierno de Chile, 2010). .....	8
Figura 2: Ubicación de los puntos de muestreo de sedimentos. ....	12
Figura 3: Tramo analizado en morfología. ....	15
Figura 4: Análisis Granulométrico comparación aguas arriba con aguas abajo, muestra 1 con muestra 12. ....	18
Figura 5: Análisis Granulométrico muestras del fondo. ....	19
Figura 6: Análisis Granulométrico muestras laterales. ....	19
Figura 7: Análisis Granulométrico muestras 3 y 4. ....	20
Figura 8: Tramo analizado en morfología, un mes antes y un mes después del terremoto, junto con la vista actual (año 2014). ....	22
Figura 9: El Antes y Después de las obras de limpieza. ....	23
Figura 10: Sección Transversal Antes del Tsunami. ....	24
Figura 11: Sección Transversal Analizada. ....	24
Figura 12: Sección Transversal Después del Tsunami. ....	25

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Calicatas y muestras. ....	13
Tabla 2. Clasificación de muestras de suelo. ....	17
Tabla 3. Cantidad porcentual de materia orgánica. ....	21

## **ANÁLISIS DE LOS EFECTOS HIDRÁULICOS PROVOCADOS POR LOS TSUNAMIS EN EL CAUCE DEL ESTERO DICHATO.**

**Autor: Víctor Pablo Salazar Palma**

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío

Correo Electrónico: [visalaz@alumnos.ubiobio.cl](mailto:visalaz@alumnos.ubiobio.cl)

**Profesor Patrocinante: Álvaro Suazo Schwencke**

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío

Correo Electrónico: [asuazo@ubiobio.cl](mailto:asuazo@ubiobio.cl)

### **RESUMEN**

En el año 2010, Chile fue azotado por un terremoto que produjo un tsunami que impactó las costas chilenas, destruyendo varias localidades, como por ejemplo Dichato. En 2011 otro tsunami afecta a estas mismas costas producto de un terremoto en Japón. En ambos casos, el tsunami ingresó principalmente por el estero de Dichato, desbordándose e inundado gran parte de la localidad. Se pudo observar que las zonas bajas son fácilmente inundables y que los rellenos efectuados en el canal no son suficientes. De esta manera se justifica este proyecto de título, el que busca analizar los efectos hidráulicos provocados por estas grandes catástrofes con el fin de cuantificar los daños provocados y riesgos de inundación futura producto de la posible depositación de sedimentos marinos y cambios en su morfología. Para extraer las muestras de los sedimentos depositados se descendió al lecho en seis puntos del estero Dichato. Además se realizó una topografía actual con el fin de comparar las capacidades hidráulicas del estero con la obtenida antes de las catástrofes mencionadas. Los análisis indican que producto de la catástrofe, y posterior inundación, se depositaron sedimentos, en general limos. Al contrastar estos resultados con la capacidad hidráulica en el lugar más afectado, se encontró que el canal actualmente consta de una capacidad mayor a la que existía antes del evento. Esto producto de los encauzamientos que se han realizado en el estero para evitar eventuales inundaciones.

Palabras Claves: Inundación, tsunami, sedimentos acumulados, capacidad hidráulica.

5687 Palabras Texto+14 Figuras/Tablas\*250+1 Figuras/Tablas\*500=9687.

## **HYDRAULIC ANALYSIS OF THE EFFECTS CAUSED BY TSUNAMI ON THE RUNWAY OF ESTERO DICHATO.**

**Author: Víctor Pablo Salazar Palma**

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Bío-Bío

Email: [visalaz@alumnos.ubiobio.cl](mailto:visalaz@alumnos.ubiobio.cl)

**Professor Sponsor: Alvaro Suazo Schwencke**

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Bío-Bío

Email: [asuazo@ubiobio.cl](mailto:asuazo@ubiobio.cl)

### **ABSTRACT**

In 2010, Chile was hit by an earthquake that caused a tsunami that struck the Chilean coast, destroying several towns like Dichato. In 2011 another tsunami affects these shores product of an earthquake in Japan. In both cases, the tsunami mainly entered the estuary, overflowing and flooded much of the town. It was observed that the lowlands are easily flooded and made the fillings in the channel are not enough. Thus this project title, which is to analyze the hydraulic effects caused by these major disasters in order to quantify the damage caused and future flood risks to the possible deposition of marine sediments and changes in morphology. Samples were extracted from sediments deposited in the bed in six points Dichato estuary. Also a current topography was performed in order to compare the hydraulic capacity of the stream to that obtained before the catastrophes mentioned. Analysis indicates that the product of the disaster and subsequent flooding, sediments were deposited, usually silts. By contrasting these results with the hydraulic capacity at the affected area, it was found that the channel currently has more capacity than existed before the event. This product of channeling that have been made in the estuary to avoid possible flooding.

Keywords: Flood, tsunami, accumulated sediments, hydraulic capacity.

## **1 INTRODUCCIÓN**

El estero de Dichato es un cauce natural que atraviesa el pueblo del mismo nombre desde el extremo sur y desembocando al noroeste. Producto de este estero la localidad de Dichato y en especial los hogares aledaños al cauce han sufrido inundaciones por parte de las aguas lluvias en el periodo de invierno.

Ahora bien, las costas chilenas se han visto afectadas por grandes tsunamis, como el de Chile el año 2010 y el de Japón el año 2011. Dadas estas catástrofes el estero ha sufrido grandes cambios, alterándose principalmente su morfología, además de la posible depositación de sedimentos que fueron arrastrados producto de las grandes olas que azotaron las costas.

Es de gran importancia analizar los sedimentos ya que con esto se podrá concluir si las olas y las grandes masas de agua arrastradas dejaron algún indicio de material procedente del mar y sus arenas, para a su vez reflejar esto en cómo afectará la capacidad hidráulica del cauce.

También producto del gran desastre generado por el tsunami, principalmente el evento del año 2010 y producto de la gran cantidad de curvas que presenta el cauce se observó que en varios sectores se produjo una socavación de las paredes generando un cambio en su capacidad hidráulica. Ya sea para bien o para mal se estudiarán los efectos hidráulicos provocados por estas catástrofes producidas en los años 2010 y 2011, lo que justifica este proyecto de título.

## 1.1 **Objetivos de la Investigación**

### 1.1.1 Objetivo General

Analizar los efectos provocados en la morfología y en la capacidad hidráulica de la zona baja del estero Dichato debido principalmente al arrastre y acumulación de sedimentos producto de los tsunamis de Chile (2010) y Japón (2011).

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Determinar la acumulación de sedimentos y tipología de suelo en el cauce.
- Comparar la morfología actual del estero Dichato con la previa al evento.
- Estimar la capacidad hidráulica del estero Dichato en la actualidad y previa

## 1.2 Los tsunamis como definición

Algunas definiciones de Tsunami son:

*"Tsunami es el nombre japonés para el sistema de ondas de gravedad del océano, que siguen a cualquier disturbio de la superficie libre, de escala grande y de corta duración"* (Van Dorm, 1965).

*"Tsunami son las ondas de agua de gran longitud (con períodos en el rango de 5 a 60 minutos, o más largos), generadas, impulsivamente, por mecanismos tales como explosiones volcánicas en islas (ej.: Krakatoa, 1883); deslizamientos de tierra submarinos (ej.: Bahía de Sagame, Japón, 1933); caída de rocas a bahías o al océano (ej.: Bahía de Lituya, Alaska, 1958); desplazamientos tectónicos asociados con terremotos (ej.: tsunami de Alaska, 1964) y explosiones submarinas de dispositivos nucleares"* (Wiegel, 1970).

*"Un tsunami es una serie de ondas oceánicas generadas por un disturbio impulsivo en el océano, o en un pequeño y conectado cuerpo de agua. Definido de este modo, el término incluye ondas generadas por desplazamientos abruptos del fondo oceánico, causados por terremotos, deslizamientos de tierra submarinos o de la línea de la costa, erupciones volcánicas y explosiones"* (Lockridge, 1985).

Un tsunami es una serie de olas, que se generan en un océano u otros cuerpos de agua, a causa de terremoto deslizamientos de tierra, erupción volcánica o impacto de meteoritos. Los tsunamis generan grandes daños cuando chocan contralas costas. Algunas personas llaman a los tsunamis, "olas de mareas", pero estas olas monstruosamente gigantes realmente tienen muy poco que ver con las mareas, de manera que el término de "olas de marea" en realidad es incorrecto.

Las olas de un tsunami son diferentes a las que llegan hasta las orillas de los mares o lagos. Este último tipo de olas son generadas por los vientos que hay mar adentro, y son olas bastante pequeñas en comparación con las olas de un tsunami. En el océano abierto pueden tener más de 100 kilómetros de largo. Las olas son de gran magnitud y viajan muy de prisa, a una velocidad aproximada de 700 km/hr, pero tienen sólo un metro de altura cuando están mar adentro.

A medida que un tsunami viaja en dirección a las aguas menos profundas de la costa, desacelera y aumenta en altura. Aun cuando es muy difícil ver a un tsunami en el mar, cuando llega a la costa puede crecer hasta alcanzar muchos metros de altura e incluso incrementar mucho su energía.

Pocos minutos antes de que un tsunami choque contra el borde costero, el agua que se encuentra cerca de la costa se retirará y podrá verse el fondo marino. Por lo general, la primera ola no es la más grande, y cada 10 a 60 minutos llegarán más de ellas. Estas se mueven mucho más rápidamente de lo que puede correr una persona (El peligro de un tsunami puede durar muchas horas después de la primera ola).

Las costas afectadas por un tsunami se erosionarán severamente. Un tsunami puede causar inundaciones hasta cientos de metros tierra adentro. El agua se mueve con tal fuerza que es capaz de destrozarse casas y otro tipo de edificaciones.

### 1.3 Zona de estudio.

#### 1.3.1 Dichato

Dichato es un pueblo costero de 3.488 habitantes (INE, 2002). Es una localidad que se ubica a 9 Km al norte de Tomé y perteneciente a la comuna del mismo nombre. Sus coordenadas geográficas son 36° 32' 56,10° sur y 72° 55' 58,30° Oeste.

Su geografía es una bahía muy cerrada, con aguas tranquilas pero muy frías, aptas para los deportes acuáticos, muy frecuentada en verano. Por esta misma configuración, esta bahía es propensa a efectos de tsunamis, facilitados por su conformación de herradura lo cual induce al ingreso por esteros y ríos.

Cuenta con numerosos restaurantes especializados en productos del mar y diversa oferta hotelera, en funcionamiento todo el año, pero ocupados principalmente en época estival. Durante el resto del año su principal actividad productiva es la pesca artesanal, con embarcaciones.

El terremoto y tsunami del 27 de febrero de 2010 afectaron en gran manera a Dichato, principalmente su sector plano, donde la fuerza del mar prácticamente desapareció todo a su paso, siendo el 80% de sus viviendas arrastradas por el tsunami.

El tsunami de Japón del año 2011 solo tuvo su efecto en la entrada de agua por el estero hasta cierto nivel, sin afectar las construcciones de la población.

