

# **OBRA DE CONTROL PARA RETENER EL FLUJO DE LOS LAHARES DEL VOLCÁN COTOPAXI QUE CONFLUYEN AL RÍO PITA EN EL SECTOR LA CALDERA.**

*RESTRAINT BUILDING FOR THE LAHARS FLOW OF THE COTOPAXI VOLCANO THAT COALESCE TO THE PITA RIVER ON THE CALDERA SECTOR .*

**MARCO MASABANDA<sup>1</sup>, BYRON MORALES<sup>1</sup>, JULIO CISNEROS<sup>2</sup>, EVELYN DÍAZ<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y CONSTRUCCIÓN, UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE.P.O.Box 171-5-231B,Av. General Rumiñahui s/n, Sangolquí,Ecuador, email: mvmasabanda1@espe.edu.ec , bomorales@espe.edu.ec

<sup>2</sup> CARRERA DE INGENIERIA CIVIL,UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE. Sangolquí- Ecuador, Av. General Rumiñahui s/n.

Recibido: 02 de enero del 2017 / Aceptado: 04 de mayo del 2017

## **RESUMEN**

El volcán Cotopaxi con 5897 m.s.n.m., debido a sus características geológicas y la cercanía de sitios poblados uno de los volcanes más devastadores mundialmente. El presente trabajo de investigación pretende dar una posible solución al latente peligro de lahares potenciales en el cual recorrido se encuentran los moradores de las ciudades de San Rafael, Sangolquí y demás poblados ubicados a lo largo de la cuenca norte del volcán. Existen diversos tipos de obras de mitigación en sitios volcánicos para retener, desviar o reducir lahares. En este proyecto de investigación se presenta un pre diseño de Terraplén como opción, ya que con la misma se logra utilizar el material que se encuentra en excedencia en la zona de estudio facilitando así los métodos constructivos. De esta manera se podrán tomar medidas urgentes, mismas que permitirán reducir la vulnerabilidad existente con obras y mitigación, del tal forma que, en caso de ocurrir un nuevo episodio eruptivo, exista la preparación suficiente para poder salvar la mayor cantidad de vidas humanas.

**Palabras clave:** Terraplén, Mitigación, Vulnerabilidad, Flujos de lodo, Lahares, Volcán.

## **ABSTRACT**

The Cotopaxi volcano m.s.n. 5897, it is one of the highest active volcanoes in the world and due to its geological characteristics. This research aims to provide a possible solution to the latent danger in which they are the inhabitants of the cities of San Rafael, Sangolquí and other villages located along the northern basin of the volcano. There are several types of mitigation work, this project presents a Rampart as an option, since the same is achieved using the material found in exceedance in the study area; thus facilitating the construction methods. In this way they may take urgent measures to enable them to mitigate the existing vulnerability of such that there is sufficient preparation in order to save as many human lives occur if a new eruptive episode.

**Key words:** Earthwork, Mitigation, Vulnerability, Mudflows, Lahars, Volcano.

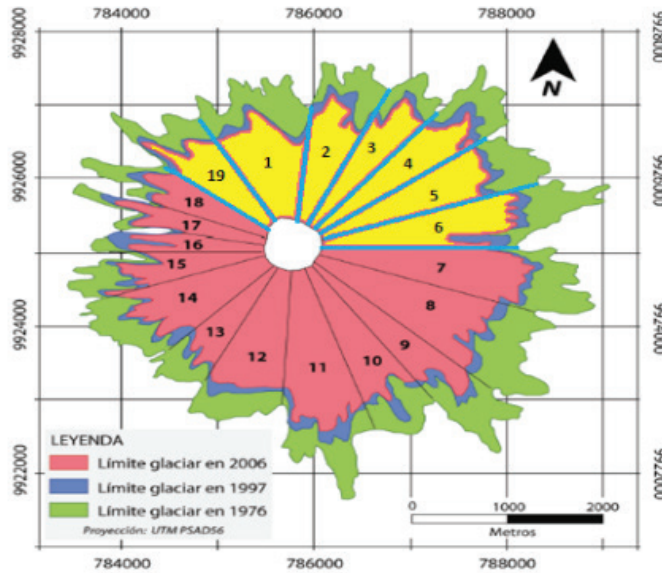
## 1. INTRODUCCIÓN

El Cotopaxi forma parte del Arco Volcánico Ecuatoriano y es considerado uno de los volcanes más devastadores del mundo debido de generaciones de lahares cuales se producen con frecuencia y el alcance de los mismos en poblaciones hasta lejanas del volcán. a la frecuencia de sus erupciones, su estilo eruptivo, su relieve y su cobertura glaciar. Actualmente más de 300.000 personas viven cerca del volcán o cerca de los drenajes importantes (ríos y quebradas) que nacen en sus flancos. Las erupciones históricas y pre-históricas del Cotopaxi (1534 DC – Presente) y las fases eruptivas de otros volcanes en el mundo con similares características como el Nevado de Ruiz en Colombia en 1985 y el Pinatubo en Filipinas en el 1991, han demostrado que voluminosos lahares pueden afectar a pueblos y ciudades que se encuentren a su paso con millones de toneladas de escombros volcánicos, arrastrando cualquier objeto que se encuentre a su paso.

Los lahares son flujos densos que se movilizan ladera abajo por los drenajes de un volcán debido a la acción de la gravedad y consisten de una mezcla de agua (fase líquida) y de materiales volcánicos (fase sólida) como grandes rocas, arena, ceniza e incluso troncos de árboles u otros objetos de origen antrópico, que pueden ser arrastrados por el flujo (Ordóñez, Samaniego, Mothes, & Schilling, 2013).

El Cotopaxi experimentó al menos un ciclo eruptivo en cada siglo, incluidos varios episodios explosivos muy violentos con un Índice de Explosividad Volcánica IEV. Los cinco períodos más importantes ocurrieron entre: 1532-1534, 1742-1744, 1766-1768, 1853-1854 y 1877- 1880 (Aguilera & Toulkeridis, 2004-2005). Las últimas erupciones documentadas con lahares fueron en el 26 de Junio 1877 y 1904, y tuvo alguna actividad en 1942. Actualmente se registran incrementos en su actividad volcánica desde finales del año 2001 el año 2003.

Las vertientes que nacen en la parte más alta del cono se unen para crear otras de mayores dimensiones, formando de esta manera tres sub-redes principales (Norte, Oriental y Sur) que dependen de los deshielos de las 19 lenguas glaciares que conforman el casquete (Hastenrath, 1981; Cáceres et al., 2004 y Jordán et al., 2005). Las vertientes que nacen para el sector Norte contemplan los ríos El Salto y Pita, que se unen aguas abajo y continúa como el río Pita, posteriormente se une con los ríos Santa Clara y San Pedro, que cruzan las poblaciones de Sangolquí, El Valle de los Chillos, como principal poblaciones afectadas por el evento, es así que los glaciares del 1 al 6, ubicados en los flancos norte y este del volcán, afectarían el drenaje norte (Barberi et al., 1995(Samaniego, Jorge, Schilling, & Mothes, 2011).