#### 1.3.2 Áreas de inundación y destrucción

La condición geográfica del balneario, conformada por un estero, permitió que el volumen de agua producido por el tsunami provocara un mayor desastre. En el caso del plano específico de Dichato, se afectó la línea costera, en donde se ubicaba gran parte de restaurantes y locales asociados al turismo. La acción destructiva aumentó por el estero aguas arriba, destruyendo un 80% de las edificaciones principalmente viviendas alcanzando una columna de agua con altura de 6,5 m (figura 1).



**Figura 1: Plano de inundación. (Gobierno de Chile, 2010).**

El mayor daño fue provocado por barcos y material particulado, que venía mezclado con el agua, y que se proyectó en contra de las viviendas y construcciones.

Las viviendas destruidas por acción del tsunami alcanzaron un total de 1343. De esta cantidad, en la línea de costanera, la mayor parte de ellas convertidas a la actividad comercial o restaurantes. No obstante la destrucción total se efectúa aguas arriba del estero, afectando a sectores residenciales completos, tales como Miramar, El Sauce, Campos Deportivos y Jorge Montt. El daño en equipamiento se produjo en la inundación y destrucción parcial de la escuela básica ubicada en la Av. Daniel Vera y del Cuartel de Carabineros, la pérdida total del cuerpo de bomberos, y de equipamiento comunitario.

La consecuencia más clara en el plano urbanizado, está referida a la pérdida de tres puentes vehiculares y cuatro peatonales, causando también efectos en la conectividad y accesibilidad a sectores altos, en el plano central y hacia Pingüeral (PRBC-18, 2010).

#### 1.4 Proceso de sedimentación.

El proceso de la sedimentación comienza cuando se origina la partícula, la cual viene de la erosión de los suelos. Las variables que intervienen directamente a este proceso son: el clima y las características de la cuenca drenante como lo son el uso, tipo y topografía (Brea & Balocchi, 2010).

El clima, por su parte, se define de acuerdo a la ubicación geográfica. Para el caso de este estudio, en donde se presenta una cuenca con un comportamiento hidrológico pluvial, el factor más importante para esta variable es la lluvia, ya que ésta a través del escurrimiento superficial arrastra material sedimentario a los cauces. Dependiendo de la intensidad de lluvia dependerá la cantidad de sedimentos arrastrada; si se presenta una baja intensidad de lluvia, el agua se infiltrará por el suelo y no escurrirá superficialmente; en cambio, si ésta es de mayor magnitud, saturará el suelo y el agua escurrirá superficialmente (Brea & Balocchi, 2010).

A su vez, se tiene las características de la cuenca, en donde se puede presentar el uso del suelo. Esto es si se presenta vegetación, urbanización o una combinación entre ambas, ya que ello condiciona al escurrimiento superficial. A su vez, se tiene la topografía de la superficie, puesto que ésta condiciona la velocidad del flujo superficial pudiendo desprender y arrastrar partículas de variados tamaños (García-Chevesich, 2009).

Por otra parte, se puede clasificar un cauce según la composición de sedimentos que conformen el fondo según la composición granulométrica, como puede ser material grueso, fino y cohesivo (gravas, arenas, limo y arcillas) (MOP, 2012).

Los cauces que se componen de sedimentos granulares finos o arenosos se ubican en zonas de pendientes bajas, las que generalmente se localizan en las zonas costeras cerca de las desembocaduras con el mar. Esta condición conlleva a que la velocidad de escurrimiento sea baja, lo que implica una baja fuerza de arrastre, siendo éste el motivo del transporte de tamaño de partículas pequeñas (MOP, 2012).

Por otro lado los cauces formados por sedimentos granulométricos gruesos se ubican en zonas de pendientes más altas, lo que produce que la velocidad sea mayor, arrastrando con mayor fuerza las partículas de suelo (MOP, 2012).

## **2 METODOLOGÍA**

En el presente proyecto de título se realiza el estudio de los sedimentos depositados y se calcula la capacidad hidráulica del cauce, en la actualidad y previa al tsunami, con la finalidad de ser comparadas determinando el efecto provocado en el estero. Esto se realiza en la parte baja del estero que corresponde al tramo que atraviesa el pueblo de 1380 metros, desde el bosque, a la entrada del pueblo, aguas arriba hasta la desembocadura.

### **2.1 Selección de zonas de muestreo de sedimentos**

Para realizar la toma de muestras para los sedimentos depositados en el cauce producto de la entrada de la masa de agua, en primer lugar se debe seleccionar las zonas de muestreo, los cuales se presentan a continuación junto con el criterio de su selección.

Para el caso de los sedimentos depositados en el fondo del estero, la distribución de los puntos de muestreo y extracción se realizaron en promedio tres calicatas por kilómetro (MOP, 2012). Sin embargo dado a que las muestras en el tramo en estudio deben ser representativas se ha decidió realizar un punto de extracción cada 200 m, aproximadamente. Teniendo en consideración que en algunos puntos de extracción se realizaron más de una calicata, (incluso se llegó a tres calicatas) con el fin de hacer más representativa la muestra. Es importante señalar que estas muestras se consideraron no solo en sentido longitudinal sino que también en sentido transversal del estero.

La distribución de las zonas de muestreo para los sedimentos depositados se muestra esquemáticamente en la figura 2 en donde cada diamante representa una calicata.



**Figura 2: Ubicación de los puntos de muestreo de sedimentos.**

(Fuente: Google Earth)

## 2.2 Procedimiento de extracción de muestras en el cauce

Las muestras para los sedimentos depositados se tomaron el día 1 de Diciembre del año 2012, un día soleado y en donde la altura de escurrimiento fuera baja, con la finalidad de realizar las calicatas a una mayor profundidad y más representativas.

Los sedimentos que se encuentran en el fondo del lecho se recogen con una pala en el eje central, realizando una calicata que tenga un espesor aproximado de 30 cm (MOP, 2012). Además se extraen muestras también de los bordes del lecho y en algunos casos del talud, para poder tener una visión más amplia del tipo de suelo que existe.

### 2.3 Clasificación de sedimentos depositados

En este estudio se realizó un análisis granulométrico a las muestras extraídas de los sólidos depositados. La clasificación se confeccionó utilizando los tamices de  $\frac{3}{4}$ ",  $\frac{3}{8}$ ", N°4, N°10, N°20, N°40, N°60 y N°200, ya que los suelos encontrados contienen distintos tipos de tamaños de particular. La metodología aplicada para este estudio es el señalado en la norma NCh 165 of. 2009.

De esta manera una vez diferenciado el tamaño de las particular se pudo clasificar los distintos tipos de suelos para finalmente ser comparados con los suelos aguas arriba y aguas abajo en la desembocadura.

En la tabla 1 se muestran la cantidad de muestras tomadas y su ubicación.

**Tabla 1. Calicatas y muestras.**

MUESTRAS	UBICACIÓN	DESCRIPCION
1	CALICATA 1	AGUAS ARRIBA (MUESTRA 1)
2	CALICATA 1	AGUAS ARRIBA (MUESTRA 2)
3	CALICATA 2	FONDO DEL CAUCE (PEDRAPLEN)
4	CALICATA 2	CAPA SUPERIOR DEL CAUCE (PEDRAPLEN)
5	CALICATA 3	PARED LATERAL DE CAUCE (CURVA)
6	CALICATA 3	AL CENTRO DE CAUCE CAPA SUPERIOR (CURVA)
7	CALICATA 3	AL CENTRO DE CAUCE CAPA DEL INFERIOR (CURVA)
8	CALICATA 4	LATERAL RELLENO (ANTES PUENTE MATERIAL NEGRUSCO)
9	CALICATA 4	CENTRO (ANTES PUENTE MATERIAL NEGRUSCO)
10	CALICATA 5	CURVA PRONUNCIADA AGUAS ABAJO
11	CALICATA 6	PLAYA ESTRATO 2
12	CALICATA 6	ESTRATO 1

La disposición de las calicatas se generó de manera que se obtuviera una muestra representativa del estero.

## **2.4 Determinación de la Materia Orgánica**

La cantidad de materia orgánica se expresa como la cantidad porcentual presente en la masa del suelo. Para la determinación de la materia orgánica presente en los sedimentos depositados extraídos del fondo del Estero Dichato en las zonas de muestreos se aplicó el procedimiento denominado método de calcinación, el que se basa de la Norma AASHTO T 267.

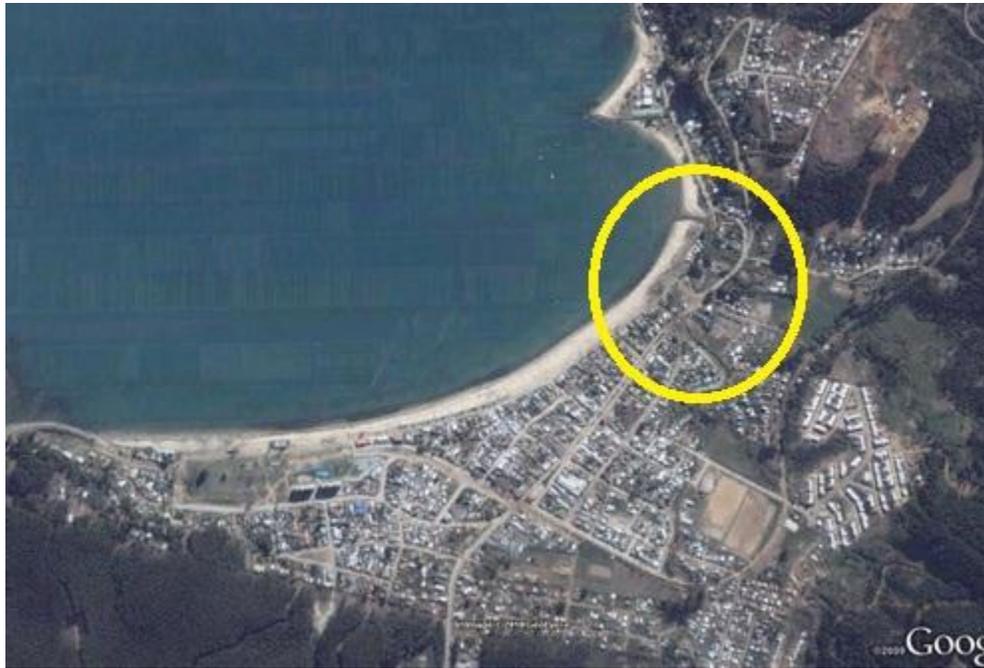
El principal objetivo de esta etapa fue determinar la cantidad de materia orgánica presente en los sedimentos depositados en los puntos de muestreo.

Cabe destacar que se utilizaron las mismas muestras extraídas para el análisis granulométrico de los sedimentos depositados, con la salvedad que se les extrajo una porción para separarlo debidamente porque son ensayos completamente distintos.

## **2.5 Morfología**

La morfología se estudió comparando (antes, diciembre del 2009 y después del tsunami, 1 de Diciembre del 2012) distintos parámetros morfológicos como la anchura y sinuosidad del cauce, determinando los efectos provocados por las oleadas.

El tramo en análisis fue considerado aguas abajo del puente, comprobando los parámetros descritos antes, con imágenes comparativas. La figura 3 muestra el tramo a analizar siendo este también el más afectado por el tsunami.



**Figura 3: Tramo analizado en morfología.**

**(Fuente: Google Earth)**

## 2.6 Determinación de la capacidad hidráulica del estero

La determinación de la capacidad hidráulica se realizó tomando una topografía del estero comenzando desde aguas abajo (la zona más afectada) hasta aguas arriba del estero, considerando las calicatas 6, 5 y 4, mostradas en la figura 2.

Esta topografía se tomará con estación total marca Nikon 322. Los puntos obtenidos se ingresaron luego al programa Civil 3D en donde se trabajaron para luego ser exportados a un software donde se pudo calcular la capacidad hidráulica de dicho estero. El programa a utilizar para este procedimiento es HEC-RAS. 4.1.

De esta misma manera se trabajó con una topografía Lidar previa a la catástrofe del 2010, con la finalidad de poder comparar la capacidad actual del estero con la anterior al tsunami.

Para el cálculo de la capacidad primero se definieron las secciones a utilizar, buscando obtener los lugares más afectados y las secciones que se compararon. Una vez ya definidas las secciones a comparar en la capacidad hidráulica (mostradas en anexos), estas se trabajan en el programa civil 3d, de manera que pudieran obtenerse las coordenadas de cada uno de los puntos que conforman la sección. Una vez hecho esto se introdujeron al programa donde se realizó el cálculo de la capacidad hidráulica.

Para facilitar el cálculo de las capacidades, debido a la complejidad del análisis de los datos antes de tsunami, se determinó la capacidad de dos secciones por análisis, tomando las secciones que se vieron más afectadas.

Los parámetros utilizados para los cálculos hidráulicos son:

Coeficiente de manning antes del terremoto: 0,03 (canal en tierra ordinaria, superficie irregular).

Coeficiente de manning después de terremoto: 0,02 (canal con paredes de hormigón alisado con mortero).

Las condiciones de borde se consideraron normal con una pendiente de 0,002, mientras que el parámetro de desborde considerado fue de 30 cm por sobre el terreno natural.

### 3 RESULTADOS Y ANÁLISIS

En el presente capítulo se presentan los resultados de los estudios propuestos para los objetivos de este proyecto de título basados en la metodología de cada uno de ellos. La importancia de la obtención y posterior análisis de los resultados es principalmente para evaluar los efectos hidráulicos provocados por los tsunamis en el cauce del estero.

#### 3.1 Análisis Granulométrico de los Sedimentos Depositados

A partir del análisis granulométrico de los sedimentos depositados en el fondo del Estero Dichato (Tabla 1), es posible determinar la acumulación de sedimentos y tipología de suelo en el cauce. En la tabla 2 se muestra un resumen de la clasificación de los suelos de cada muestra.

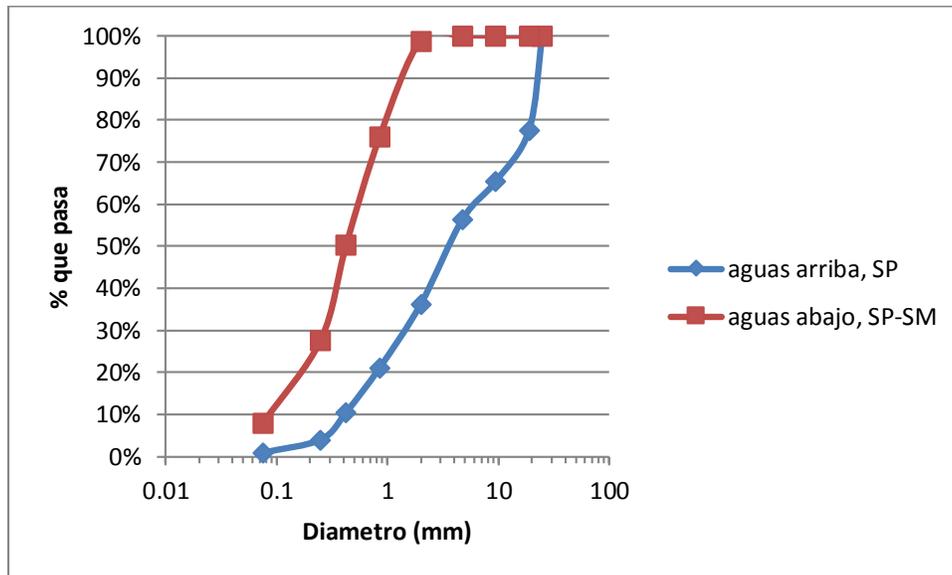
**Tabla 2. Clasificación de muestras de suelo.**

MUESTRAS	CLASIFICACION			
	U.S.C.S	DEFINICION	AASHTO	DEFINICION
1	SP	Arena Pobremente graduada	A1- a	Gravas y arenas
2	SM	Arena limosa	A1 - a	Gravas y arenas
3	SM	Arenas limosas	A - 2 - 4	Gravas y arenas limosas o arcillosas
4	ML	Limos inorgánicos de baja compresibilidad	A-4	Suelos limosos
5	ML	Limos inorgánicos de baja compresibilidad	A-4	Suelos limosos
6	SM	Arenas limosas	A - 2 - 4	Gravas y arenas limosas o arcillosas
7	SP-SM	Arenas pobremente graduadas limosas	A-2-4	Gravas y arenas limosas o arcillosas
8	SM	Arenas limosas	A-4	Suelos limosos
9	SM	Arenas limosas	A-4	Suelos limosos
10	SM	Arenas limosas	A-2-4	Gravas y arenas limosas o arcillosas
11	SW-SM	Arenas bien graduadas limosas	A1-b	Gravas y arenas
12	SP-SM	Arenas pobremente graduadas limosas	A-2-4	Gravas y arenas limosas o arcillosas

La Figura 54 presenta la distribución granulométrica de las muestras obtenidas en aguas arriba y aguas abajo del estero, comparando el primer estrato.

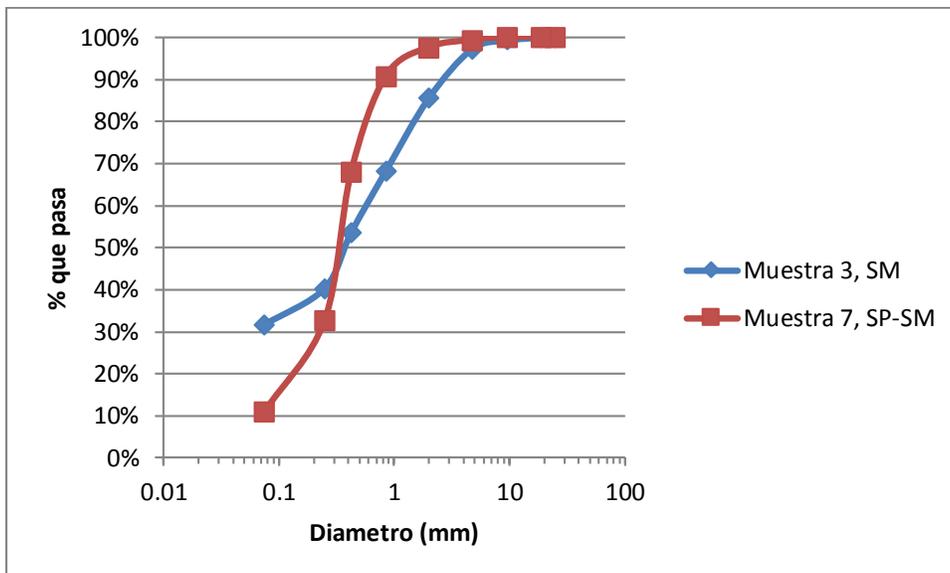
Con el resultado del análisis de las muestras y acompañado de una inspección visual del terreno, tal como muestra la figura 4, se observa que el estero contiene aguas arriba, en la zona no afectada, una tipología de suelo en base a arena pobremente graduada, muy

diferente a la tipología del suelo encontrada aguas abajo, la que contiene de igual manera arena pero con un material que lo diferencia, que es el limo.



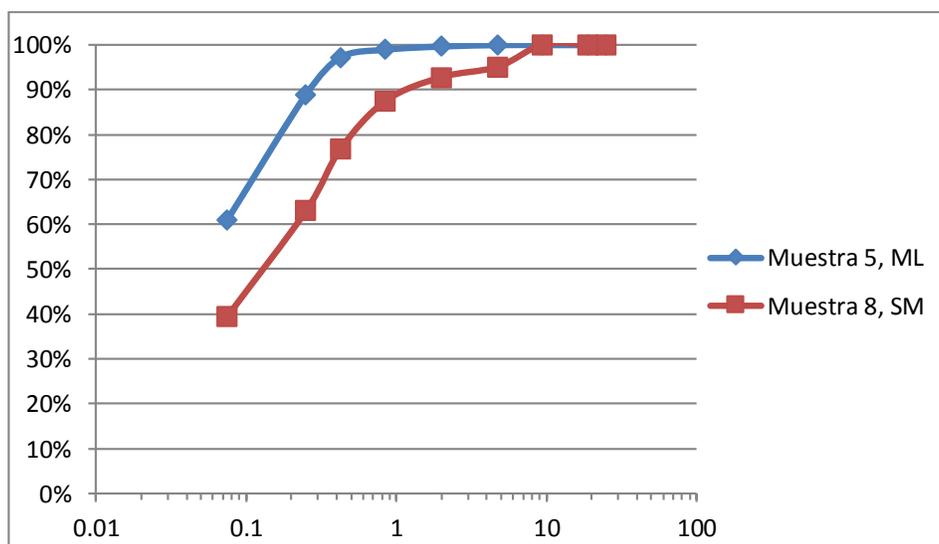
**Figura 4: Análisis Granulométrico comparación aguas arriba con aguas abajo, muestra 1 con muestra 12.**

Ya a la altura de la muestra 3, que también fue un lugar afectado, se aprecia que el tipo de suelo comienza a cambiar. En la Figura 5 se muestra la tipología de suelo. Además en la muestra 7 se demuestra que el tipo de suelo del fondo es muy semejante al que se encontraba aguas arriba, solo que ahora se depositaron sedimentos provenientes de aguas abajo, que son los limos presentes en la muestra.