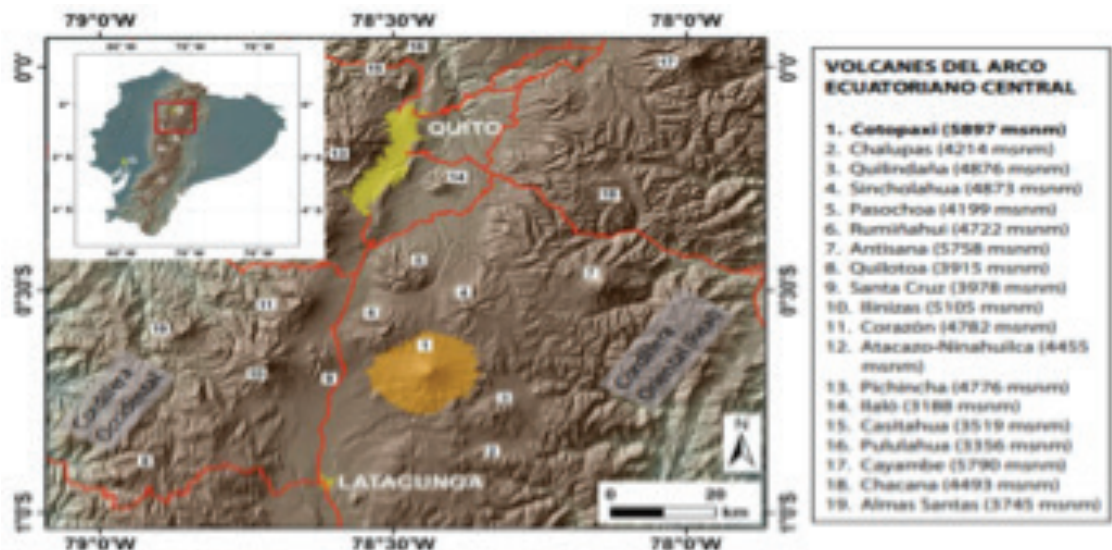


**Figura 1.** Distribución del área de los glaciares del Cotopaxi

**Fuente:** (Ordoñez, Samaniego, Mothes, & Schilling, Las Potenciales Zonas de Inundación por Lahares en el Volcán Cotopaxi., 2013)

## 2. ÁREA DE ESTUDIO

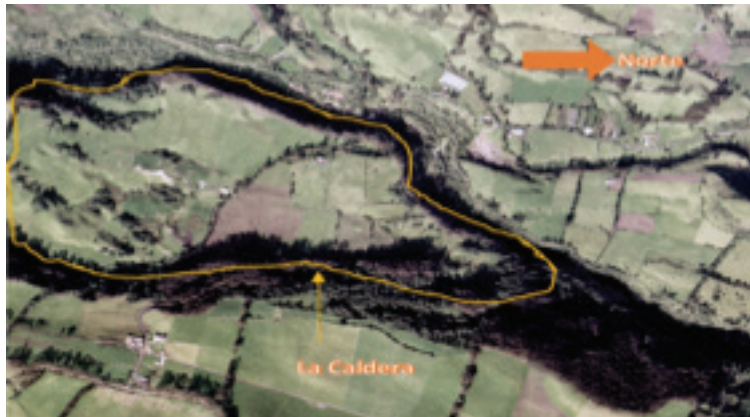
El área de estudio está ubicada en la Cordillera Central de Los Andes Ecuatorianos a 62 km al Noreste de Latacunga y 75 Km al Sureste de Quito. Límites: Al Noreste el volcán apagado Sincholahuá (4873 msnm), y el Rumiñahui (4722 msnm) al Oeste; el Quilindaña (4876 msnm) al Sureste.



**Figura 2.** Ubicación Volcán Cotopaxi

**Fuente:** (Potenciales Zonas de Inundación por lahares en el Volcán Cotopaxi, 2015)

Debido al deshielo la cantidad de lahares en volumen es muy grande, por lo cual el volcán Cotopaxi está dividido en 19 lenguas que se distribuyen hacia los 4 puntos cardinales, en el caso de la caldera está ubicada en la zona norte en las lenguas 6 y 7 respectivamente. El sector se encuentra ubicado en la cuenca norte del volcán Cotopaxi, en caso de existir una erupción, este presentaría una gran acumulación de volumen de lahares, provenientes del deshielo que pasa por las dos lenguas mencionadas.



**Figura 3.** Ubicación de la zona La Caldera

### 3. METODOLOGÍA

Se ha aplicado una metodología experimental analítica de campo en los cuales se realizaron análisis de los parámetros físicos de la cuenca, ensayos de mecánica de suelos y líneas sísmicas, para de esta manera llegar al diseño de una obra de mitigación ante el flujo de los lahares del volcán Cotopaxi. Los ensayos de laboratorio se realizan en base a las normas ASTM “American Society of Testing Materials”, AASHTO “American Association of State Highway and Transportation Officials”, ICONTEC “Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación” y las Normas del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). La clasificación de los perfiles se determinara mediante la Tabla 1.

Los ensayos se realizaron para obtener propiedades del suelo encontrados en la zona de estudio, también, se ejecutó un ensayo de Refracción Sísmica para conocer las velocidades de onda y de corte del terreno. Al tratarse de un terraplén, el diseño y todo lo demás dependerá de la geometría, deberá cumplir con los factores de seguridad rigurosos. La estabilidad del terraplén se realizó mediante el software GeoStudio 2007. El diseño se realizó de la siguiente manera:

- Establecer las dimensiones geométricas, condiciones de carga, tiempo de construcción y condiciones ambientales.
- Establecer el perfil estratigráfico, las propiedades geo mecánicas del suelo de fundación y las condiciones del nivel freático.
- Obtener las propiedades ingenieriles del suelo que se utilizara para la construcción del terraplén.

**Tabla 1.** Clasificación de los Perfiles de Suelo  
**Fuente:** (Cámara de la Industria de la Construcción, 2011)

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	
B	perfil de roca de rigidez media	
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda que cumplan con cualquiera de los dos criterios	
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases:	
	F1- Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.	
	F2- Turba arcillas orgánicas y muy inorgánicas (H > 3m para turba o arcillas orgánicas y muy inorgánicas)	
	F3- Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7,5 m con Índice de Plasticidad IP > 75)	
	F4-Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 30m)	

Todos los materiales que se empleen en la construcción de terraplenes deberán provenir de las excavaciones de la explanación, de préstamos laterales o de fuentes aprobadas; deberán estar libres de sustancias deletéreas, de materia orgánica, raíces y otros elementos perjudiciales. Los materiales que se empleen en la construcción de terraplenes deberán cumplir los requisitos indicados en la Tabla 2.

Característica	Norma de Ensayo Inv	Suelos Seleccionados	Suelos Addecuados	Suelos Tolerables
Zona de aplicación en el terraplén		corona núcleo cimiento	corona núcleo cimiento	núcleo cimiento
tamaño máximo	E-123	75 mm	100 mm	150 mm
Porcentaje que pasa el tamiz de 2 mm (No. 10)	E-123	80% en peso	80% en peso	-
Porcentaje que pasa el tamiz de 75 m (No. 200)	E-123	25% en peso	35% en peso	35% en peso
Contenido de materia orgánica	E-121	0%	1%	2%
Límite líquido	E-125	30%	40%	40%
Índice plástico	E-126	10%	15%	-
C.B.R. de laboratorio	E-148	10%	5%	3%
Expansión en prueba C.B.R.	E-148	0%	2%	2%
Índice de colapso	E-157	2%	2%	2%
Contenido de sales solubles	E-158	0,20%	0,20%	-