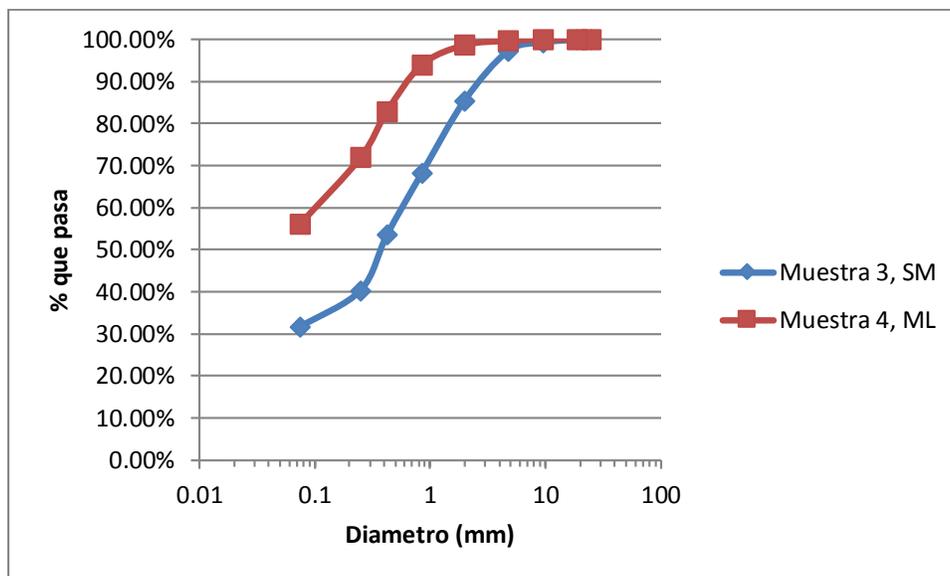
**Figura 5: Análisis Granulométrico muestras del fondo.**

También dentro del análisis se aprecia que producto de las grandes oleadas, el terreno aledaño al cauce fue desplazado hacia el canal, depositándose sobre él, tal como se muestra con el gráfico de la figura 6. Este gráfico hace referencia al cambio en la tipología del terreno, encontrando que el material limoso ubicado en este sector es perteneciente al terreno lateral del canal que fue desplazado hacia el fondo del estero, depositándose en grandes cantidades.



**Figura 6: Análisis Granulométrico muestras laterales.**

De todo el análisis además se observa, en las muestras 3 y 4, como el terreno que existía aguas arriba, que correspondería al tipo de suelo del estero, se vio alterado por los sedimentos dejados productos del oleaje que entró principalmente por el estero.



**Figura 7: Análisis Granulométrico muestras 3 y 4.**

Se deja notar que el terreno en el fondo de la muestra 3 corresponde a un suelo arenoso, que en parte contiene limo, pero en la capa superficial de este mismo lugar de muestreo, aparece solo material limoso, lo que es producto de la entrada del agua con sedimentos de aguas abajo y provenientes de los terrenos aledaños al estero. Esta acumulación se vio favorecida además debido a que el estero muestra una sinuosidad alta, acumulándose sedimentos, en este caso limos, con mayor facilidad en las curvas.

### 3.2 Materia Orgánica de los Sedimentos Depositados

En la Tabla 4 se muestra la cantidad porcentual de materia orgánica presente en los sedimentos depositados en el Estero Dichato.

**Tabla 3. Cantidad porcentual de materia orgánica.**

MUESTRA	% DE PESO TOTAL	% de materia orgánica	Fondo/Rivera/Sup. central
1	99.01%	0.99%	Fondo
3	96.54%	3.46%	Fondo
4	95.37%	4.63%	Sup. Central
5	93.93%	6.07%	Rivera
7	97.05%	2.95%	Fondo
8	94.00%	6.00%	Rivera
9	88.53%	11.47%	Sup. Central
10	98.13%	1.87%	Fondo
12	99.25%	0.75%	Sup. Central

La muestra 9 arroja la mayor cantidad de materia orgánica del estero. Este material negrozco fue encontrado aguas arriba del puente y en el momento de la extracción tenía un olor característico al mar, por lo que queda claro que hubo una acumulación de sedimentos y materia orgánica.

En cuanto a la variación espacial entre los puntos medidos se puede deducir, en conformidad con los datos y lo visto en terreno, que la cantidad de materia orgánica es similar a lo largo del tramo en estudio, salvo la muestra 9 en donde se produjo la mayor acumulación de sedimentos, lo que coincide con lo visto en terreno. Cabe destacar que esta muestra tenía un color y olor diferente al resto de las muestras encontradas.

Con respecto a las muestras 2, 6 y 11, las cuales no se muestran en la tabla, se determinó que no eran representativas debido a que eran muy similares al resto de las muestras. Además por un tema práctico se dejaron fuera, ya que la mufla no podía contener más muestras para su evaluación.

### 3.3 Análisis morfológico.

En el tramo en estudio se muestra una gran alteración en los parámetros descritos en la metodología en base a la siguiente fotografía aérea de la figura 8:



**Figura 8: Tramo analizado en morfología, un mes antes y un mes después del terremoto, junto con la vista actual (año 2014).**

(Fuente: Google Earth)

Los parámetros morfológicos como la anchura y sinuosidad se vieron afectados en el sector señalado dado que las grandes masas de agua entraron bruscamente por sobre el estero, lo que provocó desprendimientos laterales del estero y cambios en su sinuosidad.

Estos cambios se ven cuantificados en:

**Ancho:** Antes del tsunami el estero, en la zona analizada, tenía un ancho de 10 metros aprox., y luego del tsunami quedó con un ancho de 16 metros en promedio, llegando a tener en algunos lugares hasta 40 m.

**Sinuosidad:** Antes del tsunami el estero tenía un largo en su fondo de 544 m. pero luego del tsunami tenía un largo de 600 m. aprox. Además es importante mencionar que en algunos sectores no se diferenciaban los bordes del cauce producto de la gran destrucción que hubo.

El factor de sinuosidad paso de 1,4 a tener 1,6. Lo que explica que la sinuosidad se vio alterada.

Además producto de la entrada brusca del oleaje y de la cantidad de agua desplazada muchas edificaciones que estaban en el camino fueran arrancadas y desplazadas, acumulándose los escombros y sedimentos dentro del estero, sin embargo con el paso del tiempo se comenzaron los trabajos de limpieza, quedando tal como se muestra en la figura 9.

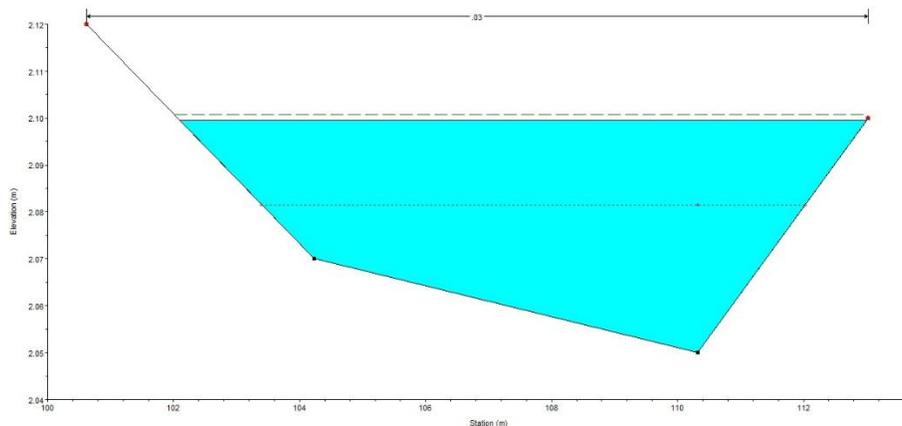


**Figura 9: El Antes y Después de las obras de limpieza.**

(Fuente: MOP, 2011)

### 3.4 Capacidad hidráulica.

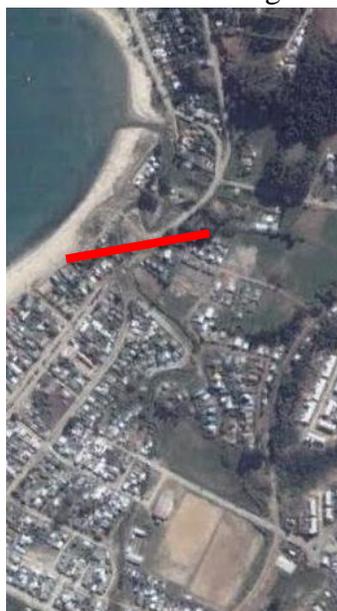
Los resultados obtenidos por el análisis de las capacidades hidráulicas de las secciones antes del tsunami arrojan que el caudal máximo que podían portear las secciones era de 500Lt/s. tal como se muestra en la figura 10.



**Figura 10: Sección Transversal Antes del Tsunami.**

(Fuente: Elaboración propia.)

Esto es en la sección transversal mostrada en la figura 11.

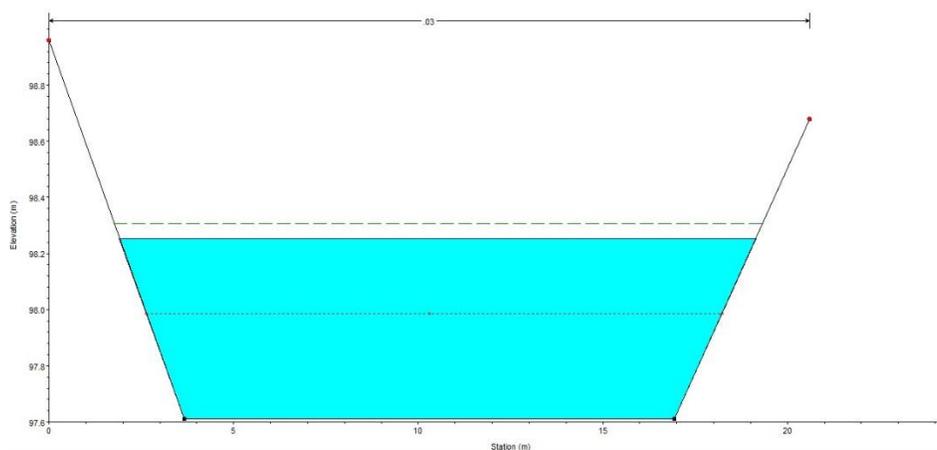


**Figura 11: Sección Transversal Analizada.**

(Fuente: Elaboración propia.)

Los resultados obtenidos de la modelación para la situación actual del estero, en el mismo corte transversal, a 3 años del tsunami, se obtuvo que las secciones del canal son capaces de portear más de 1000 L/s.

Esto se explica debido a que en el estero con el paso de los años se han realizado trabajos de canalización, lo que produjo un aumento considerable en su capacidad hidráulica. Además las secciones del canal una vez realizadas las canalizaciones se muestran regulares, tal como lo muestra la figura 11.



**Figura 12: Sección Transversal Después del Tsunami.**

(Fuente: Elaboración propia.)

#### 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Producto de las catástrofes producidas en los años 2010 y 2011 se generaron variaciones en la morfología del estero, lo que queda mostrado en las muestras granulométricas y de materia orgánica, ya que según los estudios, los suelos del estero acumularon sedimentos del tipo limo proveniente de aguas abajo, como también acumularon materia orgánica en gran cantidad.

Si bien es cierto al año del presente proyecto de título el estero ha recibido limpiezas de residuos arrastrados por las olas del tsunami, aún se pueden encontrar restos de materia orgánica, arrojando los resultados encontrados en el presente informe. Ello implica que el estero ha cambiado su morfología debido a las grandes cantidades de residuos.

Las granulometrías realizadas arrojaron que el estero cambió en parte las características de su suelo, pero no afectó la capacidad hidráulica. Lo que sí afectó a la capacidad del estero fueron las canalizaciones y mejoramientos que se realizaron más tarde.

El cálculo de las capacidades hidráulicas del estero entrega un resultado muy dispar, debido a que la capacidad hidráulica antes del evento se ve sobrepasada en gran manera a la capacidad actual, no como se podría haber esperado. Pero la realidad de la capacidad actual muestra un estero ya encauzado y mejorado. Es por esto que la capacidad de porteo del cauce aumenta.

Si bien es cierto el estero se vio afectado por las consecuencias generales del tsunami, ya sea, acumulación de sedimentos, cambios en su sinuosidad, cambios en su morfología y cambios en sus secciones, actualmente consta con una capacidad hidráulica mucho mayor a la que tenía antes del año 2010 en donde ocurrió el terremoto y posterior tsunami.

Sin embargo cabe destacar que si estas canalizaciones no se hubieran realizado, ciertamente la capacidad hidráulica general del estero Dichato se hubiera visto disminuida producto de la acumulación de sedimento y debido a las grandes alteraciones morfológicas.

Las canalizaciones que se desarrollan en la actualidad dentro del cauce son necesarias para evitar desbordes del estero en los inviernos de grandes lluvias.

En base a la canalización generada en el estero actualmente se recomienda hacerla hasta el término del pueblo aguas arriba ya que esa zona es la más vulnerable a la hora de una nueva catástrofe, esto según lo observado en terreno y producto de los datos obtenidos por entrevistas a los pobladores.

Otro aspecto importante es controlar la cantidad de sedimentos arrastrados producto de las lluvias, en forma especial en los tramos de curvas, que son los más afectados por las inundaciones.

## REFERENCIAS

AASHTO T 267-86 (2008) Standard Method of Test for Determination of Organic Content in Soils by Loss on Ignition. - 1986.

Brea José Daniel y Balocchi Francisco Procesos de erosión - sedimentación en cauces y cuencas. - [s.l.] : UNESCO, 2010.

Chow Ven Te - Hidrología aplicada. – Bogotá : McGraw-Hill, 1994.

Google Earth – Imágenes áreas.

Hec-Ras versión 4.1 – Modelo Hidráulico.

INN, NCh 165 of 2009, Árido para Morteros y hormigones - Tamizado y determinación de la granulometría. Santiago.

INN, NCh 411 of 1996, Calidad del agua - Muestreo - Parte 3: Guía sobre la preservación y manejo de las muestras. Santiago.

INN, NCh 411 of 1998, Calidad del agua - Muestreo - Parte 6: Guía para el muestreo de ríos y cursos de agua. Santiago.

INN, NCh 1515 of 1979, Mecánica de Suelos - Determinación de la humedad. Santiago.

MOP. Infraestructura Hidráulica para la prevención y gestión de riesgos naturales. – Dirección de Obras, Departamento de Obras Hidráulicas, 2012.

Lambe T. William Mecánica de Suelos. - Ciudad de México : Limusa, 1972. - 1.

PRBC18, Plan de Reconstrucción del borde costero, Diciembre 2010.

Pablo A. Garcia-Chevesich - Procesos y control de la erosión, Octubre 2008.

**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

Profesor Patrocinante :      Álvaro Suazo Schwencke

**ANEXO**

**ANÁLISIS DE LOS EFECTOS HIDRÁULICOS  
PROVOCADOS POR LOS TSUNAMIS EN EL  
CAUCE DEL ESTERO DICHATO**

Proyecto de título presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de  
Ingeniero Civil.

**VÍCTOR PABLO SALAZAR PALMA**

**CONCEPCIÓN, MAYO DE 2014**

## ÍNDICE

1	SITUACION DEL ESTERO Y EXTRACCION DE MUESTRAS. ....	4
2	ANALISIS DE MUESTRAS EN LABORATORIO.....	17
3	FOTOS SATELITALES. ....	26
4	FIGURAS Y TABLAS. ....	29

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Vista aguas arriba. ....	4
Figura 2:	Calicata 1. ....	5
Figura 3:	Vista lugar de la última casa. ....	5
Figura 4:	Acumulación de desechos aguas arriba. ....	6
Figura 5:	Acumulación de desechos aguas arriba 2. ....	6
Figura 6:	Estero 1. ....	7
Figura 7:	Fondo del estero. ....	7
Figura 8:	Fondo del estero 2 y desechos. ....	8
Figura 9:	Estero 2. ....	8
Figura 10:	Irregularidad de fondo en estero. ....	9
Figura 11:	Estero 3. ....	9
Figura 12:	Ubicación calicata 2. ....	10
Figura 13:	Comenzando extracción 1. ....	10
Figura 14:	Comenzando extracción 2. ....	11
Figura 15:	Ubicación Calicata 3. ....	11
Figura 16:	Calicata 3. ....	12
Figura 17:	Tipo de suelo Calicata 3. ....	12
Figura 18:	Ubicación Calicata 4. ....	13
Figura 19:	Terreno lateral en calicata 4. ....	13
Figura 20:	Terreno lateral 2 en calicata 4. ....	14
Figura 21:	Escurrimiento aguas abajo 1. ....	14
Figura 22:	Escurrimiento aguas abajo 2. ....	15
Figura 23:	Socavación por choque del oleaje. ....	15

Figura 24: Desembocadura y ubicación calicata 6.....	16
Figura 25: Calicata 6. ....	16
Figura 26: Granulometría 1.....	17
Figura 27: Granulometría 2.....	17
Figura 28: Muestra con mayor materia orgánica 1.....	18
Figura 29: Muestra con mayor materia orgánica 2.....	18
Figura 30: Muestra secas. ....	19
Figura 31: Muestra 32.....	20
Figura 32: Muestra 39.....	20
Figura 33: Muestra 5. ....	21
Figura 34: Muestra PA.....	21
Figura 35: Muestra 14.....	22
Figura 36: Muestra T.....	22
Figura 37: Muestra 2. ....	23
Figura 38: Muestra CE-19.....	23
Figura 39: Muestra 71.....	24
Figura 40: Muestra B´.....	24
Figura 41: Muestra 1A.....	25
Figura 42: Muestra 74.....	25
Figura 43: Catástrofe 1. ....	26
Figura 44: Catástrofe 2. ....	26
Figura 45: Catástrofe 1. ....	27
Figura 46: Catástrofe 3. ....	27
Figura 47: Catástrofe 4. ....	28
Figura 48: Catástrofe 5. ....	28
Figura 49: Plano de inundación. (Gobierno de Chile, 2010). ....	29
Figura 50: Ubicación de los puntos de muestreo de sedimentos. ....	29
Figura 51: Tramo analizado en morfología. ....	30
Figura 52: Análisis Granulométrico comparación aguas arriba con aguas abajo, muestra 1 con muestra 12. ....	31
Figura 53: Análisis Granulométrico muestras del fondo. ....	32

Figura 54: Análisis Granulométrico muestras laterales. ....	32
Figura 55: Análisis Granulométrico muestras 3 y 4. ....	33
Figura 56: Tramo analizado en morfología, un mes antes y un mes después del terremoto, junto con la vista actual (año 2014). ....	34
Figura 57: El Antes y Después de las obras de limpieza. ....	34
Figura 58: Sección Transversal Antes del Tsunami. ....	35
Figura 59: Sección Transversal Analizada. ....	35
Figura 60: Sección Transversal Después del Tsunami. ....	36
Figura 61: Cortes transversales estudiados en comparación hidráulica. ....	36
Figura 62: Zona en estudio. ....	37

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Calicatas y muestras. ....	30
Tabla 2. Clasificación de muestras de suelo. ....	31
Tabla 3. Cantidad porcentual de materia orgánica. ....	33
Tabla 4. Tabla de datos en granulometría. ....	37

## ANEXO

**Autor: Víctor Pablo Salazar Palma**

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío

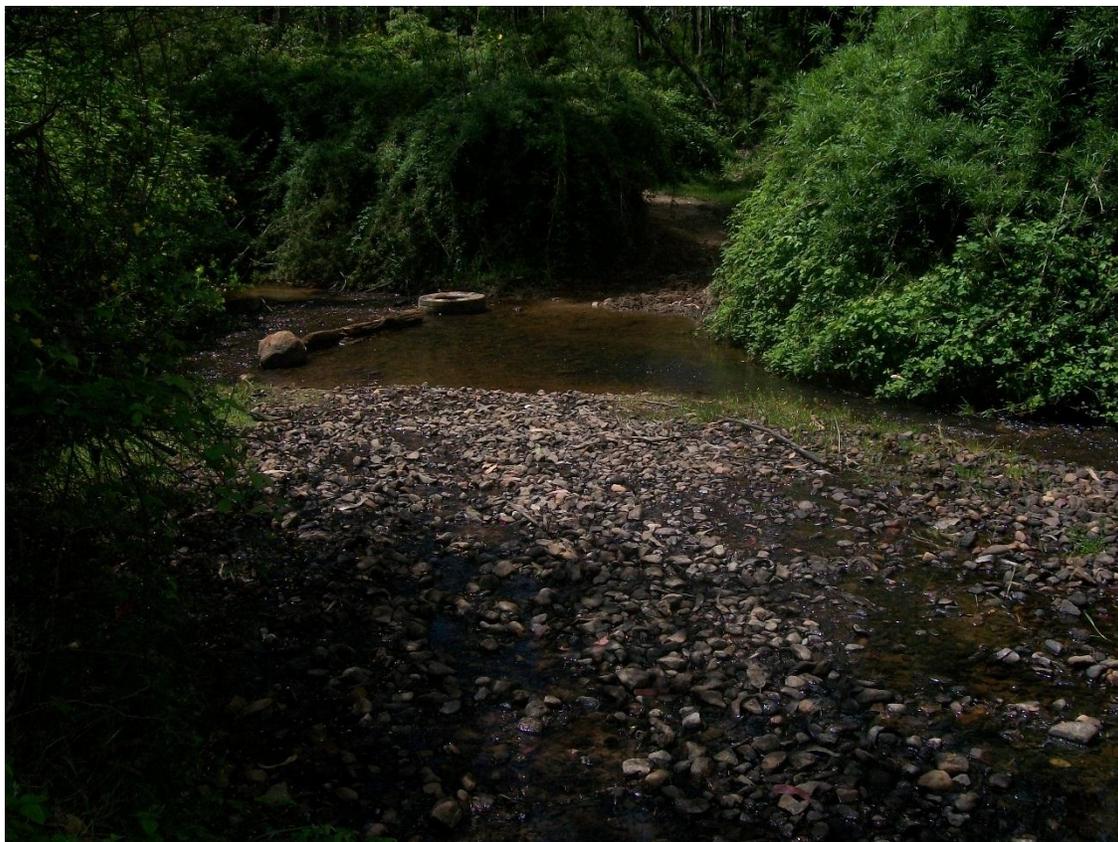
Correo Electrónico: [visalaz@alumnos.ubiobio.cl](mailto:visalaz@alumnos.ubiobio.cl)