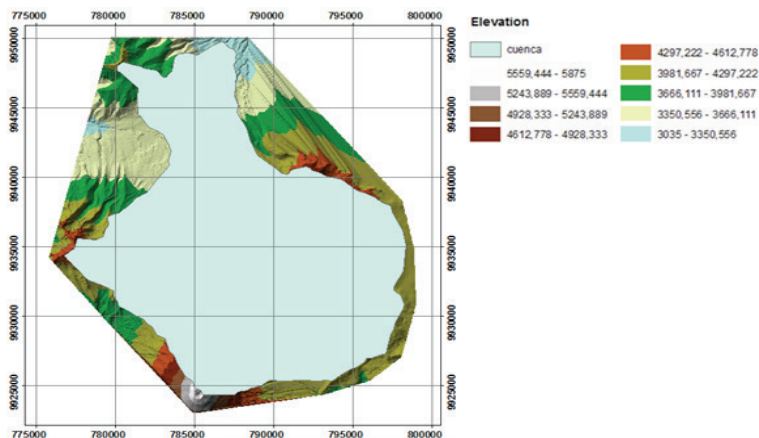
**Tabla 2.** Requisitos de los materiales para terraplenes

**Fuente:** (Instituto Nacional de Vías, 2012)

## 4. RESULTADOS

### 4.1. DELIMITACIÓN HIDROGRÁFICA DE LA CUENCA

El área de la cuenca, encierra el río Pita y está comprendida entre el volcán Cotopaxi y el sector La Caldera. A continuación se presenta el trazado de la cuenca, la cual pasa por los puntos más altos hasta llegar al volcán Cotopaxi.



**Figura 4.** Delimitación de la cuenca

#### 4.2. PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE LA CUENCA

Los parámetros se utilizan para analizar la red de drenaje, las pendientes y la forma de la cuenca a partir del cálculo de valores numéricos (Delgadillo & Moreno, 2008).

**Tabla 3.** Parámetros Morfométricos

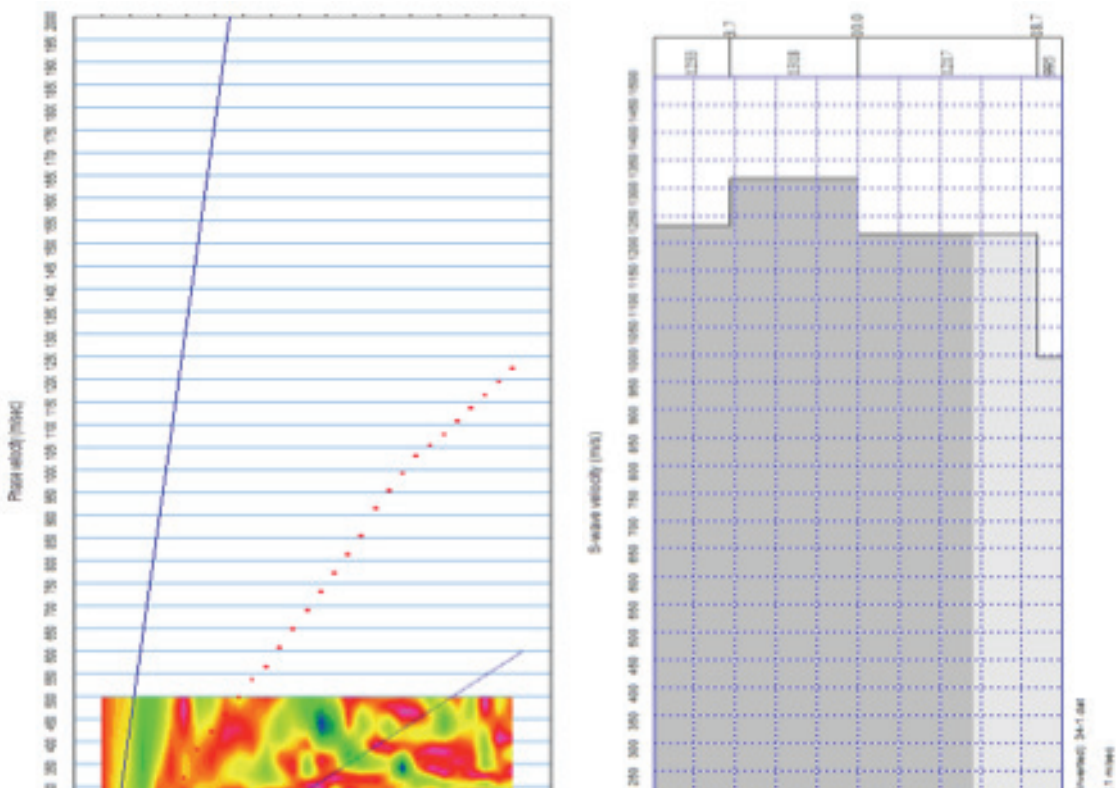
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS					
No.	Parámetro	Símbolo	Unidad de Medida	Valor	Observaciones
1	Área de la Cuenca	Ac	Km <sup>2</sup>	300.050	Hasta el punto de control (Obtenido en AutoCAD)
2	Perímetro	P	Km	84.339	Desde y hasta el punto de control (Obtenido en AutoCAD)
3	Coficiente de Compacidad	Kc	----	1.373	C.H.S de forma rectangular oblonga
4	Longitud del Rio Principal	Lr	Km	26.853	Desde el punto de control hasta el nacimiento
5	Densidad de Drenaje	Dd	Km/Km <sup>2</sup>	0.634	----
6	Pendiente Suavizada del Rio Principal	Yrs	%	4.409	Pendiente ajustada
7	Pendiente bruta del Rio Principal	Yrb	%	6.629	Pendiente bruta
8	Pendiente de la Cuenca	Yc	%	20.206	Pendiente de la Cuenca
9	Tiempo de Concentración	Tc	min	160.000	Tiempo de concentración más bajo tomado de la fórmula de KIRPICH
10	Longitud Axial	Lc	Km	25.337	Distancia desde el punto más bajo al más distante (Obtenido en AutoCAD)
11	Ancho Promedio del C.H.S.	Bc	Km	11.842	$Bc=(Ac/Lc)$
12	Factor de Forma	Kf	----	0.467	$Kf=(Ac/Lc^2)$

#### 4.3. ENSAYOS DE SUELOS

- Refracción sísmica

El ensayo se realizó con dos líneas sísmicas, una de ida (línea 1) y otra de retorno (línea 2), para poder adquirir los siguientes resultados.

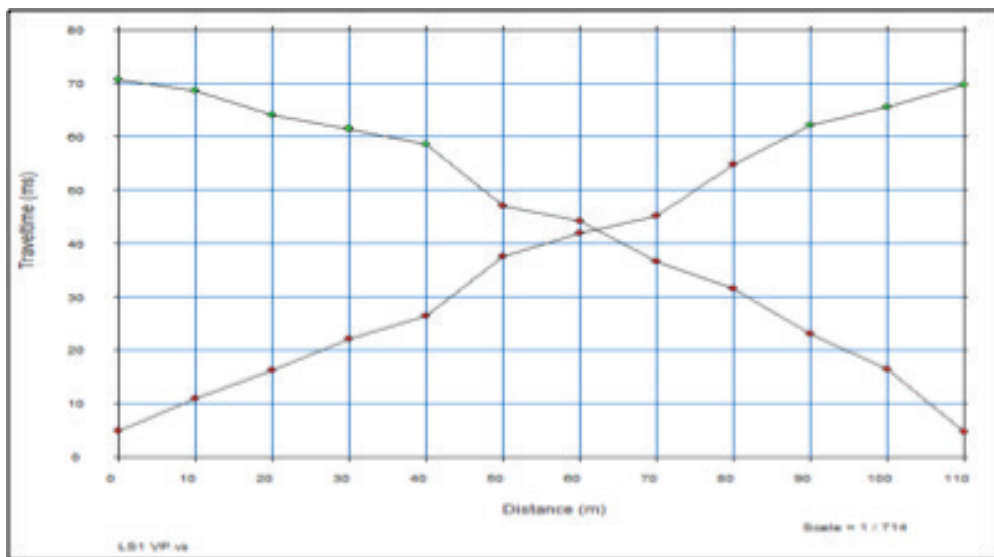
Ondas de corte (Vs)  
Línea Sísmica 1



**Figura 5.** Curva de Frecuencia Sísmica 1 y Representación del  $V_{s30}$  (línea 1)

Ondas de Compresión

Para el caso de las ondas  $V_p$  se analizaron las dos líneas al mismo tiempo, dando los siguientes resultados.