**Profesor Patrocinante: Álvaro Suazo Schwencke**

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío

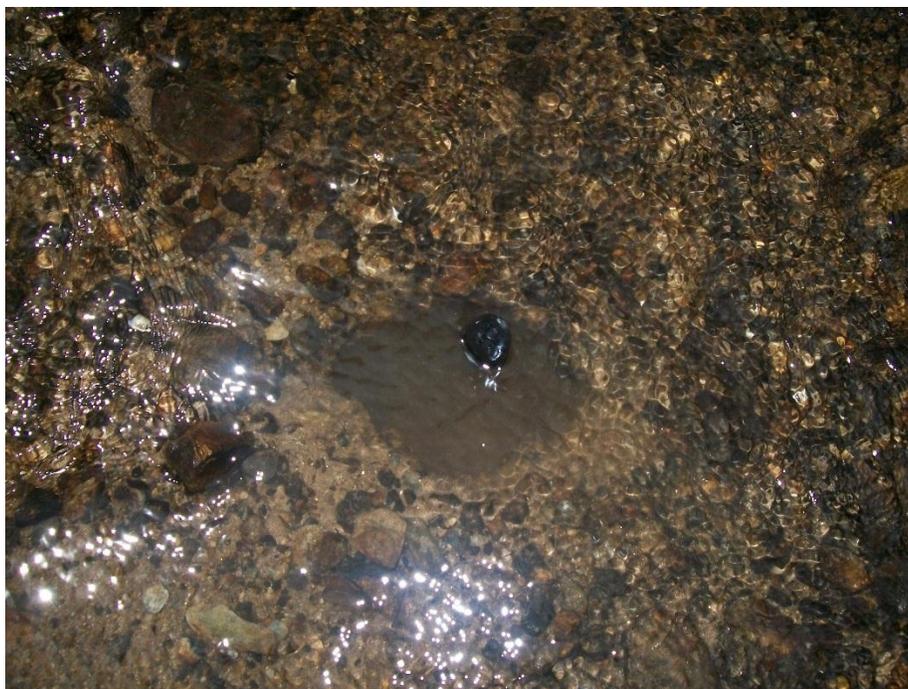
Correo Electrónico: [asuazo@ubiobio.cl](mailto:asuazo@ubiobio.cl) Metodología

### 1 SITUACION DEL ESTERO Y EXTRACCION DE MUESTRAS.



**Figura 1: Vista aguas arriba.**

(Fuente: Elaboración propia.)



**Figura 2: Calicata 1.**

(Fuente: Elaboración propia.)



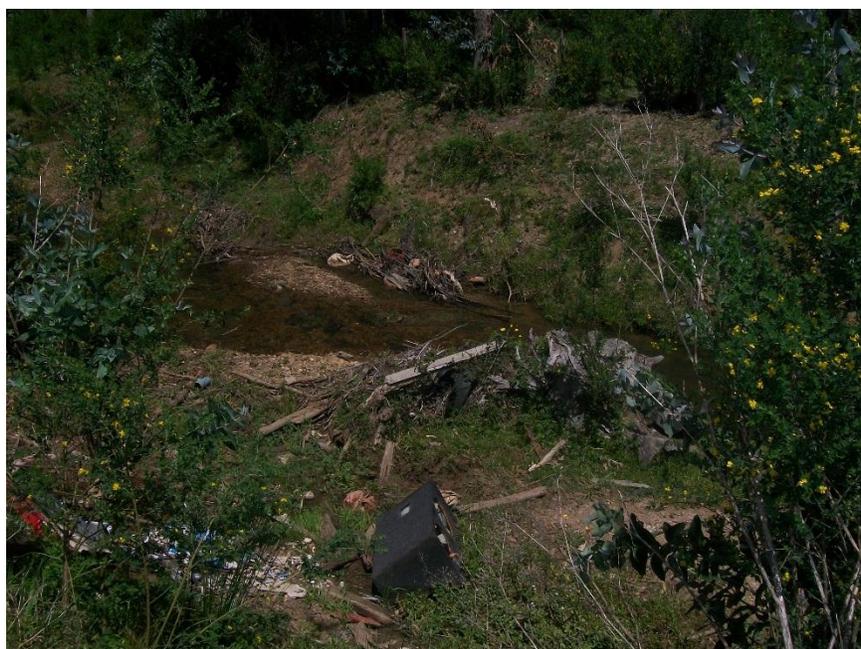
**Figura 3: Vista lugar de la última casa.**

(Fuente: Elaboración propia.)



**Figura 4: Acumulación de desechos aguas arriba.**

(Fuente: Elaboración propia.)



**Figura 5: Acumulación de desechos aguas arriba 2.**

(Fuente: Elaboración propia.)



**Figura 6: Estero 1.**

(Fuente: Elaboración propia.)



**Figura 7: Fondo del estero.**

(Fuente: Elaboración propia.)



**Figura 8: Fondo del estero 2 y desechos.**

(Fuente: Elaboración propia.)



**Figura 9: Estero 2.**

(Fuente: Elaboración propia.)



**Figura 10: Irregularidad de fondo en estero.**

(Fuente: Elaboración propia.)



**Figura 11: Estero 3.**

(Fuente: Elaboración propia.)



**Figura 12: Ubicación calicata 2.**

(Fuente: Elaboración propia.)



**Figura 13: Comenzando extracción 1.**

(Fuente: Elaboración propia.)



**Figura 14: Comenzando extracción 2.**

(Fuente: Elaboración propia.)



**Figura 15: Ubicación Calicata 3.**

(Fuente: Elaboración propia.)



**Figura 16: Calicata 3.**

(Fuente: Elaboración propia.)



**Figura 17: Tipo de suelo Calicata 3.**

(Fuente: Elaboración propia.)



**Figura 18: Ubicación Calicata 4.**

(Fuente: Elaboración propia.)



**Figura 19: Terreno lateral en calicata 4.**

(Fuente: Elaboración propia.)



**Figura 20: Terreno lateral 2 en calicata 4.**

(Fuente: Elaboración propia.)



**Figura 21: Esguerrimiento aguas abajo 1.**

(Fuente: Elaboración propia.)



**Figura 22: Esguerrimiento aguas abajo 2.**

(Fuente: Elaboración propia.)



**Figura 23: Socavación por choque del oleaje.**

(Fuente: Elaboración propia.)



**Figura 24: Desembocadura y ubicación calicata 6.**

(Fuente: Elaboración propia.)



**Figura 25: Calicata 6.**

(Fuente: Elaboración propia.)

## 2 ANALISIS DE MUESTRAS EN LABORATORIO.



**Figura 26: Granulometría 1.**

(Fuente: Elaboración propia.)



**Figura 27: Granulometría 2.**

(Fuente: Elaboración propia.)



**Figura 28: Muestra con mayor materia orgánica 1.**

(Fuente: Elaboración propia.)



**Figura 29: Muestra con mayor materia orgánica 2.**

(Fuente: Elaboración propia.)



**Figura 30: Muestra secas.**

(Fuente: Elaboración propia.)



**Figura 31: Muestra 32.**

(Fuente: Elaboración propia.)



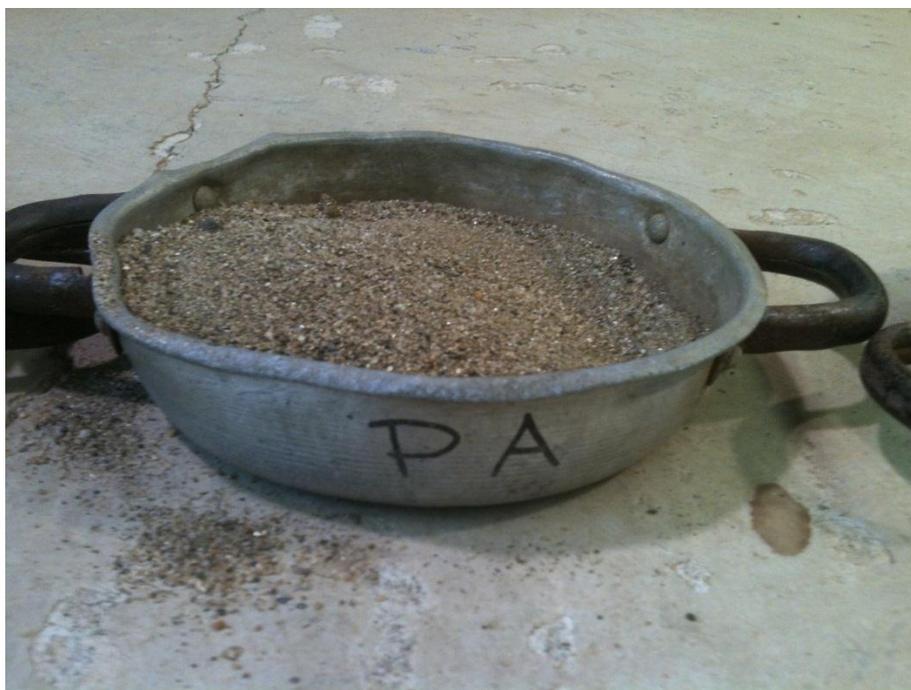
**Figura 32: Muestra 39.**

(Fuente: Elaboración propia.)



**Figura 33: Muestra 5.**

(Fuente: Elaboración propia.)



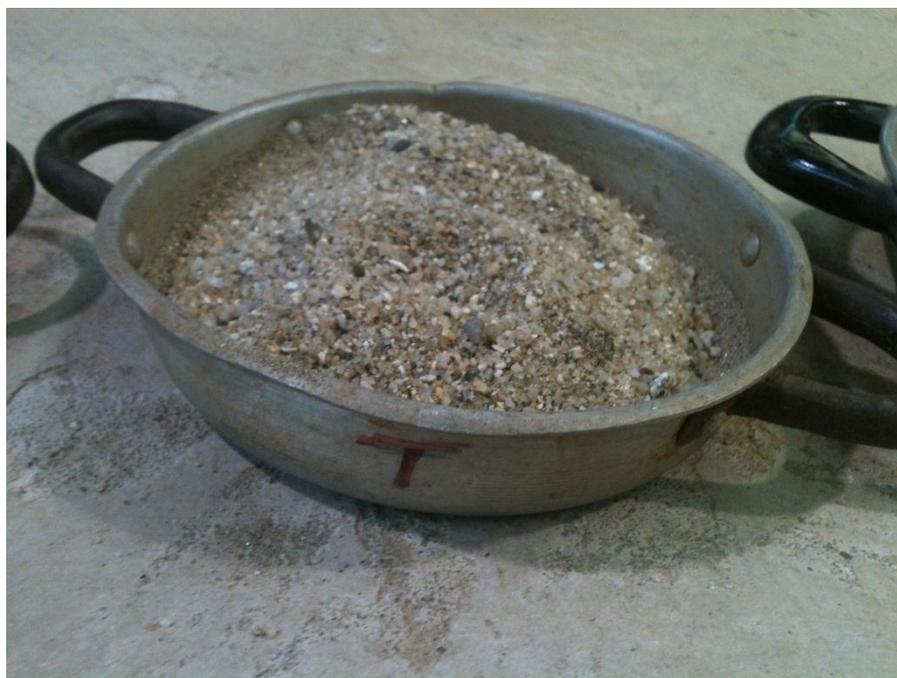
**Figura 34: Muestra PA.**

(Fuente: Elaboración propia.)