**Figura 6.** Dromocrona de la línea sísmica 1 y 2



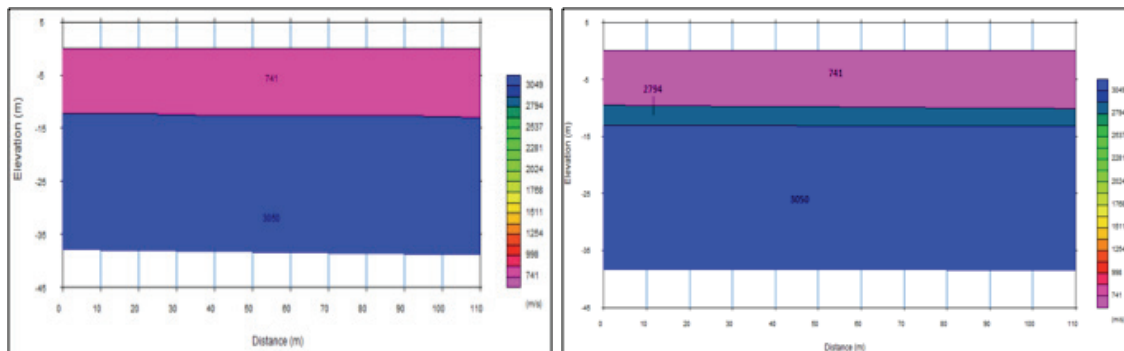


Figura 7. Estratigrafía, modelo 2 y 3 capas

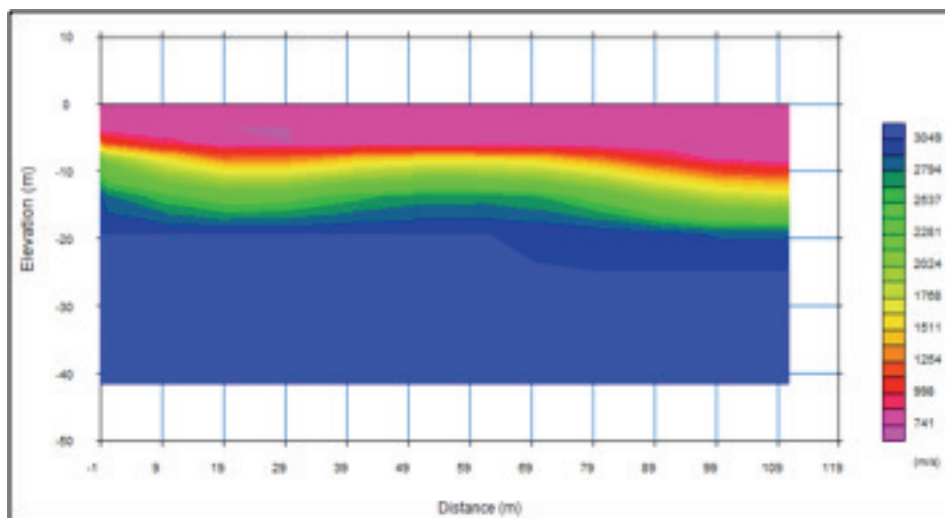


Figura 8. Inversión de la línea sísmica 1 y 2

Tabla 4. Resultados de Refracción Sísmica

<i>V<sub>p</sub></i> (m/s)	<i>V<sub>s</sub></i> (m/s)		<i>RELACIÓN V<sub>p</sub>/V<sub>s</sub></i>		<i>Tipo de Suelo</i>
	<i>IDA</i>	<i>VUELTA</i>	<i>IDA</i>	<i>VUELTA</i>	
741	1233	786	0.601	0.943	Lahares
2794	1318	1023	2.120	2.731	Lavas
3050	1217	1147	2.506	2.659	Roca

A continuación, se presenta los resultados de las ondas de corte.

$$V_{s30} = 1142.10 \frac{m}{s} \text{ (línea 1)}$$

$$V_{s30} = 886.30 \frac{m}{s} \text{ (línea2)}$$

Se observa que los valores de las ondas de corte ( $V_s$ ) se encuentran dentro del rango  $1500 \text{ m/s} > V_s \geq 760 \text{ m/s}$ , tal como indica la norma NEC11, con lo cual se determina el tipo de suelo de acuerdo a la Tabla 1.

- Ensayos de Mecánica de Suelos

El peso específico que se utilizó para la construcción del terraplén es el que se muestra en condición de superficie saturado seco, porque al momento de realizar la compactación con humedad, este valor es el que se presenta como propiedad física.

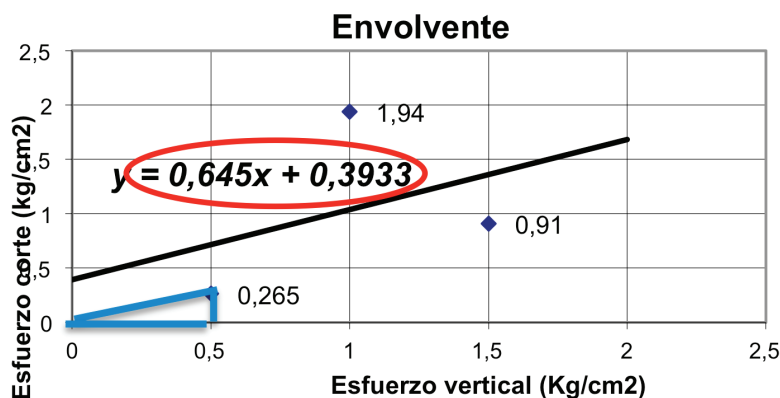
**Tabla 5.** Ensayos de Mecánica de Suelos

Ensayo	Fino		Grueso	
	Porcentaje de Humedad (%)	10.46	10.66	5.04
Densidad suelta ( $\text{g/cm}^3$ )	1.50			
Densidad varillada ( $\text{g/cm}^3$ )	1.66			
Peso Específico del Agregado ( $\text{g/cm}^3$ )	2.500		2.426	
Densidad Relativa en condición superficie saturado seco ( $\text{g/cm}^3$ )	2.567		2.513	

- Ensayo de Corte Directo

**Tabla 6.** Resultados de Corte Directo

<i>Esfuerzo Vertical (<math>\text{kg/cm}^2</math>)</i>	<i>Esfuerzo de Corte Máximo (<math>\text{kg/cm}^2</math>)</i>
0.5	0.265
1.0	1.940
1.5	0.910



El suelo que posee la zona de estudio es aluvial, por tal motivo se puede utilizar el principio de Dilatación por Esfuerzo de Corte.

- **Ángulo de Fricción para el Terraplén**

Mediante el ensayo de Corte Directo se obtuvo la Figura 10, la cual permite calcular lo siguiente:

$$y = 0.645$$

$$\phi = \text{tg}^{-1} (0.645)$$

El valor del ángulo de fricción para el terraplén es de  $32.82^\circ$ , cabe mencionar que el valor debe ser menor a  $45^\circ$ , por lo tanto el valor es correcto.

- **Ángulo de Fricción para el Suelo Natural**

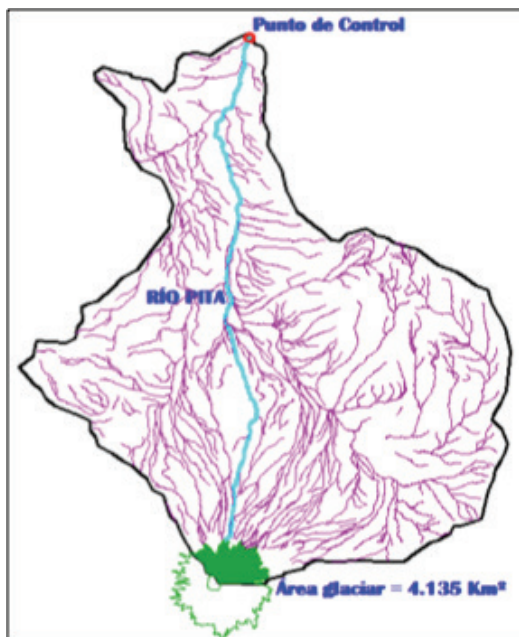
Mediante el ensayo de Corte Directo se obtuvo la Figura 10, la cual permite calcular lo siguiente:

$$\phi = \text{tg}^{-1} \left( \frac{0.265}{0.5} \right)$$

El valor del ángulo de fricción para el suelo natural es de  $27.92^\circ$ , debido a que por la Dilatación por esfuerzo de corte se trabaja con el ángulo menor de los puntos de análisis.

#### 4.4. **ÁREA DEL GLACIAR PARA LA CUENCA NORTE**

Una vez definido el área correspondiente a la cuenca en análisis, se procede a calcular el área del glaciar que se moviliza a través del drenaje del Río Pita.



**Figura 10. Área del glaciar para la cuenca hidrográfica**

## 4.5. VOLUMEN DEL GLACIAR PARA LA CUENCA NORTE

**Tabla 7.** Parámetros del glaciar del volcán Cotopaxi

Área total (Km <sup>2</sup> )	Volumen total (Km <sup>3</sup> )	Volumen total (Hm <sup>3</sup> )
11.56	0.35	350

**Tabla 8:** Parámetros del glaciar para la cuenca norte

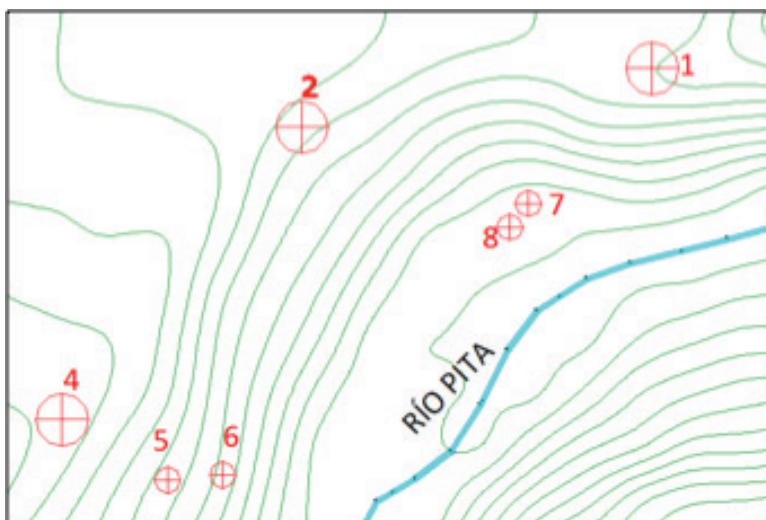
Área (Km <sup>2</sup> )	Volumen (Km <sup>3</sup> )	Volumen (Hm <sup>3</sup> )	25% Volumen (Hm <sup>3</sup> )
4.13	0.125	125.19	31.30

**DISEÑO**

- Altura del terraplén

**Tabla 9.** Puntos de partida de diseño

<i>PUNTOS DE PARTIDA (Coordenadas UTM)</i>			
Nº	COORDENADA E(m)	COORDENADA N(m)	DESCRIPCION
1	786.893	9949727	ANTENA DE REFERENCIA
2	786761	9949705	VIA PRINCIPAL
3	786592	9949297	MONUMENTO VIRGEN
4	786670	9949594	ARBOL DE REFRENCIA
5	786710	9949571	VIA INGRESO A LA CALDERA
6	786731	9949573	VIA INGRESO A LA CALDERA
7	786847	9949676	PARTE INFERIOR LA CALDERA
8	786840	9949667	PARTE INFERIOR LA CALDERA

**Figura 11.** Implantación de los puntos en el terreno

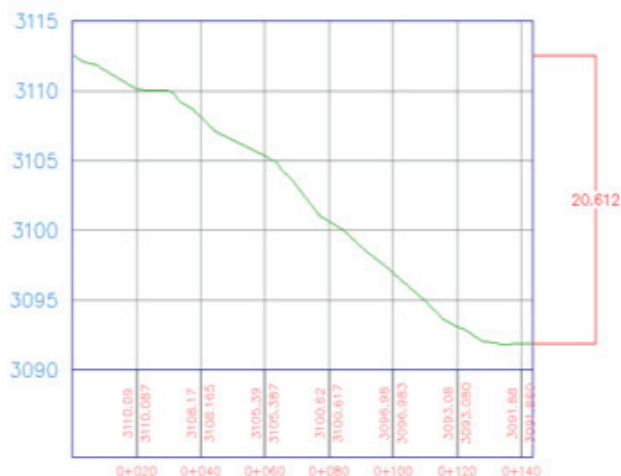


Figura 12. Perfil, altura del terraplén

- Talud de los espaldones

Dependiendo de la altura que tendrá el terraplén, el valor de sus pendientes en los espaldones se los escoge, según la tabla de Rasskazov.

Tabla 10. Inclinación de Taludes

ALTURA DE LA PRESA	TALUD A. ARRIBA	TALUD A. ABAJO
PRESAS DE TIERRA Nedrigi, V. y otros (1983)		
H < 5	2,0 – 2,5	1,5 – 1,75
5 < H < 10	2,25 – 2,75	1,75 – 2,25
10 < H < 15	2,5 – 3,0	2,0 – 2,25
15 < H < 50	3,0 – 4,0	2,5 – 4,0
H > 50	4,0 – 5,0	4,0 – 4,5

Fuente: (Sandoval, Presas de Tierra (Rasskazov), 2013)

Por lo tanto se tienen los siguientes datos iniciales:

**Tipo:** Terraplén

**Altura de la presa sin bordo libre:**  $H = 20.6186 \text{ (m)} \approx 20.00 \text{ (m)}$

**m1 aguas arriba:**  $m = 2.0$

**m2 aguas abajo:**  $m = 2.0$

- **Coronación de la presa**

La magnitud de esta dimensión se sustenta en las siguientes normas:

Tabla 11. Coronación de la Presa

CORONACIÓN DE LA PRESA		
Norma Técnica Mexicana	$B = 2 + 0.1 H$	B = 4.00 m
USBR	$B = 3 + \frac{H}{5}$	B = 7.00 m
KNAPPEN	$B = 1.65 * H^{\frac{1}{2}}$	B = 7.37 m
USBR	$B = 1 + 1.1 * H^{\frac{1}{2}}$	B = 5.92 m