**Figura 35: Muestra 14.**

(Fuente: Elaboración propia.)



**Figura 36: Muestra T.**

(Fuente: Elaboración propia.)



**Figura 37: Muestra 2.**

(Fuente: Elaboración propia.)



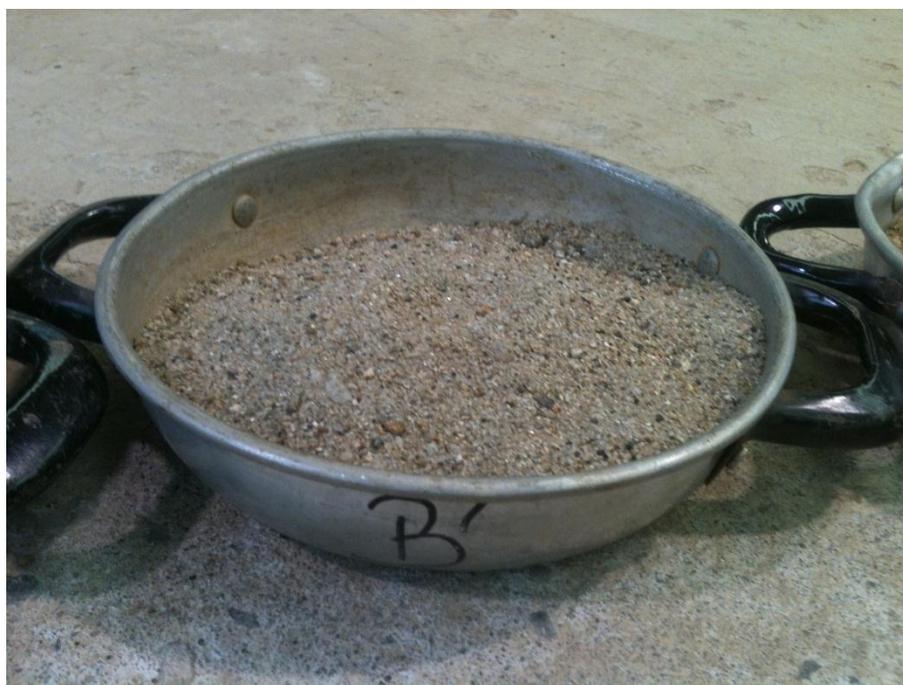
**Figura 38: Muestra CE-19.**

(Fuente: Elaboración propia.)



**Figura 39: Muestra 71.**

(Fuente: Elaboración propia.)



**Figura 40: Muestra B'.**

(Fuente: Elaboración propia.)



**Figura 41: Muestra 1A.**

**(Fuente: Elaboración propia.)**



**Figura 42: Muestra 74.**

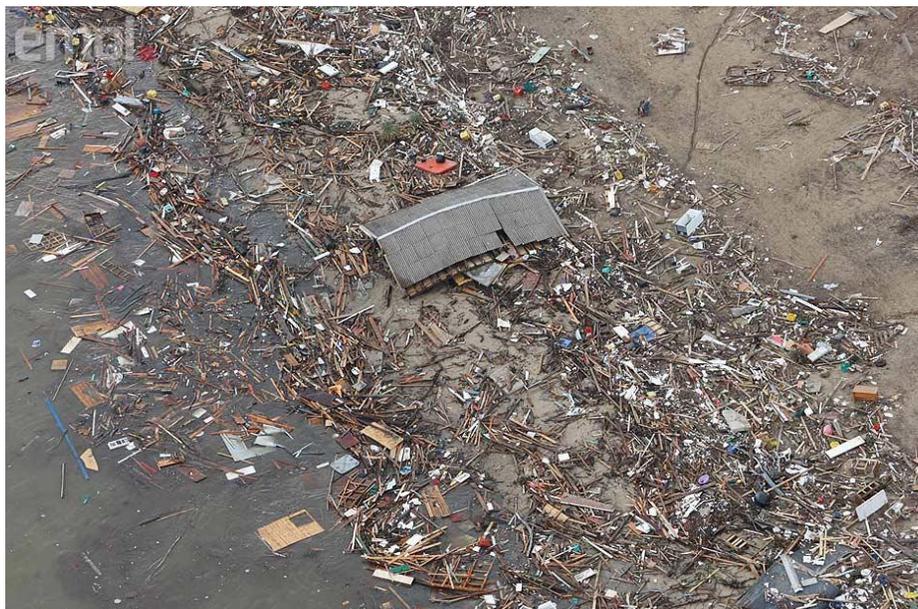
**(Fuente: Elaboración propia.)**

### 3 FOTOS SATELITALES.



**Figura 43: Catástrofe 1.**

(Fuente: Elaboración propia.)



**Figura 44: Catástrofe 2.**

(Fuente: Elaboración propia.)



**Figura 45: Catástrofe 1.**

(Fuente: Elaboración propia.)



**Figura 46: Catástrofe 3.**

(Fuente: Elaboración propia.)



**Figura 47: Catástrofe 4.**

(Fuente: Elaboración propia.)



**Figura 48: Catástrofe 5.**

(Fuente: Elaboración propia.)

**4 FIGURAS Y TABLAS.**



**Figura 49: Plano de inundación. (Gobierno de Chile, 2010).**



**Figura 50: Ubicación de los puntos de muestreo de sedimentos.**

(Fuente: Google Earth)

**Tabla 1. Calicatas y muestras.**

MUESTRAS	UBICACIÓN	DESCRIPCION
1	CALICATA 1	AGUAS ARRIBA (MUESTRA 1)
2	CALICATA 1	AGUAS ARRIBA (MUESTRA 2)
3	CALICATA 2	FONDO DEL CAUCE (PEDRAPLEN)
4	CALICATA 2	CAPA SUPERIOR DEL CAUCE (PEDRAPLEN)
5	CALICATA 3	PARED LATERAL DE CAUCE (CURVA)
6	CALICATA 3	AL CENTRO DE CAUCE CAPA SUPERIOR (CURVA)
7	CALICATA 3	AL CENTRO DE CAUCE CAPA DEL INFERIOR (CURVA)
8	CALICATA 4	LATERAL RELLENO (ANTES PUENTE MATERIAL NEGRUSCO)
9	CALICATA 4	CENTRO (ANTES PUENTE MATERIAL NEGRUSCO)
10	CALICATA 5	CURVA PRONUNCIADA AGUAS ABAJO
11	CALICATA 6	PLAYA ESTRATO 2
12	CALICATA 6	ESTRATO 1

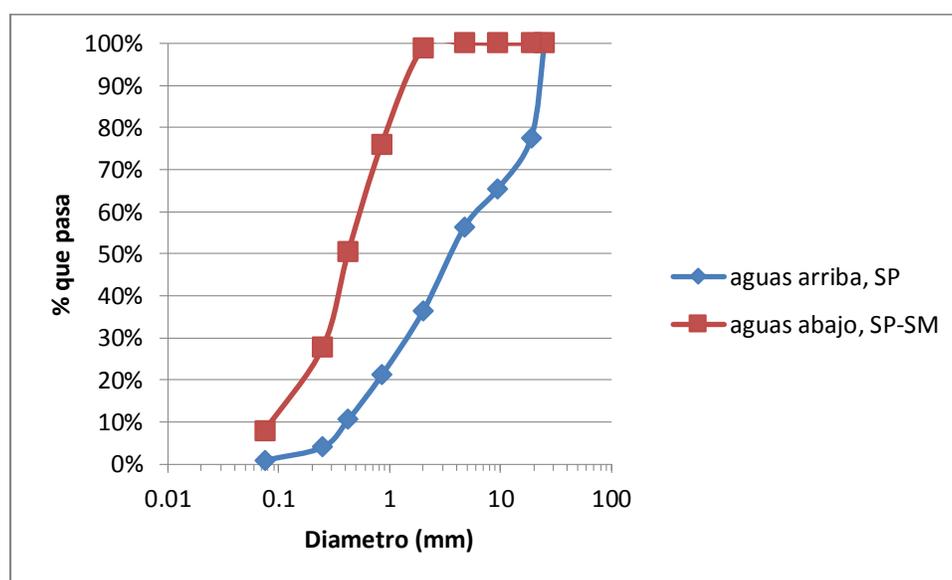


**Figura 51: Tramo analizado en morfología.**

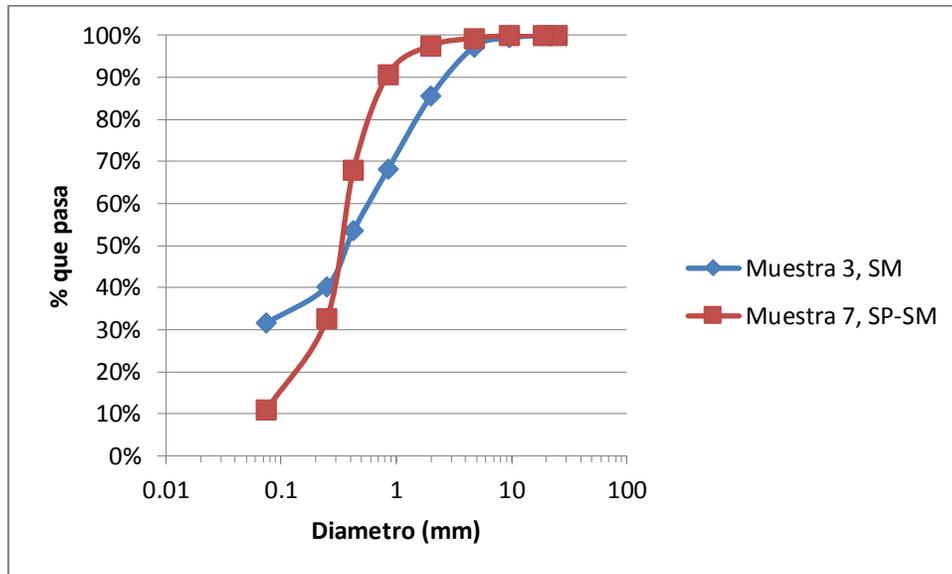
(Fuente: Google Earth)