El valor de ancho para la corona del terraplén es de 7 m

- Bermas para el terraplén

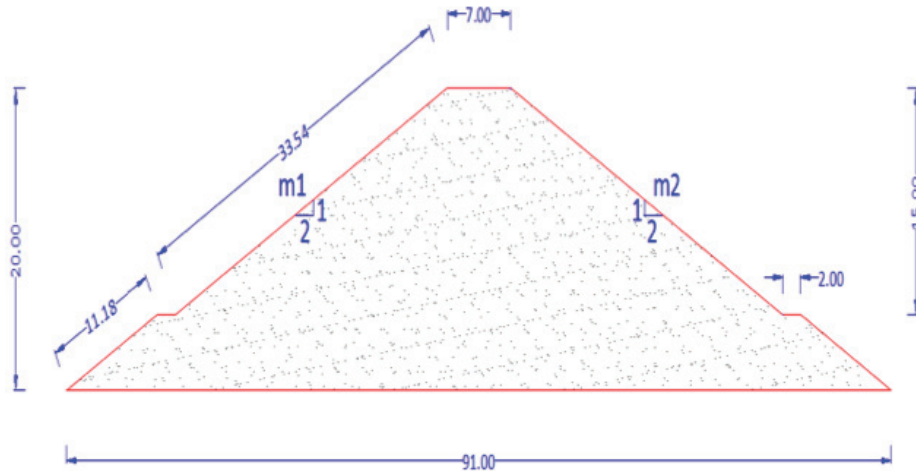


Figura 13. Geometría del Terraplén

#### 4.6. MODELAMIENTO DEL TERRAPLÉN EN GEOSTUDIO 2007

Al momento de tener realizada la geometría del terraplén, se procede a realizar el cálculo de estabilidad de taludes mediante la ayuda del software GeoStudio 2007, con su aplicación SLOPE/W 2007.

##### Suelo de Cimentación (suelo natural)

Peso Unitario	$\gamma = 24.53 \text{ KN/m}^3$
Cohesión	$C = 0 \text{ KPa}$
Ángulo de Fricción	$\phi = 27.92^\circ$

### Material para el cuerpo del terraplén

Inclinación 2H/1V

Altura de 20.00 m desde la base

Peso Unitario  $\gamma = 25.18 \text{ KN/m}^3$

Cohesión  $C = 0 \text{ KPa}$

Ángulo de Fricción  $\phi = 32.82^\circ$

Después de ingresar los datos, se obtiene los siguientes resultados:

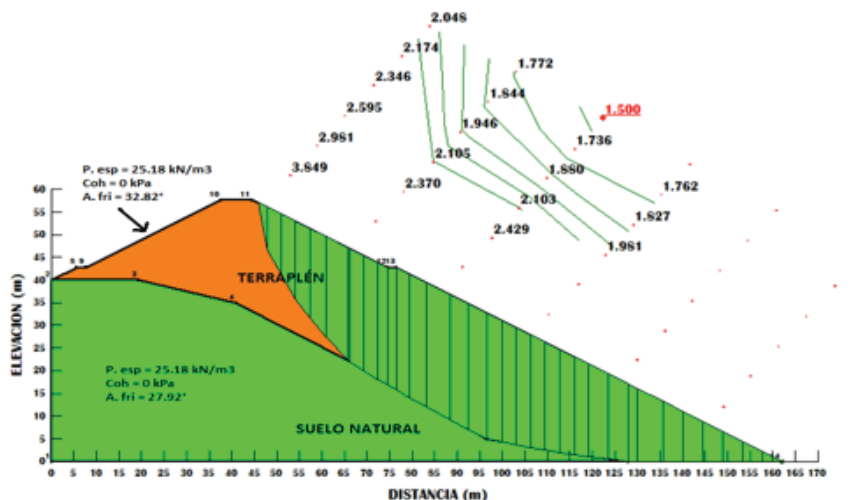


Figura 14. Factor de Seguridad del Terraplén

El coeficiente de seguridad debe ser mayor a 1,1; por lo cual las dimensiones tomadas para el terraplén cumplen con los límites establecidos.

$$FS \geq 1,1$$

$$1,50 \geq 1,1$$

- Análisis del factor de seguridad por bermas

En la parte superior se realizó el análisis de estabilidad del terraplén en forma general, para tener un factor de seguridad más favorable y estable; ahora se lo realiza por bermas y a continuación se muestran los resultados.

Análisis Berma 1

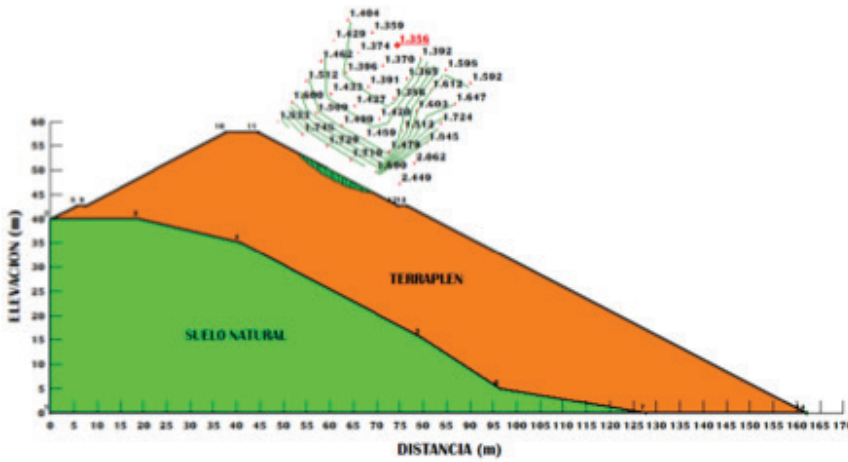


Figura 15. Factor de Seguridad (Berma 1)

Análisis Berma 2

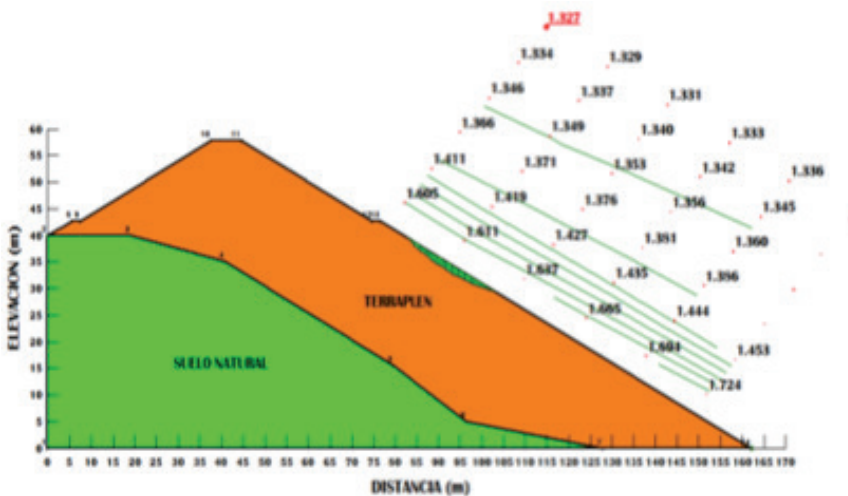


Figura 16. Factor de Seguridad (Berma 2)

El coeficiente de seguridad del talud es mayor a 1,1 por lo cual las dimensiones tomadas para el terraplén en la berma 1 y 2 cumplen con los límites establecidos.

Berma 1      1,356 > 1,1

Berma 2      1,327 > 1,1

Tabla 12. Resumen de los valores del Terraplén

	Slip Surface	FOS	Center (m)	Radius (m)	Entry (m)	Exit (m)
1	Optimized	1.500	(122.4, 75.6)	7.748.411	(45.8635, 57.1028)	(162.03, 0)
2	98	1.673	(122.4, 75.6)	74.623	(50.7804, 54.6427)	(149.718, 6.15731)



• ANÁLISIS DEL FACTOR DE SEGURIDAD POR CARGA SÍSMICA

Carga Sísmica

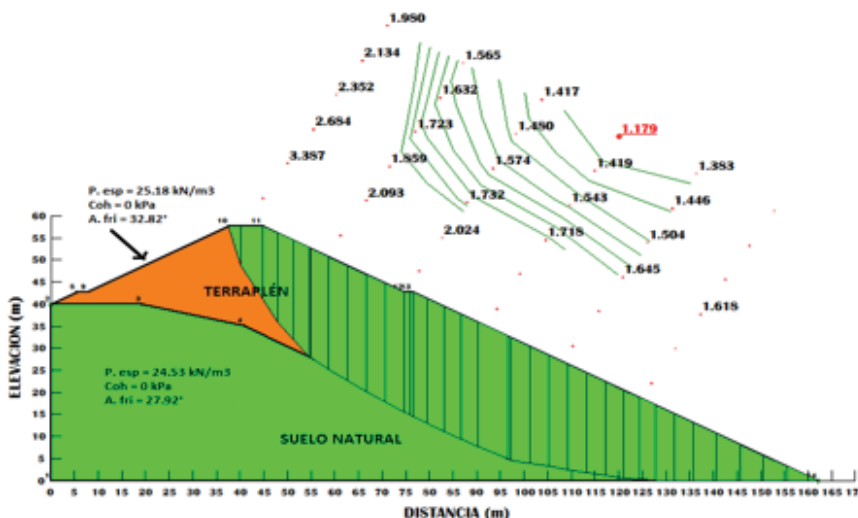


Figura 17. Factor de Seguridad con Carga Sísmica

El coeficiente de seguridad por carga sísmica debe ser mayor a 1,1; por lo cual las dimensiones tomadas para el terraplén cumplen con los límites establecidos.

$$FS \geq 1,1$$

$$1,179 > 1,1$$

- Diseño de la plataforma

Coordenadas de puntos de ensayo de refracción sísmica.

Coordenada Punto 1 (UTM)	
E	786762 (m)
N	9949522 (m)
Coordenada Punto 2 (UTM)	
E	786825 (m)
N	9949612 (m)

Implantación de las coordenadas de la línea sísmica.



**Figura 18.** Línea Sísmica en la Topografía

CUADRO DE ALTURAS	
PUNTO	COTA (m)
1	3062,27
2	3054,78

Según los resultados obtenidos, mediante el ensayo de refracción sísmica podemos observar que el terreno presenta 3 capas: lahares, lavas y roca.

Con lo expuesto anteriormente, se puede decir que solo se utilizará el material de lahares, el cual será el mismo para la implantación del terraplén, esto implica que la altura de la capa de lahares es de 7.4 metros en promedio ya que el terreno presenta diferentes alturas a lo largo de la línea sísmica.

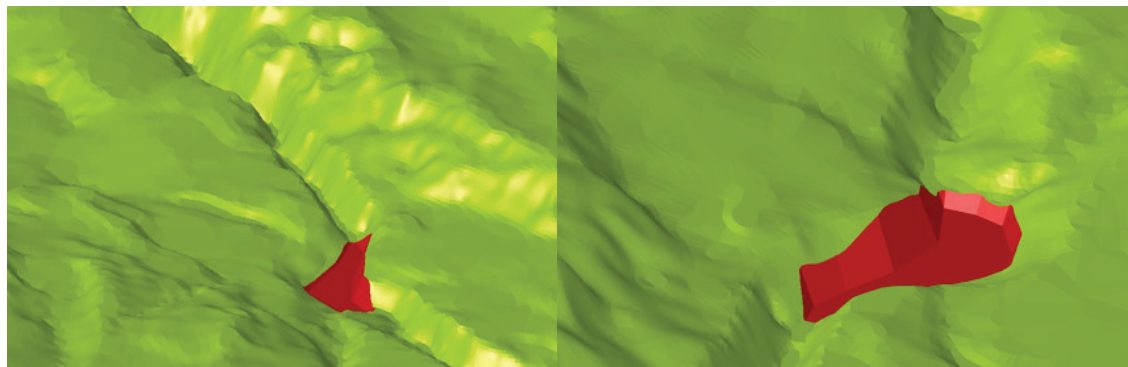
Cota Plataforma=3047,38 (m)

A continuación, se presenta la figura que muestra la implantación de la plataforma: Una vez realizada la implantación, para verificar su geometría en la topografía se realizan



**Figura 19.** Implantación de la Plataforma

visualizaciones en formato 3D como se presenta a continuación.  
 La implantación da como resultado un valor de material excedente de La Caldera de



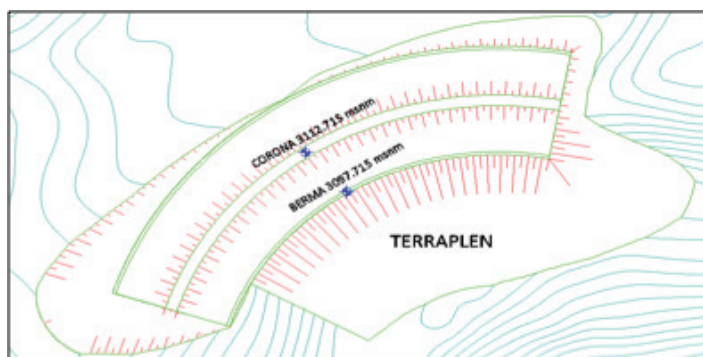
**Figura 20.** Modelo en 3D Plataforma (vista 1 y 2)

557524.06 m<sup>3</sup>, el mismo que será utilizado al momento de la construcción del terraplén.

- Implantación del terraplén en la topografía

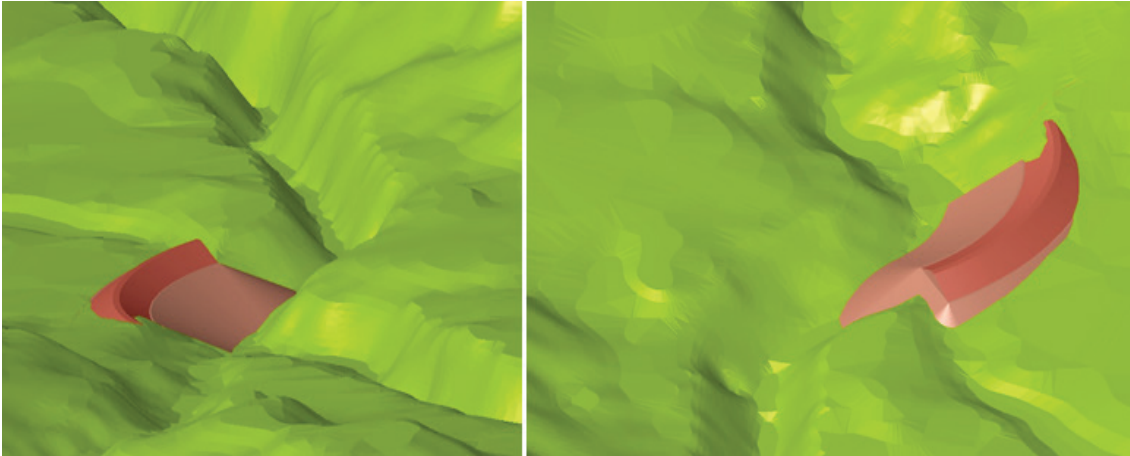
**Tabla 13.** Cotas para la Implantación del Terraplén

Cotas para la Implantación del Terraplén	
Cota (msnm)	Descripción
3092.715	Base del terraplén
3097.715	Altura de la Berma
3112.715	Altura de la Corona



**Figura 21.** Implantación del Terraplén

Una vez realizada la implantación, para verificar su geometría en la topografía se realizan visualizaciones en formato 3D como se presenta a continuación.