**Tabla 2. Clasificación de muestras de suelo.**

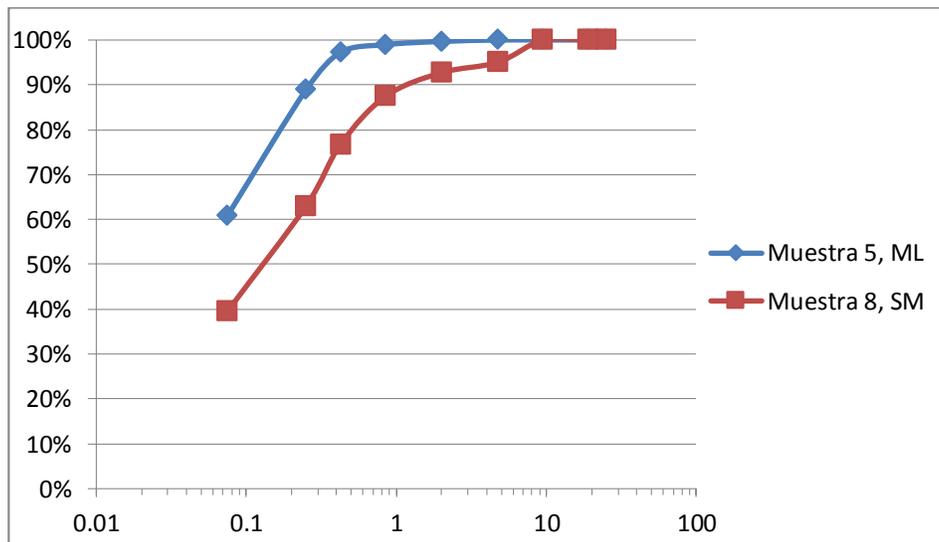
MUESTRAS	CLASIFICACION			
	U.S.C.S	DEFINICION	AASHTO	DEFINICION
1	SP	Arena Pobremente graduada	A1- a	Gravas y arenas
2	SM	Arena limosa	A1 - a	Gravas y arenas
3	SM	Arenas limosas	A - 2 - 4	Gravas y arenas limosas o arcillosas
4	ML	Limos inorgánicos de baja compresibilidad	A-4	Suelos limosos
5	ML	Limos inorgánicos de baja compresibilidad	A-4	Suelos limosos
6	SM	Arenas limosas	A - 2 - 4	Gravas y arenas limosas o arcillosas
7	SP-SM	Arenas pobremente graduadas limosas	A-2-4	Gravas y arenas limosas o arcillosas
8	SM	Arenas limosas	A-4	Suelos limosos
9	SM	Arenas limosas	A-4	Suelos limosos
10	SM	Arenas limosas	A-2-4	Gravas y arenas limosas o arcillosas
11	SW-SM	Arenas bien graduadas limosas	A1-b	Gravas y arenas
12	SP-SM	Arenas pobremente graduadas limosas	A-2-4	Gravas y arenas limosas o arcillosas



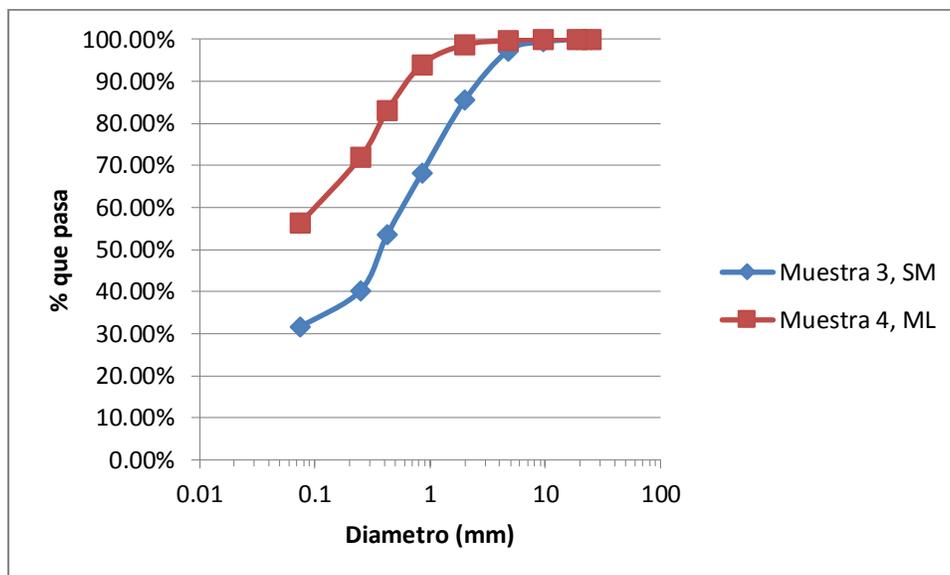
**Figura 52: Análisis Granulométrico comparación aguas arriba con aguas abajo, muestra 1 con muestra 12.**



**Figura 53: Análisis Granulométrico muestras del fondo.**



**Figura 54: Análisis Granulométrico muestras laterales.**



**Figura 55: Análisis Granulométrico muestras 3 y 4.**

**Tabla 3. Cantidad porcentual de materia orgánica.**

MUESTRA	% DE PESO TOTAL	% de materia orgánica	Fondo/Rivera/Sup. central
1	99.01%	0.99%	Fondo
3	96.54%	3.46%	Fondo
4	95.37%	4.63%	Sup. Central
5	93.93%	6.07%	Rivera
7	97.05%	2.95%	Fondo
8	94.00%	6.00%	Rivera
9	88.53%	11.47%	Sup. Central
10	98.13%	1.87%	Fondo
12	99.25%	0.75%	Sup. Central



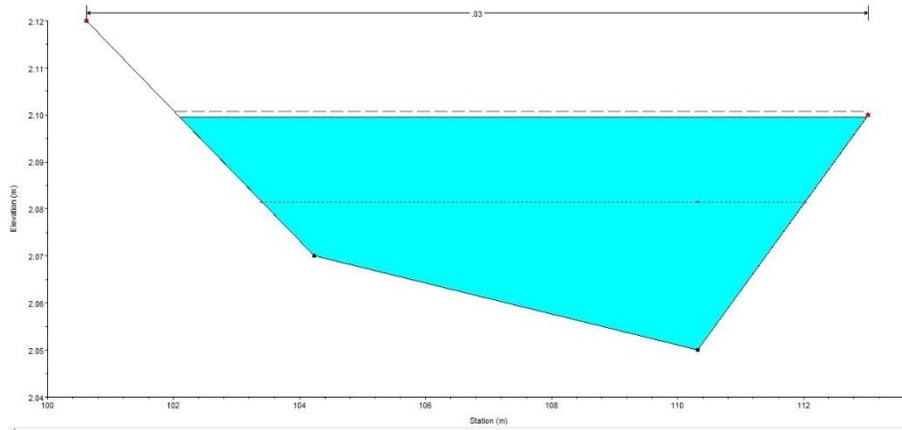
**Figura 56: Tramo analizado en morfología, un mes antes y un mes después del terremoto, junto con la vista actual (año 2014).**

(Fuente: Google Earth)



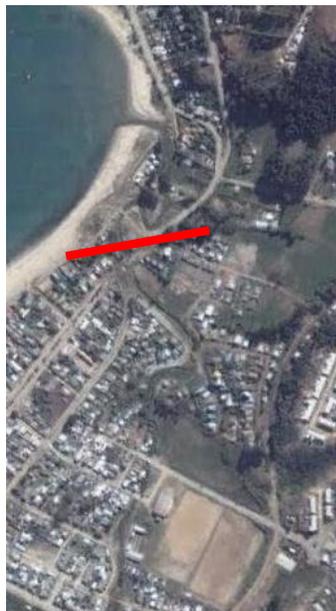
**Figura 57: El Antes y Después de las obras de limpieza.**

(Fuente: MOP, 2011)



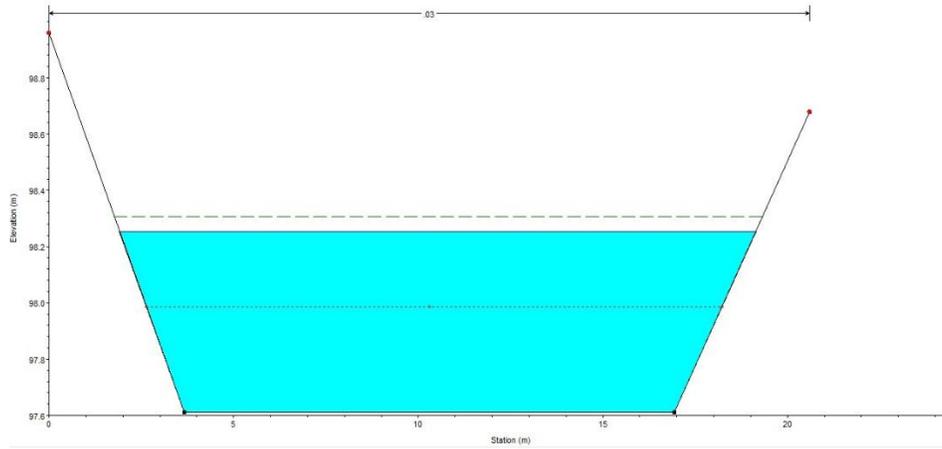
**Figura 58: Sección Transversal Antes del Tsunami.**

(Fuente: Elaboración propia.)



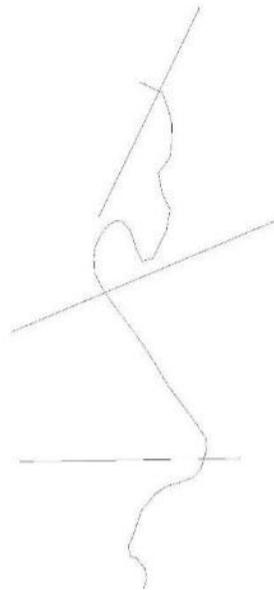
**Figura 59: Sección Transversal Analizada.**

(Fuente: Elaboración propia.)



**Figura 60: Sección Transversal Después del Tsunami.**

(Fuente: Elaboración propia.)



**Figura 61: Cortes transversales estudiados en comparación hidráulica.**

(Fuente: Elaboración propia.)



**Figura 62: Zona en estudio.**

(Fuente: Elaboración propia.)

**Tabla 4. Tabla de datos en granulometría.**

			antes de lavar	antes de lavar y seca	despues de lavar			SIN FINO	
MUESTRA	PAILA	Pp (g)	Pp+Mh+FINO	Pp+MS+FINO	Pp+Mh	Pp+MS	FINO (g)	MS	TOTAL
1	32	99.53	974.54	856.58	979.72	850.27	6.31	750.74	757.05
2	39	102.44	854.02	763.37	896.75	760.35	3.02	657.91	660.93
3	5	140.34	868.49	690.98	820.29	660.71	30.27	520.37	550.64
4	PA	101.71	625	472.36	588.18	439.19	33.17	337.48	370.65
5	14	141.43	747.03	578.49	611.34	447.51	130.98	306.08	437.06
6	T	112.01	748.44	637.47	767.1	624.28	13.19	512.27	525.46
7	2	137.26	1121.16	845.71	1066.9	815.42	30.29	678.16	708.45
8	CE-19	99.19	931.83	742.3	750.85	560.59	181.71	461.4	643.11
9	71	138.89	1040.28	588.38	976.3	541.02	47.36	402.13	449.49
10	B´	137.15	986.25	783.82	1022.05	766.53	17.29	629.38	646.67
11	1A	97.84	1021.28	805.83	1004.11	801.08	4.75	703.24	707.99
12	74	140.35	995.4	847.81	1044.85	839.61	8.2	699.26	707.46