**Figura 22.** Modelo en 3D del Terraplén (vista 1 y 2)

La implantación da como resultado un valor de material necesario de La Caldera de **539665.75 m<sup>3</sup>** para el terraplén. Es necesario realizar cortes de terreno antes de la implantación y el resultado de corte o desmonte en el terraplén es de 52432.80 m<sup>3</sup>, este material también se lo puede utilizar para la composición del terraplén.

## 5. CONCLUSIONES

El diseño de la obra de control para el flujo de los lahares del volcán Cotopaxi, se determina que se puede retener un volumen considerable de lodos y se evitaría el ensanchamiento de la franja de riesgo en el río Pita y Santa clara.

Por tratarse de un terraplén los materiales para su construcción se los puede obtener del mismo sitio ya que existe un gran volumen de material aluvial en la zona producto de la última erupción, con lo cual se logra abaratar costos.

El volumen de excavación que proporciona el sector de La Caldera es suficiente para poder utilizarlo como material para la realización del terraplén, ya que presenta un volumen de material de 557524.06 m<sup>3</sup> y el necesario es 539665.75 m<sup>3</sup>.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera, E., & Toulkeridis, T. (2004-2005). *El Volcán Cotopaxi, una amenaza que acecha*. Quito: Fundación FOES.
- Asociación Española de la Carretera. (2008). *Wikivia, la Enciclopedia de la Carretera*. Retrieved from <http://www.wikivia.org/>
- Cáceres, B. (2015, Noviembre 08). El glaciar del volcán Cotopaxi rejuvenece con cada erupción. *El Comercio*.
- Cámara de la Industria de la Construcción. (2011). NEC - 11. In *Peligro Sísmico Diseño*

- Sismoresistente* (pp. 38-39). Quito: Dirección de Comunicación Social.
- Castro, P. (2010, Mayo 31). *Densidad, Peso Específico y Gravedad Específica*. Retrieved from pamyevvivi.blogspot.com: <http://pamyevvivi.blogspot.com/2010/05/densidad-peso-especifico-y-gravedad.html>
- Chemé, J., & González, A. (2006). Construcciones Industriales. In J. Chemé, & A. González, *Construcciones Industriales* (pp. 9,10,11). México.
- Civilgeek. (2010, Julio 01). *Ingeniería y Construcción*. Retrieved from www.civilgeek.com: <http://civilgeeks.com/2010/07/01/equipo-pesado-a-usar-en-la-construccion-de-una-carretera/>
- GeoStudio . (2007). Sangolqui, Pichincha, Ecuador.
- González, L., Ferrer, M., Ortuno, L., & Oteo, C. (2002). Depósitos Aluviales. In L. González, M. Ferrer, L. Ortuno, & C. Oteo, *Ingeniería Geológica* (p. 100). México.
- Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional. (2015). *Potenciales Zonas de Inundación por lahares en el Volcán Cotopaxi*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional. (2015). Cráter Volcán Cotopaxi. 3.
- Instituto Nacional de Vías. (2012). Artículo 220-07 Terraplenes. 2.
- Lenin, C. (2013, mayo). Simulación de Lahares del volcán Cotopaxi en sus Drenajes del lado norte con el uso del programa HEC-RAS. Sangolqui, Pichincha, Ecuador.
- Llerena, D., & Sandoval, J. (2009, Septiembre). Retrieved from es.scribd.com: <https://es.scribd.com/doc/32091590/ENSAYO-DE-HUMEDAD-NATURAL-GRAVEDAD-ESPECIFICA-PESO-UNITARIO-Y-TAMIZADO>
- Morales, I. M. (2003). Propuesta para Implementación de Obras de Retención en la Parte NW del Volcán Popocatepetl. *Cuaderno de Investigación 2*, 13-15.
- Morales, J. C., & Zulagua, M. A. (2014, Diciembre 2). *Guía Metodológica de Introducción al Comportamiento del Suelo a la Luz de la Mecánica de Suelos*. Retrieved from Guía Metodológica de Introducción al Comportamiento del Suelo a la Luz de la Mecánica de Suelos: <http://geotecniagrupo5.blogspot.com/>
- Navarro. (2011). Retrieved from Movimiento de Tierras: <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2011/08/movimiento-de-tierra.pdf>
- Ordóñez, J., Samaniego, P., Mothes, P., & Schilling, S. (2013). LAS POTENCIALES ZONAS DE INUNDACIÓN POR LAHARES EN EL VOLCÁN COTOPAXI. *Publicación Instituto Geofísico - Escuela Politécnica Nacional*.
- Ordoñez, J., Samaniego, P., Mothes, P., & Schilling, S. (2013). Las Potenciales Zonas de Inundación por Lahares en el Volcán Cotopaxi. 5.
- Ordoñez, J., Samaniego, P., Mothes, P., & Schilling, S. (2013). Las Potenciales Zonas de Inundación por Lahares en el Volcán Cotopaxi. 07.
- Oso Organización. (2001). Retrieved from www.osso.org.co: <http://www.osso.org.co/docu/tesis/2001/comportamiento/refraccion.pdf>
- Pons, I. P. (2014, Marzo 31). *Caminos de Ferro*. Retrieved from El tendido ferroviario (1) Obras de tierra y fábrica.: <http://caminosdeferro.blogspot.com/2014/03/el-tendido-ferroviario-1-obras-de.html>
- Samaniego, P., Jorge, O., Schilling, S., & Mothes, P. (2011). Los Posibles Escenarios Eruptivos del Cotopaxi y la Delimitación de Zonas Inundadas por Lahares.
- Sandoval, W. (2013). Presas de Tierra (Rasskazov). Sangolqui, Pichincha, Ecuador.

- Smis Organización. (2003). *Sismos en México*. Retrieved from Tipos de Onda: <http://www.smis.org.mx/htm/sm4.htm>
- Tiplanet Organización. (2013). *Resistencia Cortante del Suelo*. Retrieved from tiplanet.org: [https://tiplanet.org/forum/archives\\_voir.php?id=555006](https://tiplanet.org/forum/archives_voir.php?id=555006)
- Universidad Tecnológica de Chile, I. (2013, Noviembre 7). Retrieved from <http://es.slideshare.net/jaimemoraga2/183331758-powerpoint>
- [www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia](http://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia). (n.d.). Retrieved from [www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia](http://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia).
- [www.turismo.gob.ec](http://www.turismo.gob.ec). (2015, Octubre). Retrieved from [www.turismo.gob.ec](http://www.turismo.gob.ec).